



ISSN: 2594-1569

Uniendo ciencia, naturaleza y sociedad: hacia un futuro sostenible

Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Año 6, Núm. 1
6, 7 y 8 de noviembre de 2024



Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Dr. Julio Antonio Berdegúe Sacristán

Secretario

Lic. Leonel Efraín Cota Montaña

Subsecretario de Agricultura y Desarrollo Rural

Oscar Javier Fernández Morales

Representante de la SADER en Veracruz

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Luis Ángel Rodríguez Del Bosque

Encargado del despacho de los Asuntos de la Dirección General

Efraín Cruz Cruz

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Luis Ortega Reyes

Coordinador de Planeación y Desarrollo

José Humberto Corona Mercado

Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Rubén Santos Echeverría

Director Regional

Héctor Daniel Inurreta Aguirre

Director de Investigación

Malinatzin García Robles

Directora de Administración

“Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Veracruz”

Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz. Año 6, No. 1, noviembre 2024, es una publicación anual, editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, calle Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México, México, Tel. 55 3871-8700, www.inifap.gob.mx. Editor responsable: Dr. Rubén Santos Echeverría. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-031717283400-102, ISSN: 2594-1569 on line, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de este número Dr. Héctor Daniel Inurreta Aguirre, Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, mpio., de Medellín de Bravo, Ver. CP. 94277, Teléfonos: 5538713700, ext. 87809.

<http://rctveracruz.org/publicaciones.html>

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un comité científico interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes instituciones y dependencias públicas; el contenido expresado en cada trabajo es responsabilidad del autor.

Compiladores: María Enriqueta López Vázquez, Oscar Hugo Tosquy Valle, Elizabeth León García, Valentín Alberto Esqueda Esquivel y Claudia Perdomo Montes.



Uniendo ciencia, naturaleza y sociedad: hacia un futuro sostenible

Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz



Índice

MESA AGRÍCOLA

HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS CON SÍNTOMAS DE ANILLAMIENTO DEL PEDÚNCULO Y DEFICIENCIAS NUTRIMENTALES EN AGUACATE HASS	2
Carmela Hernández Domínguez, Mariela Ramos Contreras, Sigfrido David Moráles Fernández, y Luis Antonio Domínguez Peráles	
EFFECTIVIDAD DE FOMESAFEN SOLO Y EN MEZCLA EN EL CONTROL DE MALEZAS EN FRIJOL	15
Valentín A. Esqueda Esquivel, Oscar Hugo Tosquy Valle, Ángel René Ramírez Vera y Pablo Andrés Meza	
MICROPROPAGACIÓN DE <i>Bacopa procumbens</i>	30
Alberta Luna Hilario, Claudia de los Angeles Bonilla Ramirez, Elizabeth Vargas Anaya, Laura Jeannete García Barrera, Janet Rentería García y Ada María Ríos Cortés	
EFFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES EN LA CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DE FLORES DE CORTE	41
Gerardo Alvarado Castillo, Ángela Callejas Utrera, Vianey del Rocío Torres Pelayo, Jacel Adame García y José Antonio Fernández Viveros	
CONTROL BIORRACIONAL DE ADULTOS DE <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) EN LIMÓN MEXICANO	56
Mario A. Miranda Salcedo y Catarino Perales Segovia	
ESTIMACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA OFERTA Y DEMANDA DE TRACTORES AGRÍCOLAS	63
José Cupertino Salas Gutiérrez, José Alberto García Salazar, José Saturnino Mora Flores y Ángel Garduño García	
EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE <i>Hemileia vastatrix</i> EN <i>Coffea arabica</i> UTILIZANDO ANÁLISIS DE IMAGEN (PLIMAN)	77
Sandra Lizveth Enríquez López, Gerardo Alvarado Castillo, Carlos Roberto Cerdán Cabrera, Rosalba Argumedo Delira y Esteban Escamilla Prado	
FISIOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y COMPOSTA	92
César Augusto Hernández Pérez, Josafhat Salinas Ruiz, Aleida Selene Hernández Cázares, Daniel Arturo Rodríguez Lagunes y Joel Velasco Velasco	
EFFECTO DEL PURÍN DE GALLINAZA SOBRE CRECIMIENTO Y CALIDAD DE <i>Morus alba</i> L. PARA FORRAJE	107
Miriam Belén Roquiz Ramirez, Marycruz Abato Zárate, Abel Rivas Contreras, Noel Reyes Pérez, Doris Guadalupe Castillo Rocha y Luz Amelia Sánchez Landero	
RESPUESTA DE FRIJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) AL NANO FERTILIZANTE “Nano-Gro™”, EN LA REGIÓN TROPICAL DE VERACRUZ	120
Andrés Vásquez Hernández, Arturo Durán Prado, Arturo Andrés Gómez, Isaac Meneses Márquez y Héctor Cabrera Mireles	
DETERMINACIÓN DE ENFERMEDADES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE MANGO (<i>Mangifera indica</i> L.) DEL INIFAP EN VERACRUZ	135
Enrique Noé Becerra Leor, Xóchitl Rosas González y Valentín Alberto Esqueda Esquivel	
DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE CAFÉ VERDE EXTRAÍDOS POR MICROONDAS Y ULTRASONIDO	150
Erick Xavier Escobar Hernández, Minerva Rosas Morales y Gabriel Ríos Cortes	
CINÉTICA DE VOLATILIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO EN SUELOS ALCALINOS A TRAVÉS DE UN GRADIENTE DE ARCILLA	160
Alejandro Pérez Rosales, Edwin Javier Barrios Gómez, Sandra Eloísa Rangel Estrada, Marian Guadalupe Hernández Arenas y Jaime Canul Ku	
CALIDAD DE LA PANELA PRODUCIDA EN CINCO TRAPICHES DEL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ	174
Guadalupe Miramón Martínez, Nadia G Sánchez Coello, Olivia Márquez Fernández, Yajaira Baeza Guzmán y Alejandro Quirino Villarreal	

Índice

MESA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE UCHUVA COMO FRUTA FRESCA Y EN PROCESADOS ALIMENTARIOS	187
Guadalupe Mora Baez, Lucía Torres Rueda, Gabriela Ortiz Bonilla, Marco Antonio Castelán Salazar y Antonio Morgado González	
PROPAGACIÓN INDIRECTA DE <i>Bacopa procumbens</i>	200
Claudia de los Angeles Bonilla Ramírez, Alberta Luna Hilario, Elizabeth Vargas Anaya, Valentín López Gayou, Aarón Comunidad Villa y Ada María Ríos Cortés	
CHILE CHILPAYA (<i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i>): EFECTO DEL AG3 AMIN-ZINC EN PLÁNTULA	210
Juan Valente Megchún García, Gonzalo Guillermo Lucho Constantino, Jair Alarcón Pérez y Jeremías Nataren Velázquez	
BACTERIAS DEL GÉNERO <i>Bacillus</i> COMO BIOESTIMULANTES DE FRUTOS DE CHILE JALAPEÑO EN CONDICIONES PROTEGIDAS DE MACROTÚNEL	221
Félix David Murillo Cuevas, Jacel Adame García, David Guerrero Pedraza, José Antonio Fernández Viveros y Héctor Cabrera Mireles	
CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS CON CAÑA DE AZÚCAR CON Y SIN VINAZA EN VERACRUZ	234
Catalino Jorge López Collado, Ángel Capetillo Burela, Osbaldo Alvarado Rodríguez, Rigoberto Zetina Lezama, Eusebio Ortega Jiménez, Gustavo López Romero y David Jesús Palma López	
PRODUCTIVIDAD DE GENOTIPOS DE SOYA EN EL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO	247
Arturo Durán Prado, Oscar Hugo Tosquy Valle, Valentín Alberto Esqueda Esquivel, Nicolás Maldonado Moreno y Andrés Vásquez Hernández	
CARTOGRAFÍA DE SUELOS, CLASIFICACIÓN CAMPESINA DE TIERRAS Y CAPTURA DE CARBONO EN EJIDO EL FAISÁN, MUNICIPIO DE PASO DE OVEJAS, VERACRUZ, MÉXICO	257
Catalino Jorge López Collado, Álvaro Palacios Mendoza, Alberto Rivera Marín y Santiago Hernández Morales	
DINÁMICA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS TROPICALES DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO	268
Iliana Santiago Hernández, Catalino Jorge López Collado, Ángel de Jesús Isidoro Pío, Oscar Valeriano Sánchez Valera y Agustín Gómez Cruz	
CARACTERIZACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE VARIANTES DE GENOTIPOS DE AGUACATE (<i>Persea americana</i> Mill.) EN URUAPAN, MICHOACÁN	280
Luis Mario Tapia Vargas, Anselmo Hernández Pérez y Magali Ruiz Rivas	
ABONOS VERDES Y BOKASHI, UNA ALTERNATIVA PARA REEMPLAZAR A LOS FERTILIZANTES INORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ	294
Nain Peralta Antonio, Luisa Alondra Osorio Magdalena, Raquel Ramírez García, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez y Rosa Laura Rebolledo García	
FERTILIZANTES INORGÁNICOS COMBINADOS CON ABONO ORGÁNICO BOKASHI PARA LA NUTRICIÓN DE PIÑA 'MD-2'	310
Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez, Rosa Laura Rebolledo García, Francisco Martínez Gutiérrez, Luisa Alondra Osorio Magdalena y Raquel Ramírez García	
LEGUMINOSAS TROPICALES INTERCALADAS CON LIMÓN PERSA EN LA REGIÓN DEL BAJO PAPALOAPAN	324
Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, Rigoberto Zetina Lezama, María Enriqueta López Vázquez y Rosa Laura Rebolledo García	
CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i>) EN TOLUCA, MUNICIPIO DE MONTECRISTO DE GUERRERO, CHIAPAS	334
Isidro Fernández González, Francisco Javier Cruz Chávez y José Rafael Contreras Hinojosa	

Índice

MESA AGRÍCOLA

INDUCCIÓN DE FOTOMIXOTROFISMO <i>in vitro</i> EN VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i>) UTILIZANDO INYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO	346
José Luis Spinoso Castillo, María Karen Serrano Fuentes, Ricardo Sánchez Páez, Maurilio Mendoza Mexicano y Jericó Jabín Bello Bello	
INOCULACIÓN DE <i>Azospirillum brasilense</i> DURANTE LA FASE DE ACLIMATIZACIÓN DE VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews)	361
Víctor Adrián Delgado Rivera, Aurora Vázquez Rodríguez, Ricardo Sánchez Páez, Maurilio Mendoza Mexicano y Jericó Jabín Bello Bello	
INOCULACIÓN DE <i>Rhizophagus intraradices</i> DURANTE LA ACLIMATACIÓN DE AGAVE (<i>Agave marmorata</i> Roezl)	372
María del Rosario Moreno Hernández, José Abel López Buenfil, Maurilio Mendoza Mexicano y Jericó Jabín Bello Bello	
MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA MICROPROPAGACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL BIORREACTOR DE INMERSIÓN TEMPORAL	383
María Angélica Fuentes Torres, Eucario Mancilla Álvarez, Ricardo Sánchez Páez, Andrea Guadalupe Zuale Bueno, José Abel López Buenfil, Maurilio Mendoza Mexicano y Jericó Jabín Bello Bello	
MULTIPLICACIÓN <i>in vitro</i> DE FRAMBUESA (<i>Rubus idaeus</i> L.) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIORREACTORES DE INMERSIÓN TEMPORAL	391
Bruno Reyes Beristain, Eucario Mancilla Álvarez, Maurilio Mendoza Mexicano, José Abel López Buenfil y Jericó Jabín Bello Bello	
INOCULACIÓN DE HONGO MICORRÍFICO <i>Rhizophagus intraradices</i> DURANTE LA ACLIMATIZACIÓN DE <i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	404
María Karen Serrano Fuentes, Aldo Martínez Ramírez, Ricardo Sánchez Páez, Maurilio Mendoza Mexicano y Jericó Jabín Bello Bello	
ESTABLECIMIENTO DE UN PROTOCOLO DE CALLOGÉNESIS <i>in vitro</i> DE <i>Sechium edule</i> VARIEDAD VERDE LISO	419
Ángel Bruno Cruz Hidalgo, Leonardo Márquez Juárez, Norma Mora Collado, Régulo Carlos Llarena Hernández y Rosalía Núñez Pastrana	
CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE GUANÁBANA (<i>Annona muricata</i> L.) EN VERACRUZ, MÉXICO	428
Xóchitl Rosas González, Enrique Noé Becerra Leor y Valentín A. Esqueda Esquivel	
DESARROLLO DE <i>Cosmos sulphureus</i> Cav. “xochipalli” EN DOS FECHAS DE SIEMBRA	440
Cesario Catalán Heverástico, Alfonso de Jesús Correa López, Antonio Martínez Flores, Juan Pereyda Hernández, José Manuel Castro Salas, Alejandro Sotelo Aguilar y Adriana Bárbara Calderón Rojas	
MULTIPLICACIÓN <i>in vitro</i> DE DOS GRUPOS VARIETALES DE CHAYOTE (<i>Sechium edule</i>)	451
Alejandra Pacheco Narcizo, Juan Valente Hidalgo Contreras, Régulo Carlos Llarena Hernández, Mauricio Luna Rodríguez, Luis Alfonso Sáenz Carbonell y Rosalía Núñez Pastrana	
ASLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN PATOGENICA DE HONGOS ASOCIADOS CON MUERTE REGRESIVA EN <i>Citrus latifolia</i> Tanaka	461
Ricardo Santillán Mendoza, Felipe R. Flores de la Rosa, Monserrat Torres Olaya, Sylvia P. Fernández Pavía, Gerardo Rodríguez Alvarado, Carmen Pablo Mendoza, Cristian Matilde Hernández y Humberto Estrella Maldonado	
CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y FILOGENÉTICA DE <i>Lasiodiplodia</i> spp. ASOCIADAS CON MUERTE REGRESIVA DE LIMÓN PERSA	475
Ricardo Santillán Mendoza, Jazmín Vergara Estudillo, Felipe R. Flores de la Rosa, Humberto J. Estrella Maldonado, Sylvia P. Fernández Pavía, Gerardo Rodríguez Alvarado, Carmen Pablo Mendoza y Cristian Matilde Hernández	

Índice

MESA AGRÍCOLA

EFFECTO DEL ÁCIDO GLUTÁMICO EN LA GERMINACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp. Híbrido)	489
Monserrat Sorcia Morales, Joaquín Maciel Alejandre, Wendy Espinoza Sandoval y Tania Romero Figueiras	
DIAGNÓSTICO TÉCNICO, PRODUCTIVO Y DE MERCADO DE LA NARANJA EN COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR	499
Venancio Cuevas Reyes, Jaime Rangel Quintos, Sergio Alberto Curti Diaz y José Joaquín Velázquez Monreal	
DIAGNÓSTICO TÉCNICO, PRODUCTIVO Y DE MERCADO DE LA NARANJA EN ÁLAMO, VERACRUZ	515
Venancio Cuevas Reyes, Jaime Rangel Quintos, Sergio Alberto Curti Diaz y José Joaquín Velázquez Monreal	
COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN VERACRUZ, MÉXICO	531
Luis Carlos Alvarado Gómez, Catalino Jorge López Collado, Ángel Capetillo Burela, Rigoberto Zetina Lezama, Eusebio Ortega Jiménez, Gustavo López Romero, David Jesús Palma López y Marco Antonio Reynolds Chávez	
BOKASHI UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ESQUEJES DE PITAHAYA	546
Jeremías Nataren Velázquez, Nain Peralta Antonio, Denis Adolfo Medina Sánchez y Monserrat Reyes Daza	
IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA SECADERA EN ARÁNDANO AZUL (<i>Vaccinium corymbosum</i>) Y SU CONTROL <i>in vitro</i>	559
Yurixhi Atenea Raya Montaña, Ma. Blanca Nieves Lara Chávez, Patricio Apáez Barrios, Juan Mendoza Churape y José Ildefonso García González	
APLICACIÓN DE AZUFRE EN SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO CHOCOLATE (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.)	573
Patricio Apáez Barrios, Yurixhi Atenea Raya Montaña, Ma. Blanca Nieves Lara Chávez y Noé Armando Ávila Ramírez	
ESTABLECIMIENTO <i>in vitro</i> DE SEGMENTOS NODALES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.)	584
Humberto Estrella Maldonado, Julio Ventura Bello, Ricardo Santillán Mendoza, Cristian Matilde Hernández, Arianna Chan León, María del Carmen Pablo Mendoza y Felipe Roberto Flores de la Rosa	
INDUCCIÓN DE LA EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA EN LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.)	598
Humberto Estrella Maldonado, Maritza Cruz Romero, Berenice Preza Murrieta, Ricardo Santillán Mendoza, Cristian Matilde Hernández, Arianna Chan León, María del C. Pablo Mendoza y Felipe R. Flores de la Rosa	
RENDIMIENTO Y REACCIÓN A MUSTIA HILACHOSA Y MANCHA ANGULAR DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO TROPICAL	609
Oscar Hugo Tosquy Valle, Valentín Alberto Esqueda Esquivel, Francisco Javier Ibarra Pérez, Enrique Noé Becerra Leor y Héctor Daniel Inurreta Aguirre	
PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE GIRASOL EN MACETERÍA POR DOS CEPAS BACTERIANAS BENÉFICAS	622
Gabriela Sánchez Viveros, Jesús Ricardo Sánchez Pale y Araceli Hernández García	
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE ACCESIONES DE <i>Acanthocereus tetragonus</i>, DE LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ	631
Jeremías Nataren Velázquez, Rosa Isela Rosalino Antonio, Juan Valente Megchún García y Ángel Capetillo Burela	
PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN UN SISTEMA DE BIORREACTORES	642
José Alonso Barojas Vásquez, Fernando Malagón González, Gabriel Antonio Navarrete Hernandez y Albino Martínez Sibaja	
EVALUACIÓN DE CUATRO AISLAMIENTOS DE <i>Moniliophthora roreri</i> (Cif. y Par.) Evans <i>et al.</i>, DE LA CHONTALPA TABASCO	658
Darío De la Cruz Ricardez, Luz del Carmen Lagunes Espinoza, Carlos Fredy Ortiz García, Edith Hernández Nataren y Ramón Marcos Soto Hernández	

Índice

MESA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN DE LA INFECCIÓN DE <i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br. EN PLANTAS DE <i>Coffea arabica</i> L. var. ICATU	668
Edgar Couttolenc Brenis, Marco Antonio Toral Juárez, Rosalío López Morgado y Jesús Parroquín Pérez	
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE PIÑA MD-2 PRODUCIDA FUERA DE TEMPORADA MEDIANTE CONTROL DE LA FLORACIÓN	680
María Enriqueta López Vázquez, Rosa Laura Rebolledo García, Andrés Rebolledo Martínez, Nain Peralta Antonio, Gerardo Montiel Vicencio, Daniel E. Uriza Ávila y Carlos A. Tinoco Alfaro	
EFFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN LA MICROPROPAGACIÓN DE <i>Bacopa procumbens</i>	692
Maleni Nohemí Hernández Díaz, Minerva Rosas Morales y Ada María Ríos Cortés	
SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA A PARTIR DE EXTRACTOS VEGETALES DE <i>Bacopa procumbens</i>	705
Maleni Nohemí Hernández Díaz, Valentín López Goyou y Ada María Ríos Cortés	
EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE <i>Bacopa procumbens</i> EN CONDICIONES DE INVERNADERO	717
Aneli Suleyma Román Román, Aarón Comunidad Villa, Marco Vinicio Alemán Pérez, Ada María Ríos Cortés y Minerva Rosas Morales	
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CINCO VARIEDADES DE FRIJOL EN RESPUESTA AL ENCALADO DOLOMÍTICO EN SUELOS ÁCIDOS	728
Rigoberto Zetina Lezama, Oscar H. Tosquy Valle y Alexia Sánchez Pacheco	
PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE <i>Canavalia ensiformis</i> ESTABLECIDA COMO COBERTERA EN LIMÓN PERSA CULTIVADO EN VERACRUZ	743
Rigoberto Zetina Lezama, Sergio A. Curti Díaz y Alexia Sánchez Pacheco	
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE YUCA (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) NUTRIDA ORGÁNICA Y QUÍMICAMENTE E INTERCALADA EN CHICOZAPOTE	758
Rosa Laura Rebolledo García, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez, Nain Peralta Antonio y Raquel Ramírez García	
RETENCIÓN DE FRUTOS EN VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i> G. Jackson) CON REGULADORES DE CRECIMIENTO	771
Juan Hernández Hernández, Sergio Alberto Curti Díaz y Ángel Ríos Utrera	
CRECIMIENTO DE TRES VARIEDADES DE PLÁTANO EN UN MONOCULTIVO BAJO SOMBRA ESPECIALIZADA DE CAFÉ	783
Rolando M. Tlaxcala Méndez, M. del Carmen Pablo Mendoza, Areisy Saldaña Eslava, Rosalío López Morgado, Eileen Salinas Cruz y J. Antonio Hernández Moreno	
DESARROLLO VEGETATIVO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES, ÁCIDOS HÚMICOS Y SUPERMAGRO	794
Sergio Martínez Ortiz, Sergio Alberto Curti Díaz, Rigoberto Zetina Lezama, Luis Alfonso Aguilar Pérez, Jaime Rangel Quintos, Alexia Sánchez Pacheco, Nely Benítez Tejeda y Lorena Jacqueline Gómez Godínez	
DESARROLLO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES Y ORMUS	808
Sergio Alberto Curti Díaz, Rigoberto Zetina Lezama, Luis Alfonso Aguilar Pérez, Jaime Rangel Quintos, Sergio Martínez Ortiz, Alexia Sánchez Pacheco, Nely Benítez Tejeda y Lorena Jacqueline Gómez Godínez	
TORVIC: VARIEDAD DE GIRASOL ALTO OLEICO DE CICLO INTERMEDIO PARA GUANAJUATO	822
Miguel Hernández Martínez	
CALIDAD ORGANOLÉPTICA Y VIDA POSTCOSECHA EN LIMÓN MEXICANO (<i>Citrus aurantifolia</i> Christm) INFECTADOS CON HUANGLONGBING	834
Aideé Hernández Rivera, Eucario Mancilla Álvarez, María Alejandra Gutiérrez Espinosa, Rigoberto González Mancilla, Apolinar González Mancilla y María de Jesús Martínez Hernández	

Índice

MESA AGRÍCOLA

ELONGACIÓN DEL HIPOCÓTILO-EPICÓTILO DE FRIJOL CON ESTRÉS HÍDRICO, CAMPECHE, MÉXICO	849
Antonio Villalobos González, Mónica Beatriz López Hernandez, Yaritza Yolanda Quintal Vargas y Enrique Arcocha Gómez	
PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN PLÁNTULAS DE MAÍZ NATIVO EN CAMPECHE, MÉXICO	864
Mónica Beatriz López Hernandez, Antonio Villalobos González, Daniel Haas Bacab y Enrique Arcocha Gómez	
ANTRACNOSIS DE FRUTOS DE PAPAYA, SU CONTROL <i>in situ</i> EN VERACRUZ	877
Jorge Gustavo Rodríguez Escobar, Rebeca Rodríguez Falconi, Víctor Manuel Hernández Hernández y Lorena Jacqueline Gómez Godínez	
BIOPLAGUICIDAS PARA EL CONTROL DE MOSCA BLANCA (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood.) EN Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) EN INVERNADERO	889
Héctor Cabrera Mireles, Rubén Uriel Herrera Bonilla, Magali Jiménez Jiménez, Félix David Murillo Cuevas, Andrés Vásquez Hernández y Jacel Adame García	
EFFECTO DE BIOESTIMULANTES EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	901
Héctor Cabrera Mireles, Rubén Uriel Herrera Bonilla, Magali Jiménez Jiménez, Félix David Murillo Cuevas, Andrés Vásquez Hernández y Jacel Adame García	
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) PRODUCIDO EN INVERNADERO EN LA REGIÓN TROPICAL DE MÉXICO	915
Isaac Meneses Márquez, Moisés Ramírez Meraz, Cristóbal Hervi Bautista Pérez, Andrés Vásquez Hernández, Arturo Durán Prado y Arturo Andrés Gómez	
PRODUCCIÓN DE PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.) VARIEDAD POINSETT CON ABONO ORGÁNICO TIPO COMPOST	928
Gloria Esperanza De Dios León, Armando Guerrero Peña, José Alexis García Estrada, Yaqueline Antonia Gheno Heredia, Agustín Herrera Solano, María Alva Ángel Lara y Norma Ana Belí Coria Gil	
DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ NATIVO EN LA REGIÓN INTERMEDIA DEL ESTADO DE VERACRUZ	942
Mauro Sierra Macías, Clara Ríos Isidro, Ana Isabel Marín Andrade, Pedro Díaz Reyes, Roberto Ojeda Castro, Ildelfonso Trejo Flores, Héctor Chalate Molina, Michelle Fierro López y Juan Manuel Hernández Casillas	
DESARROLLO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES Y HARINAS DE ROCAS	960
Sergio Alberto Curti Díaz, Rigoberto Zetina Lezama, Luis Alfonso Aguilar Pérez, Jaime Rangel Quintos, Sergio Martínez Ortiz, Alexia Sánchez Pacheco, Nely Benítez Tejeda y Lorena Jacqueline Gómez Godínez	
DEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE PIÑA EN FUNCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AUTÓCTONOS	974
María Enriqueta López Vázquez, Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, Rosa Laura Rebolledo García, Saúl Nicerato Lagunes Roldán y María Guadalupe Aguilar Uscanga	
DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y ETNOBOTÁNICA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp.) EN EL MUNICIPIO DE OCOTEPEC, PUEBLA	986
Diana Leticia Reyes Martínez, Ramiro Escobar Hernández, Luis Antonio Domínguez Perales, Guillermo Jesuít Pérez Marroquín y Raul Berdeja Arbeu	
TENDENCIAS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE EMISIONES DE AMONÍACO NH₃ EN LA AGRICULTURA MEDIANTE VOSVIEWER	987
Katya Álvarez Lagunes, Josafhat Salinas Ruiz, Irene Gutiérrez Mora y Joel Velasco Velasco	
CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS EN CÁLCICES DE <i>Hibiscus sabdariffa</i> EN FUNCIÓN DEL AMBIENTE DE PRODUCCIÓN	988
Jesús Mao Aguilar Luna, Benjamín Barrios Díaz, Hipólito Hidalgo Manzano y José Ángel Alcántara Jiménez	
ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL CULTIVO DE TOMATE	989
Miguel Ángel Rodríguez Chiunti, Arturo Heribia Virues y Adán Vidal Gamboa	

Índice

MESA AGRÍCOLA

EFFECTO DE LAS BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (BPCV) EN LA GERMINACIÓN DE MAÍCES CRIOLLOS	990
Karla Arroyo Guevara, José Claudio Bernal Alzate, Anayeli Torres Beltrán, y Daniel Ruíz Juárez	
ANÁLISIS DE ANTOCIANINAS EN PAPA OCA-NATIVA (<i>Oxalis tuberosa</i>) SECA Y FRESCA EN AHUACATLÁN, PUEBLA	991
Fátima Ortiz Trápala y Anayeli Torres Beltrán	
USO DE LIXIVIADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CHÍCHARO CON DOS SISTEMAS DE TUTORADO	992
Isabel Alemán Chávez, Luis G. Hernández Montiel, Guillermo Alafita Vásquez, y Liliana Lara Capistrán	
EVALUACIÓN DEL DESARROLLO FLORAL EN CULTIVO DE ANTURIO (<i>Anthurium andreanum</i> L.) BAJO INVERNADERO EN CUITLÁHUAC, VER.	993
Joaquín Murguía González, Otto Raúl Leyva Ovalle, Pablo Andrés Meza, María Elena Galindo Tovar, José Luis del Rosario Arellano, Ariel Calzada Medina y Roberto Daniel Palacios Malpica	
BIOESTIMULANTE GENIFIX® CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN CHILE JALAPEÑO	994
Félix David Murillo Cuevas, Jacel Adame García, Ángel Antonio Saucedo Morales, Adriana Elena Rivera Meza y Héctor Cabrera Mireles	
BIOESTIMULANTE GENIFIX® COMO COMPLEMENTO EN LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA DE JITOMATE	995
Jacel Adame García, Félix David Murillo Cuevas, Luis Ángel Lara Morales, José Antonio Fernández Viveros y Adriana Elena Rivera Meza	
APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR: UNA REVISIÓN CON VOSVIEWER	996
Irene Gutiérrez Mora, Aleida Selene Hernández Cázares, Juan Valente Hidalgo Contreras, José Luis López Ayala y Joel Velasco Velasco	
DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE LOS SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE CACAHUATE EN TLAXMALAC Y MOCHITLÁN, GUERRERO	997
Juan Antonio Chamú Baranda, Ricardo Jafet Alcocer Bautista, Martín Solís Martínez, Norma Ávila Alistac y Mayra Isela Merlos Brito	
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE DE CÁSCARA CON ESTIÉRCOLES, BAJO CONDICIONES DE CASA SOMBRA	998
Juan Antonio Chamú Baranda, Emilio Patricio Morales José Emilio Bueno Jáquez, Martín Solís Martínez, Norma Ávila Alistac y Enrique García González	
EFFECTO DE FITOEXTRACTOS CONTRA <i>Pestalotiopsis mangiferae</i>	999
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez, Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Gerardo Casarrubias Ávila, José Luis Arispe Vázquez y Patricio Torres Pastrana	
APLICACIÓN DE FITOEXTRACTOS <i>in vitro</i> CONTRA <i>Alternaria solani</i>	1000
Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Gerardo Casarrubias Ávila, Elvia Temisqueño Teyuco, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez y José Luis Arispe Vázquez	
<i>Trichoderma</i> EN EL CONTROL <i>in vitro</i> DE <i>Stemphylium</i> sp. PATÓGENO DE GARBANZO	1001
Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez, José Luis Arispe Vázquez, Rogelio Velasco Gaytán, Antonio Mena Bahena y Juan Manuel Pichardo Ocampo	
POTENCIADORES EN HERBICIDAS: USANDO MENOR CANTIDAD DE PRODUCTO	1002
José Luis Arispe Vázquez, Rocío Toledo Aguilar, David Heriberto Noriega Cantú, José Francisco Díaz Nájera y Sergio Ayvar Serna	
USO DE FITOEXTRACTOS Y FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz	1003
Cecilia Carranza Procopio, José Francisco Díaz Nájera, Sergio Ayvar Serna, José Luis Arispe Vázquez, Antonio Mena Bahena y Pablo Castañeda de la Cruz	

Índice

MESA AGRÍCOLA

USO DE MICROORGANISMOS CONTRA <i>Meloidogyne</i> sp. EN MELÓN	1004
José Francisco Díaz Nájera, Sergio Ayvar Serna, Rogelio Velasco Gaytán, William Zárate Martínez, José Luis Arispe Vázquez, Antonio Mena Bahena y Pablo Castañeda de la Cruz	
EFFECTO DE DOS AGENTES ANTIMITÓTICOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y ANATÓMICAS DE BROTES DE <i>Vanilla planifolia</i> Jacks.	1005
Gloria I. Cárdenas Vichique y Lourdes G. Iglesias Andreu	
ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRODUCTIVO DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN TLACHICHILCO, VERACRUZ	1006
Vianeth Méndez Cortés, Cesar Enrique Martínez Sánchez, Ariadna Faride Castillo Alanís, Alfredo Gonzáles Castro y María de La Luz Hernández Sánchez	
CEPAS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PULGÓN (<i>Myzus persicae</i>) PLAGA DE HORTALIZAS	1007
Brenda Colorado López, Félix David Murillo Cuevas, Jacel Adame García, Adriana Elena Rivera Meza y José Antonio Fernández Viveros	
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DE CEBADA EN TEMPORAL DEL ESTADO DE TLAXCALA	1008
Israel Rojas Martínez, Rogelio Fernández Sosa, Mauro R. Zamora Díaz, Adrián Zamudio Lara y Víctor Santiago Santiago	
VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE VARIEDADES DE FRIJOL EN TEMPORAL EN EL ESTADO DE TLAXCALA	1009
Rogelio Fernández Sosa, Israel Rojas Martínez y Carmen Jazmín Cruz Mendez	
ANÁLISIS SIMULTÁNEO DE FITOHORMONAS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADO A ESPECTRÓMETRO DE MASAS	1010
Fredy Morales Trejo, Juan Antonio Villanueva Jiménez, Aída Martínez Hernández y Luis Alfredo Pérez Zárate	
APLICACIÓN DE <i>Trichoderma</i> spp. EN EL CONTROL DE <i>Stemphylium</i> sp.	1011
Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez, José Luis Arispe Vázquez, Elvia Temisqueño Teyuco, Antonio Mena Bahena y Juan Manuel Pichardo Ocampo	
USO DE EXTRACTOS VEGETALES Y FUNGICIDAS QUÍMICOS CONTRA <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	1012
Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez, José Luis Arispe Vázquez, Ernesto Escobar Bahena, Antonio Mena Bahena y Juan Manuel Pichardo Ocampo	
FUNGISTÁSIS DE <i>Trichoderma</i> spp. CONTRA <i>Botrytis cinerea</i>, <i>in vitro</i>	1013
Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez, José Luis Arispe Vázquez, Elvia Temisqueño Teyuco, Antonio Mena Bahena y Juan Manuel Pichardo Ocampo	
RESPUESTA FENOLÓGICA Y AGRO MORFOLÓGICA DEL MAÍZ SAN PABLEÑO BAJO DIFERENTES FÓRMULAS DE FERTILIZACIÓN	1014
María Eugenia Casiano Sánchez, Héctor Ezequiel Aké Tuz, Julio Narcizo Ek Maas e Iván Xicotencatl Pérez Guzmán	
COMPORTAMIENTO AGROMORFOLÓGICO DEL MAÍZ SAN PABLEÑO (<i>Zea mays</i> L.) EN DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACIÓN	1015
Leodegario Gerardo Góngora Ek, Dreydi Virginia Arena Laínes, Julio Narcizo Ek Maas e Iván Xicotencatl Pérez Guzmán	
REPRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS MAÍCES NATIVOS EN LA ZONA NORTE DE GUERRERO	1016
Pablo Castañeda de la Cruz, Rubén Santos Echeverría, José Luis Arispe Vázquez, Lorena Silva Colin y Juan Manuel Pichardo Ocampo	
ADAPTACIÓN Y RENDIMIENTO DE CINCO VARIEDADES DE JAMAICA EN EL MUNICIPIO DE APAXTLA DE CASTREJÓN	1017
Pablo Castañeda de la Cruz, Rocío Toledo Aguilar, Lorena Silva Colin y Juan Manuel Pichardo Ocampo	

Índice

MESA AGRÍCOLA

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE HELICONIAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES	1018
Ariadna Linares Gabriel, Nereida Rodríguez Orozco y Mario Alejandro Hernández Chontal	
COMPATIBILIDAD ENTRE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO Y CORMOS DE GLADIOLO DURANTE LA GERMINACIÓN	1019
Jesús Ricardo Sánchez Pale, Gabriela Sánchez Viveros y Roberto Chiquito Contreras	
DIVERSAS PROPORCIONES DE LOMBRICOMPOSTA EN PARÁMETROS MORFOFISIOLÓGICOS DE <i>Helianthus annuus</i> L.	1020
Luz María Bolaños López, Cirilo Martínez González, Celeste Olmos Gómez, Isabel Alemán Chávez, Guillermo Alafita Vásquez y Liliana Lara Capistrán	
DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO	1021
Martín Solís Martínez, Alfredo Damián López, José Emilio Bueno Jáquez, Juan Antonio Chamú Baranda y Mayra Isela Merlos Brito	
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE ZITLALA, GUERRERO	1022
Martín Solís Martínez, Yadira Gasparillo Mariano, Juan Antonio Chamú Baranda, Norma Ávila Alistac y Rubén Santos Echeverría	
EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE TRIGO HARINERO (<i>Triticum aestivum</i> L.) EN LA ZONA CENTRO DE COAHUILA	1023
David Sánchez Aspeytia, Dagoberto Flores Marín y Lourdes Ledesma Ramírez	
EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE NO₃- EN LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO	1024
Maricela Catalina Pedraza Suárez, Angel Natanael Rojas Velázquez, Oscar Iván Guillén Castillo y Jorge Alonso Alcalá Jauregui	
ESTANDARIZACIÓN DE LA FENOTIPIFICACIÓN POR FLUORESCENCIA DEL PROCESO DE INFECCIÓN DEL HLB EN LIMA PERSA	1025
Luis Alfredo Pérez Zárate, Aída Martínez Hernández, Juan Antonio Villanueva Jiménez y José López Collado	
NIVELES DE PODA EN SANDÍA (<i>Citrullus lanatus</i>)	1026
Diana Laura Ferrer Ramírez, Jesús Marcos Pérez Cruz, Vetzy Melia David Cruz, Karen De Los Santos, Daniela Correa Castillo y Vinicio Calderón Bolaina	
HIELITO HECHO CON DÁTIL: UN HELADO NATURAL Y AGRIDULCE (<i>Phoenix dactylifera</i>)	1027
Abel García Tovar, Juan Alfredo Solís Álvarez, Cesar Manuel Rodríguez Guitiérrez, Denisse Moreno González y Juan Cristóbal Hernández Arzaba	
CONTROL INTEGRADO DE <i>Sitophilus zeamais</i> (Mostchulsky) (Coleoptera: Curculionidae), LA AMENAZA DEL 2050	1028
Pablo Antonio Mendoza del Ángel, Daniel Arturo Rodríguez Lagunes, Nicolaza Pariona Mendoza, María Leonor López Meraz, Odón Castañeda Castro y Luis Alberto Solano Rodríguez	

Índice

PECUARIA

CIRUGÍA ORTOPÉDICA DE HÚMERO EN BECERRA Y EL REINGRESO A PRODUCCIÓN. PRIMER REPORTE DE CASO	1030
Ronnie de Jesús Arieta Román, Olga Patricia Juárez Culebro y Eduardo Manuel Graillet Juárez	
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONDUCTA REACTIVA EN MANGA DE MANEJO EN PRODUCCIÓN INTENSIVA DE BOVINOS	1038
Víctor Fernando Torres Aburto, Adolfo Apolo Carrasco García, Bertha Clementina Hernández Cruz, Belisario Domínguez Mancera y Adrián Gutiérrez Cervantes	
RINOTRAQUEITIS INFECCIOSA BOVINA Y ANIMALES LATENTEMENTE INFECTADOS EN HATO LECHERO EN SUBTRÓPICO HÚMEDO DE PUEBLA	1051
Abraham Fragoso Islas, Guadalupe Asunción Socci Escatell, Fernando López Molina, Jorge Víctor Rosete Fernández, Sara Olazarán Jenkins, Ángel Ríos Utrera y Arely Vargas Hernández	
PRODUCCIÓN DE LECHE CON GANADO BOVINO EN UN SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO Af(c)	1062
René Carlos Calderón Robles, René Calderón Chagoya, Ángel Ríos Utrera, Vicente Eliezer Vega Murillo, Carlos Hernández López y Juvencio Lagunes Lagunes	
RENDIMIENTO DE FORRAJE DE TRES GRAMÍNEAS TROPICALES A DOS FRECUENCIAS DE CORTE EN HUEYTAMALCO, PUEBLA	1074
José de Jesús Mario Ramírez González y Josafat Omar Hernández Vélez	
RENDIMIENTO DE TRES LEGUMINOSAS ARBÓREAS COSECHADAS A TRES FRECUENCIAS DE CORTE EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO	1090
José de Jesús Mario Ramírez González y Josafat Omar Hernández Vélez	
IMPORTANCIA DE LA PARTICIPACIÓN DE LA MUJER EN LA GANADERÍA	1103
Martha Eugenia Valdovinos Terán y Rosa Elena Riaño Marín	
ANÁLISIS DE LA COMERCIALIZACIÓN DE GANADO BOVINO EN LOS MUNICIPIOS DE TUXPAN Y TAMIAHUA, VERACRUZ	1104
Alondra Díaz Rodríguez, Vianeth Méndez Cortés, Miguel Ángel Gonzáles Salas, Roberto Alejandro Mateos Rocha y Rubén de La Paz Mendo Muñoz	
DESARROLLO DE UNA ELISA INDIRECTO PARA EL <i>Orthorubulavirus suis</i>	1105
José Luis Cerriteño Sánchez y Julieta Sandra Cuevas Romero	
INMUNOMODULADORES DE ÁCIDO GLICIRRICÍNICO ACOPLADOS CON ANTÍGENO RECOMBINANTE DEL VIRUS DE LA DIARREA EPIDÉMICA PORCINA	1106
José Luis Cerriteño Sánchez, José Bryan García Cambrón, Julieta Sandra Cuevas Romero y Ana María Anaya Escalera	
PREVALENCIA DEL VIRUS DE LA DIARREA EPIDÉMICA PORCINA (vDEP) EN MÉXICO	1107
José Luis Cerriteño Sánchez, Julieta Sandra Cuevas Romero, Eduardo García González y Francisco Villaseñor Ortega	
LA KISSPENTINA-10 vs GnRH EN VAQUILLAS BRAHMAN, EN LA SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN	1108
Abraham Fragoso Islas, Jorge Víctor Rosete Fernández, Ángel Ríos Utrera, Rubén Santos Echeverría y Lauro A. Flores Ramos	
DINÁMICA POBLACIONAL DE ESPECIES ARVENSES EN SITIOS SUJETOS A PASTOREO RACIONAL VOISIN	1109
María de la Luz Avendaño Yáñez, Silvia López Ortiz y Mónica de la Cruz Vargas Mendoza	

Índice

FORESTAL

 AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE <i>Fusarium</i> spp. ASOCIADAS AL MARCHITAMIENTO EN <i>Pinus</i> spp., EN VIVEROS FORESTALES DEL CENTRO DE VERACRUZ	1111
Carlos Yair Vásquez González, María del Carmen Núñez Camargo, Jesús Dorantes López, Guillermo Rodríguez Rivas y Alejandro Salinas Castro	
 POTENCIALIDAD DE <i>Guadua aculeata</i> Rurp. ex E. Fourn PARA EL MERCADO DE BONOS DE CARBONO	1121
Casimiro Ordóñez Prado, Juan Carlos Tamarit Urias, Martha Elena Fuentes López y Melchor Rodríguez Acosta	
 EFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES ACUOSOS Y PRODUCTO QUÍMICO (RAIZAL) EN EL CRECIMIENTO DE <i>Pinus pseudostrobus</i>	1136
Luis Alfonso Pérez Acosta, Karen Daniela González González, Alexandra Durán Mejía, Osmara Atenas Castro Blas, Jesús Rafael Roque García, Marcos Adán Vela Hernández y Alejandro Quirino Villarreal	
 PATRONES DE EMERGENCIA DE PLÁNTULAS DE PINOS MEXICANOS	1146
Andrés Flores, Jorge Méndez González, Tomás Pineda Ojeda, Enrique Buendía Rodríguez y Eulogio Flores Ayala	
 ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE ALTURA-DIÁMETRO PARA PINOS TROPICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA	1156
Ramiro Puc Kauil, Adán Nava Nava, Faustino Ruiz Aquino, Casimiro Ordóñez Prado y Bossuet Gastón Cortés Sánchez	
 MAPEO DE LA COBERTURA FORESTAL MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN, OBTENIDAS POR DRONES DE BAJO COSTO	1173
Casimiro Ordóñez Prado, Enrique Buendía Rodríguez, Adrián Hernández Ramos y Bossuet Gastón Cortés Sánchez	
 BIODETERIORO EN MADERA PRESERVADA DE AILE, ENCINO, PINO Y PAPALOTE	1188
Jesús Mao Aguilar Luna, Juan Manuel Loeza Corte, Liliana Hernández Vargas y Julia García Luna	
 MORFOLOGÍA DEL POLEN DE <i>Pinus greggii</i> Engelm. DE INDIVIDUOS DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIE EN CERRO DE LEÓN, VERACRUZ	1189
Elba Olivia Ramírez García, Danna Paola Torres Campillo, Juan Márquez Ramírez, Héctor Cruz Jiménez, Juan Alba Landa y Lilia del C. Mendizábal Hernández	
 PRODUCCIÓN DE CONOS EN UN HUERTO SEMILLERO CLONAL DE <i>Pinus patula</i> EN AQUIXTLA, PUEBLA	1190
Liliana Muñoz Gutiérrez	
 ELEMENTOS TÉCNICOS FUNDAMENTALES PARA USAR LA APLICACIÓN INFORMÁTICA SIIMADER EN LA PRESCRIPCIÓN DE ACLAREOS	1191
Juan Carlos Tamarit Urias y Melchor Rodríguez Acosta	
 CONSERVACIÓN <i>in situ</i> Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	1192
Andrés Flores, Tomás Pineda Ojeda, Enrique Buendía Rodríguez, Eulogio Flores Ayala y Jorge Méndez González	
 MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR ALTURA, VOLUMEN Y BIOMASA EN TRES ESPECIES GIGANTES DE BAMBÚ	1193
Juan Carlos Tamarit Urias, Casimiro Ordóñez Prado, Melchor Rodríguez Acosta y Martha Elena Fuentes López	
 PRODUCCIÓN DE BIOMASA, CAPTURA DE C Y FIJACIÓN DE CO_{2e} DEL BAMBÚ EXÓTICO <i>Dendrocalamus giganteus</i> Munro	1194
Juan Carlos Tamarit Urias, Lucía Hernández Adame, Melchor Rodríguez Acosta y Martha Elena Fuentes López	
 MERCADO DE PRODUCTOS DE BAMBÚ EN MÉXICO	1195
Martha Elena Fuentes López, Casimiro Ordóñez Prado, Juan Carlos Tamarit Urias, Idalia Zaragoza Hernández y Juan Quintanar Olguín	

Índice

FORESTAL

EFFECTO HORMÉTICO DE DOS FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE EN LA GERMINACIÓN <i>in vitro</i> DE <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	1196
Laura Yasmin Flores López, Lourdes Georgina Iglesias Andreu, María de Lourdes Palafox Chávez e Ivar Diego Aceves Sánchez	
ESTIMACIÓN DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS MEDIANTE VANT, EN UN RODAL DE <i>Pinus hartwegii</i> Lindl., EN EL PICO DE ORIZABA	1197
Martha Luisa Rodríguez Espinoza, Bernabé Colohua Citlahua y Teresa de Jesús Nicolás Silva	
EVALUACIÓN DE AGRIETAMIENTO DE CULMOS DE BAMBÚ POR SECADO	1198
Juan Quintanar Olguin y Martha Elena Fuentes López	
REQUERIMIENTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BAMBÚ EN MÉXICO	1199
Juan Quintanar Olguin y Martha Elena Fuentes López	
ANÁLISIS PRÓXIMAL DEL CARBÓN VEGETAL DEL BAMBÚ NATIVO <i>Guadua aculeata</i> Rupr. ex E. Fourn	1200
Edna Elena Suárez Patlán, Casimiro Ordóñez Prado, Christian Eduardo Limón Luna y Martha Elena Fuentes López	

ACUÍCOLA Y PESQUERA

CRECIMIENTO DE <i>Tetraselmis chuii</i> (BUTCHER, 1959) CON DIFERENTES MEDIOS NUTRITIVOS Y SALINIDAD EN LABORATORIO	1202
José Alfredo Solís Echeverría, Ángel Ancona Ordaz, Rodrigo Raúl García Torcuato, Juan Quintín Román Tiburcio e Itzel Alejandra Chim Chi	
ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA ACUACULTURA SUSTENTABLE EN MÉXICO	1217
Abimael Lagunes Domínguez, Diego Esteban Platas Rosado, Alberto Asiain Hoyos, Rosa Isela Castillo Zamudio y Juan Cristóbal Hernández Arzaba	
ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ	1230
Diana Berenice Reyes Jaen, Victoria Magdalena Pulido Juárez, Ignacio Alejandro Pérez Legaspi, Ana Leticia Platas Pinos y Eugenio Rangel León	
ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LANGOSTINO MALAYO (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>) EN MÉXICO	1239
Karla Teresa González Figueroa, Juan Lorenzo Reta Mendiola, Felipe Gallardo López, Alberto Asiain Hoyos, Katia Angélica Figueroa Rodríguez y Verónica Lango Reynoso	
EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MACRO Y MICROSCÓPICAS DEL ESPERMA DEL MORRO COLORADO (<i>Vieja fenestrata</i>)	1251
José Manuel Ramírez Ochoa, Juan Pablo Alcántar Vázquez, Martha Patricia Hernández Vergara, José Manuel Juárez Barrientos y Emyr Saúl Peña Marín	
FRECUENCIA DE DESOVES DEL FALSO PEZ PAYASO (<i>Amphiprion ocellaris</i>) EN CONDICIONES DE LABORATORIO	1252
Vanessa Meza Jiménez, Carlos Iván Pérez Rostro y Martha Patricia Hernández Vergara	
OBSERVACIONES PRELIMINARES PARA EL CULTIVO Y CONSERVACIÓN DE CRUSTÁCEOS NATIVOS DE AGUA DULCE DEL GÉNERO <i>Macrobrachium</i> DE VALOR COMERCIAL EN VERACRUZ, MÉXICO	1253
Diana Pérez de Jesús, Juan Lorenzo Reta Mendiola, Alberto Asiain Hoyos y Fernando Vega Villasante	

Índice

DESARROLLO RURAL

CAPACITACIÓN PARA PRODUCCIÓN Y USO DE BIOINSUMOS EN EL ESTADO DE HIDALGO: UN ANÁLISIS DE LOS ACTORES	1255
José Antonio Espinosa García y Alejandra Vélez Izquierdo	
EDUCACIÓN AGROECOLÓGICA EN AGROECOSISTEMAS LOCALES: UNA EXPERIENCIA CUBANA	1267
Arturo Pérez Vázquez, Yuneidys González Espinosa y Yamaris Swaby Quao	
ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN E INGRESO NETO DE TRIGO (<i>Triticum aestivum</i> L.x.) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO	1279
Alejandra Vélez Izquierdo, José Antonio Espinosa García, Ernesto Solís Moya y Manuel Mosqueda Mendoza	
PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN ADICIONADOS CON HARINA DE HABA (<i>Vicia faba</i> L.)	1294
María del Rosario Bernabé Salas, Alejandro Otlica Rosario, José Luis Rivera Cruz y José Pascual Hernández Jiménez	
PRODUCTIVIDAD DE LA FRANJA DE ÁRBOLES FRUTALES DEL SISTEMA MIAF EN LA ZONA MAZAHUA	1295
Ernesto Cárdenas Bejarano, Horacio Santiago Mejía, Ildelfonso Ronquillo Cedillo, Rocío Albino Garduño y Felipe Gallardo López	
ESTRATEGIAS PARA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN NARANJA EN EL NORTE DE VERACRUZ Y NORESTE DE PUEBLA	1296
Laura Gómez Tovar, Manuel Ángel Gómez Cruz y Luis Enrique Ortiz Martínez	
SISTEMATIZACIÓN DE LA ACCIÓN SOCIAL-COLECTIVA EN CONTRA DE CIANTRANILIPROL PARA PROTEGER LAS ABEJAS	1297
Manuel Ángel Gómez Cruz, Laura Gómez Tovar y Rosa Gloria García Bautista	
PAUSA AL DECRETO PRESIDENCIAL SOBRE LA PROHIBICIÓN DEL GLIFOSATO EN MÉXICO	1298
Manuel Ángel Gómez Cruz, Laura Gómez Tovar y Luis Enrique Ortiz Martínez	
VIVERISTAS: UN CAMPO DE CONOCIMIENTOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE PLANTAS DE ORNATO	1299
Deysi Cordero Rueda, Abigail Luna Anastacio, Jimmy Gael Vázquez Hernández, Deli Alessandra Meza Cruz y Ariadna Linares Gabriel	
EL AGUA AGRÍCOLA EN MÉXICO: ANÁLISIS JURÍDICO INTEGRAL HACIA LA GOBERNANZA	1300
Martha Beatriz Cuéllar Lugo, Alberto Asiain Hoyos, Salvador Partida Sedas, María del Carmen Álvarez Ávila, Felipe Gallardo López y Juan Suárez Sánchez	
LAS GRANJAS DE INSECTOS (<i>Hermetia illucens</i>) PARA LA BIOCONVERSIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS A PROTEÍNA	1301
Emilio Hernández, Marysol Aceituno Medina, Landi Fabiola Barrientos, Carlos G. García Castillo y Juan Díaz	
DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE: ESTRATEGIAS PARA LA CAFETICULTURA DE IXHUATLÁN DEL CAFÉ, VERACRUZ	1302
Gerardo Moreno Mata, María del Carmen Álvarez Ávila y Alberto Asiain Hoyos	
RESPUESTA DE <i>Anastrepha ludens</i> (Díptera: Tephritidae) SOBRE FRUTOS IMPREGNADOS CON MICROORGANISMOS MARINOS	1303
Enequina Cruz Hernández, Eduardo Tadeo Hernández, Cesar Ruiz Montiel y Roberto Gregorio Chiquito Contretas	
EL AGROECOSISTEMA CAFÉ Y LA LÍNEA DE BIENESTAR MÍNIMO EN LA REGIÓN DE ZONGOLICA, VERACRUZ	1304
Rogelio Limón Rivera, Hilario García Martínez, Susana Isabel Castillo Martínez y Julio Díaz José	
ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIOAMBIENTAL AL IMPLEMENTAR UN HUMEDAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL AGUAJE, EMILIANO ZAPATA, VERACRUZ, MÉXICO	1305
Nelson Andrés Losada Rodríguez, José Luis Marín Muñiz y María del Carmen Celis Pérez	
PRODUCCIÓN DE PILONCILLO EN TRES ESTADOS DE MÉXICO	1306
Esmeralda Santiago Hernández, Alejandra Soto Estrada, Ponciano Pérez Hernández y José de Jesús Pérez Bautista	

Índice

MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE UN PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN MODIFICADO	1308
Ana Concepción Ramos Martínez, Miguel Ángel López Ramírez, Gerardo González Gómez y Olaya Pirene Castellanos Onorio	
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL REACTIVO FENTON COMO TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON NÍQUEL	1321
Carlos Posadas Cano, Miguel Ángel López Ramírez, Gerardo González Gómez y Olaya Pirene Castellanos Onorio	
PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA VEGETAL DE DESECHO	1334
Estefany del Carmen Huesca Velázquez, Dalia Guadalupe Mendoza López, Verónica Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez y Fabiola Lango Reynoso	
DISPERSIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE ARRECIFES CORALINOS UBICADOS FRENTE A LA CIUDAD DE VERACRUZ	1346
Silvia Alejandra Santos Escobar, Claudia Araceli Dávila Camacho, Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez y Magnolia Grisel Salcedo	
PRESENCIA DE ENTEROCOCOS EN AGUA DEL PNSAV	1361
Fátima Jael Olvera Muñoz, Lady Cecilia Espinoza Tepepa, Christian Reyes Velázquez y María del Refugio Castañeda Chávez	
COMPARACIÓN DE EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS POR SOLVENTES Y SOXHLET APLICADOS EN <i>Chlorella vulgaris</i> DESHIDRATADA	1368
Eduardo Hernández Aguilar, Ángel Raúl Montero Durán, Ignacio Sánchez Bazán, José Vicente Martínez y Nayeli Gutiérrez Casiano	
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PRODUCTORA DE CAFÉ POR ELECTROCOAGULACIÓN Y FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO	1379
Alondra Valerio Jiménez, Nayeli Gutiérrez Casiano, Karla Díaz Castellanos, José Manuel Rosado Ortiz, José Vicente Martínez y Eduardo Hernández Aguilar	
EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN DE <i>Trimezia steyermarkii</i> (RC-Foster) EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL TecNM/ITBoca	1389
José Rodolfo Rosas Matey, Paula Zúñiga Ruíz, Isabel Araceli Amaro Espejo, Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez y Fabiola Lango Reynoso	
MICROBIOMA BACTERIANO NO SUSCEPTIBLE A ANTIBIÓTICOS PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES PORCINAS	1399
Jacel Adame García, José Antonio Fernández Viveros, Félix David Murillo Cuevas, Maritza Lisset Vázquez Salas y Adriana Elena Rivera Meza	
PRODUCCIÓN Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN UN BOSQUE DE <i>Abies religiosa</i>	1413
Virginia Martínez Rojas, Alejandro Pérez Rosales y Juan José Almaraz Suárez	
ESTIMACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE LIGNINA DE HOJARASCA Y RAMAS EN SUELOS FORESTALES	1427
Alejandro Pérez Rosales, Virginia Martínez Rojas y Juan José Almaraz Suárez	
HONGOS EDÁFICOS EN ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus x latifolia</i> Tanaka ex Q. Jiménez) ABONADOS CON LOMBRICOMPOSTA	1443
Jocelyn Márquez Cervantes, Juan Valente Megchún García, María del Refugio Castañeda Chávez e Isabel Araceli Amaro Espejo	
MACROFAUNA EDÁFICA EN ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA ABONADOS CON LOMBRICOMPOSTA	1459
Beatriz Adriana Santiago Domínguez, Juan Valente Megchún García, María del Refugio Castañeda Chávez y Gaby Carmen Navarrete Rodríguez	
ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS, UTILIZADOS COMO LABORATORIOS SOCIALES	1473
Yennis Ramos Pérez y José Luis Marín Muñiz	
MORFOMETRÍA DE VAINA Y SEMILLA DE UN RODAL SEMILLERO DE <i>Cajanus cajan</i>	1481
Manuel Villarruel Fuentes, Ignacio Garay Peralta, Rómulo Chávez Morales y Roberto Eder Pimienta Díaz	

MEDIO AMBIENTE

MODELO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS FORESTALES AFECTADAS POR INCENDIOS A PARTIR DE COMUNIDADES BIÓTICAS DEL SUELO	1491
Daniel Alejandro Cadena Zamudio, Jorge David Cadena Zamudio, José Germán Flores Garnica, José Luis Arispe Vázquez, Sergio Ayvar Serna, José Francisco Díaz Nájera y Ana Graciela Flores Rodríguez	
TENDENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE INCENDIOS FORESTALES EN MÉXICO: UNA PERSPECTIVA BIBLIOMÉTRICA	1506
Daniel Alejandro Cadena Zamudio, Jorge David Cadena Zamudio, José Germán Flores Garnica, José Luis Arispe Vázquez, Sergio Ayvar Serna y José Francisco Díaz Nájera	
USO DE BAGAZO DE CAFETERÍA Y PERCOLADORA COMO SUSTRATO PARA EL CRECIMIENTO DE <i>Pleurotus</i> spp.	1521
Tania Carina Hernández Flores, Minerva Rosas Morales y Ada María Ríos Cortés	
PERCEPCIÓN DE CALIDAD DEL AGUA Y CONDICIONES AMBIENTALES EN ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ	1533
Anastacio Nanco Ortiz, Octavio Ruíz Rosado y Juan Manuel Padilla Flores	
CARBONO LIBERADO POR LOS SUELOS DE MANGLAR, BOSQUE DE CONÍFERAS Y SELVA TROPICAL ALTA PERENNIFOLIA, EN VERACRUZ, MÉXICO	1542
Catalino Jorge López Collado, Cosme Pérez Hernández, María Teresa Landa Cortina, María del Rosario Rojas Merino, Ángel Capetillo Burela, Ángel de Jesús Isidoro Pío y Nora Aida Hernández Avendaño	
LIBERACIÓN DE CARBONO DEL CONTENIDO RUMINAL BOVINO APLICADO AL SUELO MEDIANTE INCUBACIÓN ESTÁTICA	1555
Catalino Jorge López Collado, Álvaro Palacios Mendoza, Karla Selene Forstall Sosa, Eusebio Ortega Jiménez, Jacel Adame García y Nora Aida Hernández Avendaño	
SELECCIÓN DE UN SUSTRATO PARA LA PROPAGACIÓN POR DECAPITACIÓN DE <i>Echeveria rubromarginata</i> Rose	1566
María Elena Galindo Tovar, Mauricio Hernández Jauregui, Miguel Cebada Merino, Joaquín Murguía González, Pablo Andrés Meza y Otto Raúl Leyva Ovalle	
SITUACIÓN ACTUAL DEL USO DE INSECTICIDAS EN EL CULTIVO DE LIMÓN PERSA	1576
Rosa Isela Rosalino Antonio, Isabel Araceli Amaro Espejo, Juan Valente Megchún García, Jeremías Nataren Velázquez y Jesús Montoya Mendoza	
REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE AGUAS GRISES MEDIANTE HUMEDALES DE TRATAMIENTO CON DIFERENTES SUSTRATOS	1586
José Luis Marín Muñiz, María Isabel Martínez de la Cruz, Héctor Hernández García y Sergio Zamora Castro	
USO DE PLANTAS HIDRÓFITAS PARA FITORREMEDIACIÓN EN HUMEDALES CONSTRUIDOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ	1602
Karina Elizabeth Martínez Aguilar, Irma Zitácuaro Contreras y José Luis Marín Muñiz	
VALIDACIÓN DE VARIEDADES DEL FRIJOL DEL INIFAP EN EL GOLFO-CARIBE MEXICANO DURANTE EL FENÓMENO ENOS-“EL NIÑO”	1617
Francisco J. Ugalde Acosta, Sabel Barrón Frayre, Arturo Guirrit Guzmán, Raymundo Javier Nava Ramírez, Rafael Contreras Hinojosa, Roberto Canales Cruz, Lamberto Zúñiga Estrada, Héctor Torres Pimentel, Rosa Claudia Juárez Lara, Félix Jiménez Bautista, Soledad Pedraza Flores, Marco Antonio Morales Varela, Pedro Díaz Reyes, Emilio Jesús Rodríguez Escalante, María Del Consuelo López Ramírez, Jorge Salas Guerrero, Luis Toledo Preses Bernal, Simón Leyva Vela, Oscar Maldonado Guzmán, Carlos Rivera Andrade, Joel Goxcon Sixtega, Armando Domínguez Castillo, Roberto Ojeda Castro, Rosario López Saavedra, Gerardo Utrera Romero, Víctor Manuel Domínguez Rivera, Rafael Martínez González y Roberto Macario Osorio	
RIESGOS SOCIO-AMBIENTALES DERIVADOS DE LA DESCARGA DE NEJAYOTE SIN TRATAMIENTO PREVIO	1629
Damaris González Rivadeneyra, José Luis Marín Muñiz y Gonzalo Ortega Pineda	
CONOCIMIENTOS DE CIUDADANOS DE XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO SOBRE HUMEDALES Y SUS SERVICIOS AMBIENTALES	1649
Aarón López Roldán, José Luis Marín Muñiz y María Elizabeth Hernández Alarcón	

Índice

MEDIO AMBIENTE

EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE VINAZAS EN HUMEDAL HÍBRIDO SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO	1662
José Antonio Fernández Viveros, Pedro Adrián Ortega Cervantes, Jacel Adame García y Félix David Murillo Cuevas	
PRESENCIA DE <i>Vibrio</i> spp. (<i>parhaemolyticus</i>) EN LA ZONA DEL PNSAV Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD ANTROPOGÉNICA	1671
Lady Cecilia Espinoza Tepepa, Fátima Jael Olvera Muñoz, Christian Reyes Velázquez y María del Refugio Castañeda Chávez	
SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS DE FOLLAJES DE CORTE: UN ENFOQUE PARA EL MANEJO SUSTENTABLE	1672
Gregorio Briones Ruiz Julio Díaz José, Otto Raúl Leiva Ovalle y Noé Aguilar Rivera	
CONCENTRACIONES DE CLORURO DE LANTANO SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LECHUGA EN RAÍZ FLOTANTE	1673
Guadalupe Contreras Martínez, Danna D. Vázquez Morales, Isabel Alemán Chávez, Doris G. Castillo Rocha, Luis G. Hernández Montiel y Liliana Lara Capistrán	
EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN DEL FLUJO DE AIRE CON LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN REACTORES TIPO AIRLIFT UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE MICROALGAS (<i>Chlorella vulgaris</i>)	1674
Gerardo Evaristo González Landero, Anselmo Osorio Miron, Luis Alberto Sánchez Bazan, Ignacio Sánchez Bazan y Eduardo Hernández Aguilar	
DIAGNÓSTICO DEL SUELO PARA SU CONSERVACIÓN, EN LAS COMUNIDADES AGUA DE LOS PESCADOS Y EL CONEJO DEL PARQUE NACIONAL COFRE DE PEROTE	1675
Benito Hernández Castellanos, Héctor V. Narave Flores, Ma. De Los Ángeles Chamorro Zárate, Yadeneyro De la Cruz Elizondo, Ma. Del Rosario Pineda López y Julio César Castañeda Ortega	
TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN MÉXICO Y PROPUESTA PARA EL PERIODO 2025-2030	1676
Laura Gómez Tovar, Manuel Ángel Gómez Cruz y Esmeralda Cisneros Villegas	
ANÁLISIS DE UN PROGRAMA DE REFORESTACIÓN COMO ACCIÓN DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PARQUE NACIONAL PICO DE ORIZABA	1677
Adriana Ixmattlahua Ruiz, Bernabé Colohua Citalhua y Eric Pascal Houbbron	
CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA GENERACIÓN DE COMPUESTOS BIOPOLÍMEROS	1678
Guadalupe Dolores Gutiérrez Sampieri, Melda Jaime Leyva Romero, José Proudinat Suarez e Itzel Galaviz Villa	
COMPONENTES TECNOLÓGICOS CON APORTES SIGNIFICATIVOS A LA PRODUCTIVIDAD DE SORGO DULCE EN VERACRUZ	1679
Sergio Uribe Gómez, Rosa Laura Rebolledo García, Noé Montes García y María Guadalupe Aguilar Uscanga	
IMBIBICIÓN DE SEMILLAS Y ASPERSIÓN AL SUSTRATO DE VANADIO AFECTAN EL CRECIMIENTO INICIAL DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.)	1680
Víctor Hugo Carbajal Vázquez, Fernando Carlos Gómez Merino, Libia Iris Trejo Téllez, Jazmín Lavin Castañeda y Juan Valente Hidalgo Contreras	
INNOVACIÓN DE MÁQUINA COMO PROTOTIPOS SUSTENTABLES PARA LA RECUPERACIÓN DE PLÁSTICOS PET EN COMUNIDAD RURAL	1681
Israel Robles Hernández, Isabel Lagunes Gomes y Francisco Enrique Cab Jiménez	
ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE 2016-2021 DEL MUNICIPIO DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ, A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES	1682
Rodolfo Campos Tenorio, Itzel Galaviz Villa, Hirvin Gorospe Zetina, Mario Adrián López Ortiz y María Guadalupe de los Santos Zavala	
CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DE PASO DE OVEJAS Y SU VIABILIDAD PARA CONSUMO HUMANO	1683
Mario Torres Becerril y Gustavo López Romero	

Índice

MEDIO AMBIENTE

CUBIERTA VEGETAL Y ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYACATENGO DEL AÑO 2000 AL 2020	1684
Victorino Gómez Valenzuela, Carlos Eduardo Marín González, Salvador Martínez Romero, Tania Crisbel De la Cruz Moreno, Vicia Cipriano Bautista, Lizbeth Guadalupe Sánchez Ganiel y Jesús Antonio Vásquez Ozuna	
DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN CULTIVO DE TILAPIA EN VERACRUZ	1685
Dalia Guadalupe Mendoza López, María del Refugio Castañeda Chávez y Fabiola Lango Reynoso	
EVALUACIÓN DEL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD EN PAPAYA EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ	1686
Román Morales Pablo, Genaro Aguilar Gutiérrez, Alejandra Soto Estrada, Itzel Galaviz Villa, Eliseo García Pérez y Alejandra Ramírez Martínez	

AGROECOSISTEMAS

EFECTO DEL VALOR AGREGADO EN EL MARGEN DE INTERMEDIACIÓN DE LOS ALIMENTOS	1688
Víctor Hugo Beltrán García, Diego Esteban Platas Rosado, Roselia Servín Juárez y María del Carmen Álvarez Ávila	
IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DURANTE LA TRANSICIÓN DE LA FINCA GANADERA “LA PALMA” A DIVERSIFICADA	1703
Yuseika Olivera Castro, Néstor Francisco Núñez García, Wendy Mercedes Ramírez Suárez, Manuel Hernández Hernández, Abel Hernández Herranz, Odalys Caridad Toral Pérez y Jairo Uguellés Rodríguez	
INCREMENTO PRODUCTIVO DE LA FINCA “LA PALMA” DURANTE LA TRANSICIÓN DE FINCA GANADERA A DIVERSIFICADA	1714
Odalys Caridad Toral Pérez, Yuseika Olivera Castro, Néstor Francisco Núñez García, Wendy Mercedes Ramírez Suárez, Manuel Hernández Hernández, Abel Hernández Herranz y Jairo Uguellés Rodríguez	
ORIGEN, EVOLUCIÓN, CORRIENTES DE PENSAMIENTO E IMPLICACIONES METODOLÓGICAS DEL CONCEPTO DE AGROECOSISTEMAS: UNA REVISIÓN	1725
Ángel Capetillo Burela, Felipe Gallardo López, Catalino Jorge López Collado, Rigoberto Zetina Lezama, Eusebio Ortega Jiménez, Gustavo López Romero, David Jesús Palma López y Marco Antonio Reynolds Chávez	
DIVERSIDAD DE MACROFAUNA DEL SUELO EN PARCELAS CON FORRAJE DE PORTE BAJO	1739
Carmelo Pérez Ponce, Eusebio Ortega Jiménez, Catalino Jorge López Collado, Armando Guerrero Peña y Martha Beatriz Cuellar Lugo	
SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA MEDIANTE OZONO	1754
Xiomara Amairani Melchor Aldana, José Daniel Hernández Ventura, David Ramírez Pérez y Adolfo Pelayo Moreno	
ANÁLISIS DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ESTADO DE VERACRUZ	1762
Jorge Armida Lozano, Gustavo López Romero, Felipe Gallardo López, Emmanuel de Jesús Ramírez Rivera, Juan Cristóbal Hernández Arzaba y Diego Esteban Platas Rosado	
EL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA: SU IMPACTO COMO POLÍTICA PÚBLICA EN AGROECOSISTEMAS EN CHOCAMÁN, VERACRUZ, MÉXICO	1773
Yamaris Swaby Quao, Arturo Pérez Vázquez y Esteban Escamilla Prado	

AGROECOSISTEMAS

EL SELLO DE BIODIVERSIDAD COMO INCENTIVO PARA PROTEGER A LOS AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS EN VERACRUZ	1786
Jazmín Cobos Silva, José Luis Ramírez Morales y Cercia Yazmín Cortés de la Luz	
PRÁCTICAS SUSTENTABLES EN PARCELAS CON MANEJO AGROECOLÓGICO: EFECTO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO	1787
Karen Romero Cózar, Salvador Partida Sedas y Octavio Ruiz Rosado	
PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN SELVA BAJA CADUCIFOLIA	1788
Luis Jesús Pasqualli García, Pablo Castañeda de la Cruz, Juan Manuel Pichardo Ocampo y José Luis Arispe Vázquez	
ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES PRODUCTIVOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS ENTRE AGROECOSISTEMAS ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tanaka)	1789
Elizabeth Argüello García, Estrella Yamilet Paredes Caval, Yolai Noda Leyva, Silvia Nelly Almaguer Hidalgo y Jorge Luis Salomón Díaz	
INDUCCIÓN DE PLBs BAJO DOS ESPECTROS DE ILUMINACIÓN EN <i>Prosthechea fragans</i> (Sw.) W.E. Higgins (ORCHIDACEAE)	1790
Brandon Giovanni Cervantes Rodríguez y Lourdes Georgina Iglesias Andreu	
<i>Lasiodiplodia</i> sp: CAUSANTE DE LA MANCHA FOLIAR EN <i>Aloe vera</i> (L) Burm, f	1791
Gilda Fabiola Ruiz Hernández, María de Jesús Yáñez Morales, Galdy Hernández Zárate, Francisco Osorio Acosta y Rosa Isela Castillo Zamudio	
CLOROFILAS EN PLÁNTULAS DE <i>Coffea arabica</i> L. EN FUNCIÓN DE LA BIOESTIMULACIÓN RADICAL Y RADIACIÓN SOLAR	1792
Jesús Mao Aguilar Luna, Ernesto Díaz López, Ana Lucía García Díaz y Rodolfo Hernández Ángel	
SELECCIÓN DE ACARICIDAS PARA EL CONTROL DE ÁCAROS PLAGA EN AGROECOSISTEMAS PAPAYEROS EN EL ESTADO DE VERACRUZ	1793
Martha Escarlet Beristain Moreno, Juan Antonio Villanueva Jiménez, Francisco Osorio Acosta y Gabriel Otero Colina	
EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE ACCESIONES DE PAPAYO NATIVO DE MÉXICO AL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR	1794
David Sósol Reyes, Juan A. Villanueva Jiménez, Alejandra Soto Estrada, Elías Hernández Castro y Gustavo López Romero	
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ ASOCIADO A <i>Pinus chiapensis</i> BAJO UN SISTEMA AGROFORESTAL	1795
Melchor Rodríguez Acosta, Luis Eduardo García Mayoral y Rosalío López Morgado	
VARIACIÓN MORFOESTRUCTURAL EN FRUTOS DEL GÉNERO <i>Vanilla</i> EN AGROECOSISTEMAS DEL TONACAPAN PUEBLA-VERACRUZ, MÉXICO	1796
Maximino Díaz Bautista, Eliseo García Pérez, Braulio Edgar Herrera Cabrera, Arturo Pérez Vázquez y Gustavo López Romero	
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SIETE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR EN FASE SEMICOMERCIAL EXPUESTAS A SEQUÍAS PROLONGADAS	1797
Jazmín Lavin Castañeda, Fernando Carlos Gómez Merino, Libia Iris Trejo Téllez, Arturo Pérez Vázquez, Gustavo López Romero, José López Collado, Juan Valente Hidalgo Contreras, Alejandro Galicia Román y José Adalberto Cibrián Anaya	
EFECTO DE UN BIOESTIMULANTE INORGÁNICO EN DOS CICLOS DE PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR	1798
Jazmín Lavin Castañeda, Fernando Carlos Gómez Merino, Libia Iris Trejo Téllez, Arturo Pérez Vázquez, Gustavo López Romero, José López Collado, Juan Valente Hidalgo Contreras y Alejandro Galicia Román	

Índice

AGROECOSISTEMAS

CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss.) **1799**

EN LA SIERRA MARISCAL, CHIAPAS

Helcías Eliú Velázquez Morales, Victorino Gómez Valenzuela, Bernardino Ramírez Hernández
y Román Roberto Vásquez Rendón

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE DOS ESPECIES CON POTENCIAL PARA BARRERAS **1800**

VIVAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ

María del Carmen Pablo Mendoza, Rolando Misael Tlaxcala Méndez, Rosalío López Morgado,
Andrés Vásquez Hernández y Eileen Salinas Cruz

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALGINATO SÓDICO Y ALMIDÓN DE MAÍZ EN **1801**

POSTCOSECHA DE MANGO ATAÚLFO

Victoria Estefanía Ruiz Molina, Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar, René Peralta Rodríguez,
María José Fabra Rovira, Juan Carlos Noa Carrazana, Galdy Hernández Zárate y Rosa Isela Castillo Zamudio



Agrícola

HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS CON SÍNTOMAS DE ANILLAMIENTO DEL PEDÚNCULO Y DEFICIENCIAS NUTRIMENTALES EN AGUACATE HASS

Carmela Hernández Domínguez^{1*}, Mariela Ramos Contreras¹, Sigfrido David Morales Fernández¹ y Luis Antonio Domínguez Perales¹

Resumen

El anillamiento del pedúnculo en frutos de aguacate se ha relacionado con deficiencias nutrimentales y presencia de microorganismos fitopatógenos. Por esta razón, la presente investigación tuvo como finalidad determinar la frecuencia con la que se presentan los géneros de hongos asociados con anillamiento del pedúnculo en parcelas de aguacate en el estado de Puebla, y su relación con el estado nutrimental de la planta. Para el experimento se muestrearon siete parcelas en las que se tomaron 250 g de hoja y 175 frutos de los cuales se aislaron y caracterizaron morfológicamente hongos fitopatógenos y se extrajo su ADN, el cual se amplificó en la región ITS del gen 5.8S rRNA, y de las hojas muestreadas se hizo un análisis nutrimental de boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), mangesio (Mg), manganeso (Mn), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca). La diversidad de hongos presentes se midió con el índice de Shannon-Winer (H') y la diferencia en la presencia de nutrimentos en hojas de aguacate en las diferentes parcelas se obtuvo con un análisis ANOVA y comparación de medias por el método de Tukey. Para conocer la relación entre el porcentaje de hongos presentes por parcela y los valores del análisis nutrimental se realizó una prueba de correlación de Pearson. La caracterización morfológica y molecular corroboraron la presencia de *Alternaria* y *Nigrospora*, sin embargo, la mayoría de los hongos obtenidos en el estudio pertenecieron al género *Alternaria*, y la mayor diversidad de especies $H=0.55$ y $H=0.26$ se presentó en Tiaguimanalco donde se obtuvieron dos especies. Asimismo, hubo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la presencia de hongos en el pedúnculo de frutos de aguacate colectado en diferentes parcelas. A pesar de que se observaron deficiencias de B, Ca y Zn en plantas, no se encontró relación entre esta deficiencia y la presencia de hongos.

Palabras claves: *alternaria*, *Nigrospora*, *Persea americana*

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Avenida Universidad S/N. San Juan Acateno, Teziutlán Puebla, 73965, México. *Autor de correspondencia: carmela.hernandezd@correo.buap.mx.

Introducción

La producción de aguacate (*Persea americana*) se encuentra distribuida alrededor del mundo, debido a su popular sabor y cantidad de nutrientes. México se ha posicionado como el productor número uno, con una producción de 2.4 millones de toneladas, seguido de Colombia con 980 000 toneladas y Perú con 770 000 toneladas (Statista, 2022). Esto lo convierte en un cultivo de gran importancia en México, lamentablemente su producción se ve mermada por diferentes enfermedades, tales como, el anillamiento del pedúnculo. Esta enfermedad cada año causa la caída de los frutos antes de que lleguen a su madurez comercial, generando pérdidas a los productores (Bisonó y Hernández, 2008).

El anillamiento del pedúnculo se presenta como un anillo en el pedúnculo de color violeta que a medida que avanza la enfermedad se extiende por todo el fruto, lo cual provoca una muerte celular que se presenta como una deshidratación hasta llegar a la momificación del fruto y su desprendimiento (Santiago, 2020).

Se ha especulado que este daño tendría que ver con deficiencias nutricionales de calcio y boro, como lo indica Herrera (2017) en su estudio en la zona de Guayllabamba, Quito. Mientras que, Delgado y Villanueva (2014) determinaron como agente causal a los hongos *Colletotrichum gloeosporioides* y *Alternaria sp.*, en el estado de Jalisco en México, a su vez, Santiago (2020) identificó a *Alternaria alternata*, en el estado de Puebla. Otro posible agente causal sería un conjunto de bacterias, como el identificado por Cervantes (2016) en su estudio realizado en la zona productora de aguacate del estado de Michoacán, en los cuales, identificó a *Erwinia*, *Pantonea*, *Burkholderia* y *Corineformes*. Por lo anterior, en esta investigación se planteó determinar la relación entre la frecuencia genética de los géneros de los patógenos que se presentan cuando existe enfermedad de anillamiento del pedúnculo y el estado nutrimental de las plantas.

Materiales y métodos

Muestreo de árboles de aguacate Hass

Se muestrearon 9 huertas de aguacate de la variedad Hass, el día 5 de diciembre del 2022 en siete municipios del estado de Puebla de donde se colectaron 50 muestras de fruto y siete muestras de hoja (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos de muestras de fruto y hoja de aguacate colectadas en el estado de Puebla para el estudio.

Poblado	Municipio	Georeferenciación	Parcela
San Antonio Apanacan	Tochimilco	18.88253, -98.70521	A
San Juan Amecac	Atzitzihuacan	18.81852, -98.67831	B
San Francisco Tepongo	Cohuecan	18.82092, -92.71079	C
San Baltazar Atlimeyaya	Tiaguimanalco	18.99081, -98.48367	D
San Pedro Benito Juárez	Atlixco	18.93434, -98.52077	E
Tochimilco	Tochimilco	18.89553, -98.56973	F
Tlapetlahaya	Huaquechula	18.76799, -98.55591	G
Tochimilco	Tochimilco	18.89838, -98.59067	H
San Diego El Organal	Huaquechula	18.70877, -98.48874	I
San Juan Acateno	Teziutlán	19.876389, -97.367222	J

Toma de muestras

Cada muestra se conformó por cinco frutos tomados de un árbol los cuales se eligieron al azar distribuidos en todo el árbol, los frutos se colectaron con pedúnculo y se colocaron en bolsas de papel estraza (bolsas usadas para pan) las cuales a su vez se metieron dentro de una bolsa de plástico todas las bolsas se etiquetaron con la fecha el nombre del sitio o parcela de donde se colectó la muestra la coordenada de geolocalización y nombre del colector además de la variedad de aguacate muestreada. En cada parcela se tomó 5 muestras (Una muestra por árbol) en un arreglo 5 de oros (una en cada esquina y una en el centro) una vez embolsada la muestra se colocó en una hielera de unicel pequeña a la cual previamente se le colocó un

conservador de temperatura. Los conservadores de temperatura colocaron 24 horas antes en un congelador.

Aislamiento de microorganismos

De los frutos con síntomas de la enfermedad se eligieron dos, y de cada uno, se cortaron cinco trozos de tejido infectado de 0.5 cm. Estos trozos se colocaron en hipoclorito de sodio al 2% por 1 minuto, se escurrieron en papel seco estéril, se colocaron en agua destilada estéril para quitar los restos de cloro y se secaron en papel sanita estéril para eliminar el exceso de agua. Todos los trozos fueron manipulados en una campana, con pinzas estériles y colocados en cajas Petri con medio de cultivo ADS (Agar Dextrosa Sabouraud). Posteriormente las cajas fueron incubadas por 48 horas a 30°C y después de este tiempo fueron revisadas para observar el crecimiento hongos presentes. Para el aislamiento se tomó con una aguja de disección parte del crecimiento del hongo y fue colocado en una caja nueva, e incubado como se describió anteriormente. Todas las cajas fueron etiquetadas con la fecha y el nombre del posible hongo sembrado.

Caracterización morfológica

La descripción morfológica de los géneros de los agentes causales del anillamiento del pedúnculo se hizo con base en las claves taxonómicas descritas Barnett y Hunter (1998). Posteriormente los hongos ya caracterizados se crecieron sobre papel filtro colocado sobre cajas Petri con medio de cultivo ADS (Agar Dextrosa Sabouraud). Estas cajas fueron incubadas por 48 horas a 30°C y después de 5 días se procedió a la extracción de ADN.

Caracterización molecular de los aislados obtenidos

Para la caracterización molecular primero se hizo la extracción de ADN del micelio crecido sobre el papel filtro el cual se colectó con ayuda de una espátula 2.5 mm³. Este micelio se depositó en un microtubo de 1.5 mL esterilizado previamente, se liofilizó por 8 horas en un equipo de liofilización LABCONCO Freezone de 4.5 L, para eliminar la humedad y realizar la extracción de ADN, para la que se utilizó el protocolo de Quiagen modificado. La amplificación del ADN extraído fue hecha para la región ITS del gen 5.8S rRNA con los primers ITS1: 5'-ATTACCGAGT TTTTCAACTCCC-3' y ITS2: 5'-ACCTGATTCGAGGTCAACGTTC-3' (White *et*

et al., 1990) los cuales se resuspendieron antes de su uso. La mezcla de reacción se preparó a un volumen final de 25 μ L e incluyó 0.2 μ M de cada primer, 0.1 mM de TrisHCl; 2.5 mM MgCl₂; 1.6 mM de cada desoxiribonucleótido (dATP, dCTP, dGTP, dTTP); 0.5 U Taq DNA polimerasa y 20 ng de DNA genómico. Las Muestras fueron amplificadas mediante un programa de 3 min a 94°C, 30 seg a 94°C, seguido por 35 ciclos de 40 seg a 45°C y 20 seg a 72°C y una extensión final de 10 seg a 72°C. Posterior a la amplificación del espacio transcripto (ITS), de cada muestra fue secuenciado por los laboratorios Macrogen en Corea. Las secuencias obtenidas fueron editadas con el programa BioEdit versión 7.1.9 (Hall, 1999) y el árbol filogenético fue generado con el método Neighbor-joining utilizando el programa Mega versión 3.6 (Tamura *et al.*, 2011).

Análisis de datos y variables a medir en el experimento

Para el análisis de diversidad de especies de *Trichoderma* se usó el índice de Shannon-Wiener (H') mediante la fórmula:

$$(H') = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{N} \right) \ln \frac{X_i}{N}$$

Donde (H') es el índice de Shannon Wiener, X_i es el número de observaciones de la especie "i", N es el número total de aislamientos observados en cada muestra, Ln es el logaritmo asignado que como mínimo es 0 y n es el número de individuos o especies. La frecuencia de especies (F) se analizó de acuerdo con el método usado por Hallouti *et al.* (2020), Mo *et al.* (2006) y Magurran (2013).

La cantidad de los nutrientes boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), zinc (Zn), fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K) y manganeso (Mn) en muestras de hojas de aguacate se determinó por el método de espectrometría de emisión atómica de planta de acomplamiento inductivo (ISP-OES). La diferencia en el porcentaje de hongos presentes en las muestras de cada parcela (tratamientos) se obtuvo con un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) con el paquete SAS versión 9.0. Para conocer la relación entre el porcentaje de microorganismos presentes por tratamiento y los resultados del análisis nutrimental se realizó una prueba de correlación de Pearson.

Resultados y discusión

Frecuencia y diversidad de especies asociadas al síntoma de anillamiento del pedúnculo

Se observaron a 40X esporas tabicadas denominadas fragmasporas, un poco redondeadas de tonalidad café claro (Figura 1), estas características describen al género *Alternaria*, y de acuerdo con la alineación de secuencias de ADN, 44 de ellas se alinearon con este género y dos con el género *Nigrospora* (Figura 1).

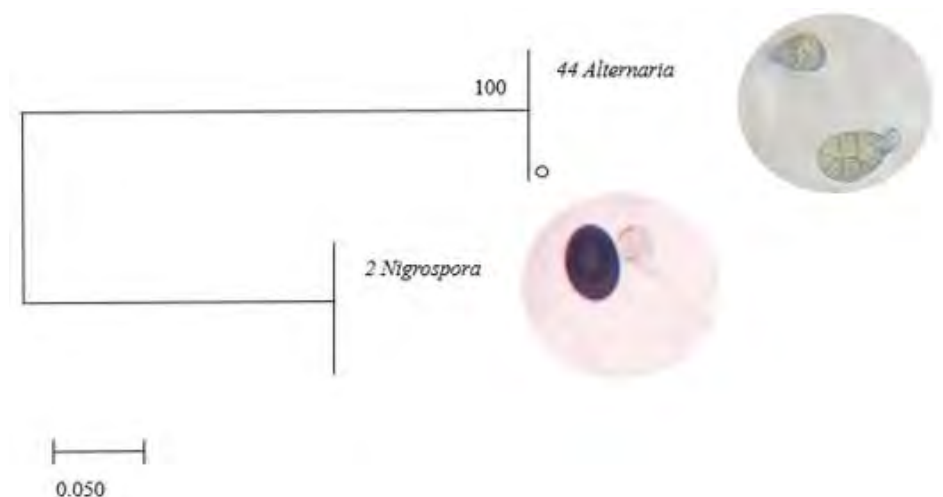


Figura 1. Filogenia de especies inferida por Máxima likelihood (ML), análisis de datos de gen ITS, 5.8s rDNA. Se muestran, los valores de bootstrap superiores a 80% y se representa solo una secuencia de cada Individuo.

Se observó con mayor frecuencia la presencia del género *Alternaria* mientras que *Nigrospora* sólo se observó en la parcela A y D. Las parcelas E hasta la G, incluyendo la B tuvieron el 100% de *Alternaria*. De acuerdo con este resultado se define a este patógeno como el principal causante del anillamiento del pedúnculo (Figura 2).

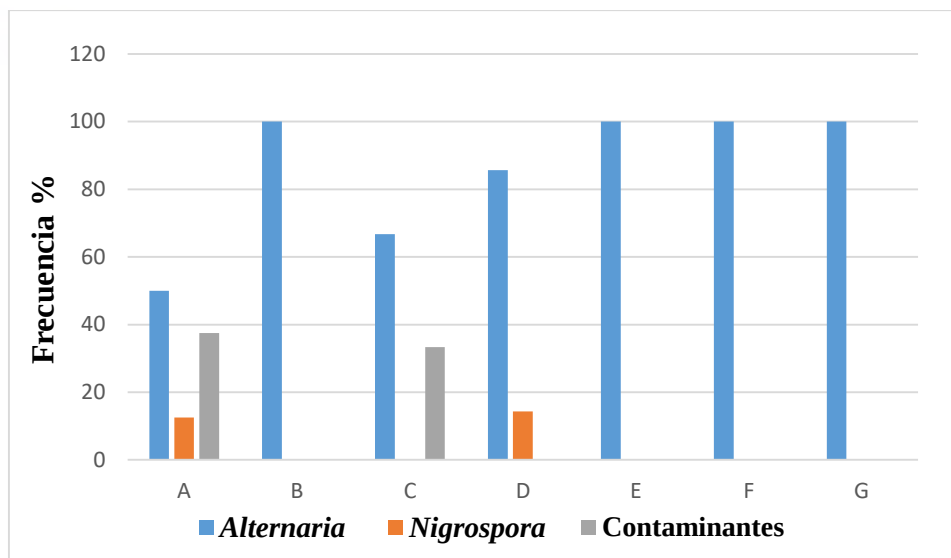


Figura 2. Frecuencia de individuos presentes por municipio.

De acuerdo con el índice de diversidad de Shannon la mayor diversidad de especies se presentó en Tiaguimanalco (Parcela D) obteniéndose dos especies $H = 0.55$ y $H = 0.26$ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diversidad de especies de hongos presentes en aguacate en diferentes municipios.

Estados	Especie	IA de especie $P_i = n/N$	$H = -\sum p_i (\log p_i)$
Atlixco (B)	<i>Alternaria sp.</i>	0.5	0
Cohuecan (C)	<i>Alternaria sp.</i>	0.6	0
Tiaguimanalco (D)	<i>Alternaria sp.</i>	0.2	0.26
Tiaguimanalco (D)	<i>Nigrospora sp.</i>	0.2	0.55
Atlixco (E)	<i>Alternaria sp.</i>	0.2	0

IA=Índice de abundancia, H=Índice de diversidad de Shannon.

Diferencia entre parcelas de acuerdo con la presencia de hongos

Aunque el análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre los tratamientos 2, 3, 5 y 6, en los tratamientos 1, 4 y 7 se observó diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), siendo el tratamiento 4 (Parcela D) el que presentó la media más alta de presencia de hongos,

con 73.8%, mientras que el tratamiento 7 fue el que presentó la media más baja con 13% (Cuadro 3). Esto sugiere que la ubicación de las parcelas, así como las condiciones climáticas presentes en la zona juegan un papel importante en la incidencia de hongos asociados al anillamiento del pedúnculo en aguacate, lo que concuerda con lo descrito por Garbanzo-Solís (2011) quien indica que, temperaturas entre 10 a 26°C, favorecen a la enfermedad. Lo cual explicaría que el tratamiento 4 (parcela D) sea el que presente el mayor porcentaje de hongos, ya que, cuando se colectaron las muestras, se registraron temperaturas en esta zona que oscilaron entre los 13 a 28°C.

Cuadro 3. Análisis de presencia de hongos por parcela muestreada.

Tratamiento	Media	Agrupamiento
1 (A)	69.80	A
2 (B)	64.00	AB
3 (C)	49.75	AB
4 (D)	73.80	A
5 (E)	59.80	AB
6 (F)	66.0	AB
7 (G)	21.67	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. CV= 26.95.

Relación entre el estado nutricional y el porcentaje de Unidades formadoras de colonia de hongos presentes.

Los resultados obtenidos del análisis nutricional de las parcelas muestreadas en el estudio (Cuadro 4), reportaron deficiencias de boro y zinc en todas ellas. Esto concordaría con lo mencionado por Garbanzo-Solís (2011), quien indica que la falta de microelementos como el zinc y boro favorecen a la enfermedad del anillamiento. Un ejemplo es lo sucedido con el tratamiento 4 y su alto porcentaje de hongos.

De acuerdo con Rebolledo y Dorado (2017), el boro es un elemento poco móvil y su deficiencia se observa en pocos o nulos brotes, crecimiento más horizontal que vertical de los brotes debido a la pérdida de la yema apical, acumulación de auxinas, inhibición de crecimiento, perforación en hojas, así como su deformación y sobre todo en frutos presenta una inserción

a nivel del pedúnculo en forma dispareja, así como frutos deformes. Mientras que, la falta de zinc ocasiona retardo del crecimiento, y un patrón de crecimiento de hoja pequeña en roseta, frutos más redondos de lo normal, estrés general, ya que, el zinc es un elemento esencial en la transformación de carbohidratos y en la regulación de consumo de azúcar en la planta que sirven para floración, amarre y cuajado, además, es indispensable para producir auxina AIA y ácido giberélico (Alcántar-González *et al.*, 2016). Sin embargo, aunque en el estudio hubo deficiencias de B, Ca y Zinc, el análisis de correlación entre los resultados de porcentaje de hongos obtenido por parcelas y la cantidad de nutrientes presentes en estas (Figura 3), no indicó relación entre las variables.

Cuadro 4. Resultados de los nutrientes de las muestras vegetales de las huertas.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn	P	Ca	K	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%
(1) A	23.7 ^a	11.6	53.7 ^b	24.0 ^a	17.6 ^a	0.15	0.8 ^a	0.78 ^b	0.65
(2) B	8.28 ^a	36.08 ^c	47.50 ^a	140.3	9.86 ^a	0.12	0.95 ^a	0.40 ^a	0.84
(3) C	26.9 ^a	9.54	72.7	102	18.2 ^a	0.11	0.95 ^a	0.63 ^a	0.6
(4) D	11.9 ^a	7.0	64.3	63.4	16.4 ^a	0.11	1.06 ^b	0.46 ^a	0.88
(5) E	12.7 ^a	6.3 ^b	66.9	155.6	19.3 ^a	0.13	1.22	0.74 ^a	0.74
(6) F	10.1 ^a	6.8 ^b	43.3 ^a	66	15.4 ^a	0.13	1.05 ^b	0.93 ^b	0.75
(7) G	11.2 ^a	23.6 ^c	76.2	83	19.9 ^a	0.18	1.21	0.96	0.82 ^c

^aValores por debajo de los requerimientos, ^b valores en el límite de deficiencia de lo requerido, ^cValores por arriba de lo requerido.

Estos resultados sugieren un análisis de datos en los que se incluyan varios muestreos y análisis de muestras donde se observen las correcciones en parcelas tratadas con los macros y microelementos faltantes, lo que haría más robusto el análisis de los datos.

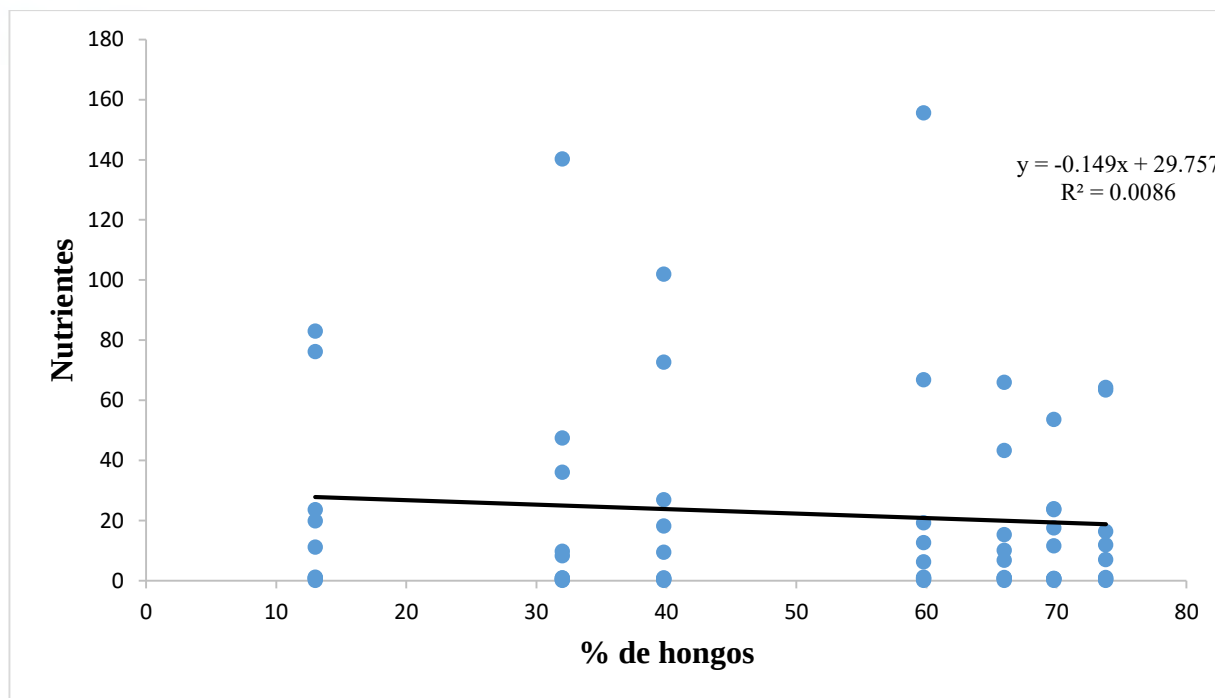


Figura 3. Relación entre los nutrientes y porcentaje de hongos.

Conclusiones

Las características morfológicas y moleculares indicaron que, una de las causas de la enfermedad conocida como anillamiento de pedúnculo en el aguacate son hongos agrupados en los géneros *Alternaria* y *Nigrospora*, cuyas secuencias de ADN a 400 bp se compararon con el banco de genes NCBI y mostraron 99% de identidad con estos hongos. Asimismo, el porcentaje de hongos presentes en el estudio indicaron que *Alternaria* es el patógeno principal que causa el anillamiento del pedúnculo, sin embargo, la ubicación y las condiciones existentes en esos lugares hacen que éste patógeno varíe la frecuencia de presencia, de esta manera, el índice de diversidad de Shannon mostró que la mayor diversidad de especies se presentó en Tiaguimanalco (Parcela D) obteniéndose 2 especies $H = 0.55$ y $H = 0.26$. Por otra parte, a pesar de que se observaron deficiencias de B, Ca y Zn en plantas, no se encontró relación entre esta deficiencia y la presencia de hongos, lo que sugiere, un estudio con aplicaciones de estos elementos como correctivos a su deficiencia y disminución de síntomas en relación con la presencia de *Alternaria sp.* y *Nigrospora sp.*

Agradecimientos

Los autores extienden sus agradecimientos al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP) por el financiamiento otorgado, y al personal de la Secretaría de Desarrollo Rural Puebla por su participación en la ejecución del presente trabajo.

Literatura citada

- Alcántar-González A., L. Trejo-Téllez y C. Gómez-Merino. 2016. Nutrición de Cultivos. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Biblioteca Básica de Agricultura. Guadalajara, Jalisco, México. 472 p.
- Barnett, H. L. and B. B. Hunter. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 4 ed. The American Phytopathological Society. APS Press. Estados Unidos de América. 218 p.
- Bisonó, P. S. y B. J. Hernández. 2008. Guía Tecnológica sobre el cultivo del aguacate. Consejo nacional de competitividad, clúster del aguacate dominicano. Santo Domingo, República Dominicana.
- Cervantes, C. E. 2016. Respuesta fisiológica de *Persea americana* Mill var. Hass a bacterias endófitas aisladas de fruto con síntomas de abscisión. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán. 77 p.
- Delgado, V. Y., y B. J. Villanueva. 2014. Identificación y evaluación de la incidencia y severidad del anillamiento del pedúnculo del aguacatero en la Sierra del Tigre, Jalisco. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 56 p.
- Garbanzo-Solis M. 2011. Manual de Aguacate: Buenas Prácticas de Cultivo Variedad Hass. 2ª edición. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 89 p.

- Hall, T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symp. Ser. 41:95-98.
- Hallouti, H., M. A. Hamza, A. Zahidi, R. A. Hammou and R. Bouharroud. 2020. Diversity of entomopathogenic fungi associated with Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)) in Moroccan Argan forests and nearby area: impact of soil factors on their distribution. Ecology 20(64):2-13.
- Herrera, R. R. 2017. Determinación del elemento que causa el desprendimiento temprano de los frutos de aguacate (*Persea americana*. M) variedad Hass en la hacienda Chaquibamba, Guayllabamba, Quito. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica del Norte. Quito, Ecuador. 73 P.
- Magurran A. E. 2013. Measuring biological diversity. Curr. Biol. 31(19):174-177.
- Rebolledo, R. A. y G. D. Dorado. 2017. Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado. <https://pdfs.semanticscholar.org/78d0/512efae97879d1c07cea19bae2526afd8488.pdf> [Consultado el 23 de octubre del 2023].
- Mo, M. H., W. M. Chen, H. Y. Su, K. Q. Zhang, C. Q. Duan and D. M. He. 2006. Heavy metal tolerance of nematode-trapping fungi in lead-polluted soils. Appl. Soil Ecol. 31(1-2):11-19.
- Santiago, P. C. 2020. Identificación y comportamiento del anillamiento del pedúnculo del fruto del aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Teziutlán, Puebla. 33 p.
- Statista, 2022. Principales países productores de aguacate en 2022. En línea: <https://es.statista.com/estadisticas/1263> [Consultado el 20 de octubre del 2023].

- Tamura, K., D. Peterson, N. Peterson, G. Stecher, M. Nei and S. Kumar. 2011. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. *Mol. Biol. Evol.* 28: 2731-2739.
- White T. J., Bruns T. D., Lee S. B. and Taylor J. W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA Genes for phylogenetics. pp. 315-322. *In*: Innis, M. A. and Gelfand D. H. (eds.). *PCR protocols: a guide to methods and applications*, Academic Press, London.

EFFECTIVIDAD DE FOMESAFEN SOLO Y EN MEZCLA EN EL CONTROL DE MALEZAS EN FRIJOL

Valentín A. Esqueda Esquivel^{2*}, Oscar Hugo Tosquy Valle², Ángel René Ramírez Vera³
y Pablo Andrés Meza³

Resumen

Fomesafen es un herbicida que comúnmente se utiliza para el control de malezas dicotiledóneas en el cultivo de frijol. En el estado de Veracruz, los últimos estudios de investigación de control químico de malezas en dicho cultivo, se realizaron hace más de 30 años. Por ello, se consideró necesario determinar la efectividad de este herbicida solo y en mezcla con otros herbicidas en el control de malezas y la toxicidad al frijol, y compararlo con otros tratamientos químicos y manuales. El experimento se estableció en un lote sembrado con la variedad de frijol Rubí, en Ignacio de la Llave, Ver., en enero de 2024. Los tratamientos se evaluaron en un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones y consistieron en: 1. Fomesafen a 125 g/ha, 2. Fomesafen a 187.5 g/ha, 3. Fomesafen a 250 g/ha, 4. Fomesafen + fluazifop-p-butilo a 187.5 + 125 g/ha, 5. Fomesafen + clethodim a 187.5 + 118 g/ha, 6. Bentazona a 720 g/ha, 7. Imazethapyr a 100 g/ha, 8. Un deshierbe con azadón, 9. Dos deshierbes con azadón y 10. Testigo sin aplicación. Se determinó el control de malezas y la toxicidad al frijol a los 10, 20, 30 y 42 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA), además se cuantificó el rendimiento de grano. A los 42 DDA, los tratamientos más efectivos para el control de *M. divaricatum* fueron bentazona y fomesafen a 187.5 y 250 g/ha. El control de *R. cochinchinensis* fue más eficiente con las combinaciones de fomesafen + fluazifop-p-butilo y fomesafen + clethodim, seguidos de imazethapyr y dos deshierbes con azadón. Para el control total de las malezas, el mejor tratamiento fue el de dos deshierbes con azadón, seguido de los tratamientos con fomesafen, ya sea solo o en mezcla, aunque en todos los casos el control fue menor a 80%. Todos los tratamientos de control químico causaron ligera toxicidad al frijol, que desapareció después de los 10 DDA. Los mayores rendimientos de grano se obtuvieron con dos deshierbes con azadón, las mezclas de fomesafen + fluazifop-p-butilo y fomesafen + clethodim y fomesafen a 187.5 y 250 g/ha.

Palabras clave: herbicidas, deshierbes, toxicidad, rendimiento, *Melampodium divaricatum*

² Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

³ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Región Orizaba-Córdoba. Universidad Veracruzana. Autor para correspondencia: Esqueda.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

En el estado de Veracruz, durante 2023 se cultivaron 36,130 ha de frijol, principalmente de grano negro, bajo los sistemas de producción de temporal y de humedad residual. En el Distrito de Desarrollo Rural 07 Veracruz, se sembraron 3,954 ha con este cultivo, destacando por la superficie sembrada los municipios de Ignacio de la Llave, Tlalixcoyan, Cotaxtla y Jamapa (SIAP, 2024). En la entidad el rendimiento promedio de grano de frijol es bajo, alrededor de 800 kg/ha, debido a que el cultivo es afectado por diversos factores técnicos, bióticos y abióticos. Entre los factores que destacan se encuentran la escasa y errática distribución de la precipitación pluvial, el ataque de plagas y enfermedades, y el desarrollo de altas poblaciones de malezas. Se considera que la competencia con las malezas es el factor que más contribuye a la reducción del rendimiento (Esqueda *et al.*, 1997).

Las malezas provienen principalmente del banco de semillas que se ha formado en los terrenos a través del tiempo (Kumari *et al.*, 2018), por lo que se presentan desde la emergencia de los cultivos. Si no se controlan de manera oportuna y adecuada, compiten con el frijol por agua, luz y nutrientes, lo que ocasiona una reducción en su desarrollo (Manabe *et al.*, 2015) y se traduce en pérdidas en el rendimiento de grano (Blanco y Leyva, 2011; Parreira *et al.*, 2013). La intensidad de la competencia está relacionada con el genotipo y el hábito de crecimiento del frijol (Mondragón *et al.*, 2001), así como con el tipo y densidad de malezas que se presentan (Sankula *et al.*, 2024). En las siembras de frijol de la parte central del estado de Veracruz se considera a la flor amarilla [*Melampodium divaricatum* (L. C. Rich.) D. C.], como la especie de maleza predominante (Esqueda *et al.*, 1997).

En el cultivo de frijol, los principales métodos para controlar las malezas son los deshierbes con azadón o “tarpala”, el paso de arado de cinceles y la aplicación de herbicidas selectivos (Cano y López, 1996; Mondragón y Serrano, 2009). En Veracruz es común la aplicación postemergente de herbicidas formulados con fomesafen y bentazona (Esqueda *et al.*, 1992; López *et al.*, 2015), los cuales tienen efecto principalmente en malezas de hoja ancha (dicotiledóneas); sin embargo, cuando también se presentan malezas gramíneas (monocotiledóneas), estos herbicidas generalmente se mezclan fluazifop-p-butilo, que controla las gramíneas (Galon *et al.*, 2018). Aunque existen reportes de toxicidad al frijol por fomesafen,

generalmente los daños son ligeros y temporales y su intensidad depende de la variedad y las condiciones climatológicas (Wilson, 2005; Marchioretto y Dal Magro, 2017).

Actualmente, el número de herbicidas selectivos para el control postemergente de malezas de hoja ancha en frijol es muy limitado, siendo fomesafen y bentazona los más utilizados. Imazethapyr tiene registro para su uso en frijol en México, y a diferencia de los herbicidas antes mencionados, tiene efecto tanto en malezas de hoja ancha, como en gramíneas (Rheman *et al.*, 2023). Cabe mencionar que bentazona, fomesafen e imazethapyr se desarrollaron en 1968, 1977 y 1985 respectivamente (Thomson, 1993). Los últimos experimentos para evaluar la efectividad biológica de fomesafen en el control de malezas en frijol en Veracruz se realizaron hace más de 30 años, por lo que se consideró necesario realizar una actualización de su efectividad. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de este herbicida, solo y en mezcla con herbicidas que controlan exclusivamente malezas gramíneas, en el control de malezas y la toxicidad al frijol, y compararlo con el control que proporciona bentazona e imazethapyr, así como con una y dos limpiezas con azadón.

Materiales y métodos

El 15 de enero de 2024 se estableció un experimento de control de malezas en frijol en la localidad de Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. La siembra se realizó manualmente “a chorrillo”, con la variedad Rubí, a una densidad de 250,000 plantas por hectárea. Se evaluaron 10 tratamientos en diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y parcelas experimentales de cinco surcos de 5 m de longitud, con una separación entre surcos de 0.60 m (Cuadro 1).

Para determinar la densidad de población de las malezas, inmediatamente antes de la aplicación de los tratamientos, se utilizó un cuadro de 1 m x 1 m, el cual se lanzó al azar en las parcelas correspondientes a los testigos sin aplicación. Se contabilizaron las especies de malezas en su interior y se midió su altura en cinco plantas por repetición. Diecinueve días después de la emergencia del frijol (DDE) se realizó la aplicación de los siete tratamientos químicos con un aspersor motorizado, equipado con un aguilón con cuatro boquillas de abanico plano, calibradas para arrojar un gasto de 392 L/ha.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de frijol en Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. Invierno-Primavera 2024.

No.	Tratamiento	Dosis (g i.a./ha)
1	Fomesafen	125
2	Fomesafen	187.5
3	Fomesafen	250
4	Fomesafen + fluazifop-p-butilo	187.5 + 125
5	Fomesafen + clethodim	187.5 + 118
6	Bentazona	720
7	Imazethapyr	100
8	Un deshierbe	-
9	Dos deshierbes	-
10	Testigo sin aplicación	-

A estos tratamientos químicos se le agregó un adherente no iónico en concentración de 250 mL por 100 L de agua. Solamente se aplicaron los tres surcos centrales de cada unidad experimental, dejando sin aplicar a los dos surcos laterales, para utilizarlos como testigos enhierbados en las evaluaciones de control de malezas. Al momento de la aplicación, la altura de las plantas de frijol variaba entre 11 y 26 cm (promedio 18.65 cm) y el número de hojas trifolioladas entre tres y seis (promedio 4.15). También se aplicó el primer deshierbe con azadón, mientras que el segundo deshierbe se realizó a los 39 DDE.

La fertilización y el control de plagas se realizaron de acuerdo con las recomendaciones técnicas del INIFAP para el cultivo de frijol en Veracruz (López *et al.*, 2015). Además del riego de germinación, se aplicaron otros siete riegos por aspersión durante el desarrollo del cultivo, con un intervalo de entre seis y 10 días entre cada uno, dependiendo las condiciones de humedad del suelo.

A los 10, 20, 30 y 42 días después de la aplicación (DDA) se realizaron evaluaciones visuales para estimar el porcentaje de control de las especies de malezas dominantes, así como el porcentaje de control total, incluyendo todas las especies presentes. Para evaluar, se observó

el efecto de cada tratamiento en las malezas, comparándolo con las malezas de los testigos laterales enhierbados que flanqueaban a cada unidad experimental y se le asignó un valor en la escala porcentual (0 a 100%), en donde 0 significó que el tratamiento no ocasionó ningún efecto en las malezas, y 100, que éstas fueron eliminadas completamente (Alemán, 2004). En la misma época en que se efectuaron las evaluaciones de control, se evaluó la toxicidad de los tratamientos al frijol con una escala porcentual, en donde 0 significó que el tratamiento no ocasionó ningún efecto tóxico en el frijol, y 100, que el cultivo fue eliminado completamente. La cosecha del frijol se realizó a los 91 DDE. El grano cosechado se limpió, se le determinó el porcentaje de humedad y se pesó. Posteriormente se realizaron las conversiones necesarias para obtener el rendimiento de grano en kilogramos por hectárea al 14% de humedad. Para homogenizar las varianzas, los datos de porcentaje de control de malezas se transformaron a su valor de arco seno y los de toxicidad al frijol a su equivalente a la raíz cuadrada, de acuerdo a como se indica en Gómez y Gómez (1984), mientras que, los datos de rendimiento de grano no requirieron transformación.

Posteriormente se realizó análisis de varianza de estas tres variables cuantificadas y en los casos en que se detectó significancia, para la separación de medias se aplicó la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa (DMS, $\alpha = 0.05$). Por razones de claridad, en el apartado de Resultados y discusión se presentan los datos de campo con las literales obtenidas en las pruebas de separación de medias de los datos transformados.

Resultados y discusión

En el sitio experimental se encontraron cinco especies de malezas pertenecientes a cuatro familias botánicas. Al momento de la aplicación de los tratamientos, la cobertura promedio de las malezas fue de 42.88% y la densidad de población total de 1,452,500 plantas por hectárea, de las cuales, el 79.89% correspondió a *M. divaricatum* (Cuadro 2). La altura de *M. divaricatum* variaba entre 5 y 24 cm, con un promedio de 15.5 cm.

Cuadro 2. Densidad de población de malezas presentes en los experimentos. Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. Invierno-Primavera 2024.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Plantas/ha
Flor amarilla	<i>Melampodium divaricatum</i> (L. Rich.) D.C.	Asteraceae	1,160,000
Zacate peludo	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	Poaceae	100,000
Quelite	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amaranthaceae	87,500
Hierba ceniza	<i>Lagascea mollis</i> Cav.	Asteraceae	60,000
Coquillo	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	45,000
Total			1,452,500

Control de malezas y toxicidad al frijol

En la primera época de evaluación, la bentazona a 720 g/ha, proporcionó un control total de *M. divaricatum*, siendo estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Se obtuvieron controles de 90% o superiores se obtuvieron con fomesafen a 187.5 y 250 g/ha, las mezclas de este herbicida con fluazifop-p-butilo y clethodim y con dos deshierbes con azadón. Con la dosis más baja de fomesafen (125 g/ha) y una limpia con azadón, los controles de esta especie variaron entre 80 y 89%, mientras que con imazethapyr a 100 g/ha, el control fue ligeramente mayor a 50%, superando solamente al testigo sin aplicación. Fomesafen en sus diferentes dosis y bentazona a 720 g/ha, no tuvieron efecto sobre *R. cochinchinensis*, ya que son herbicidas que controlan principalmente malezas dicotiledóneas y en ocasiones ciperáceas, pero no gramíneas (Bellinder *et al.*, 2003). Esta última especie fue controlada entre 85 y 91.3% con fluazifop-p-butilo y clethodim en mezcla con fomesafen, así como con uno y dos deshierbes con azadón. El control con imazethapyr a 100 g/ha fue ligeramente inferior a 50%. El control total de las malezas presentes fue ligeramente superior a 90% con fomesafen a 250 g/ha y dos limpias manuales, siendo estadísticamente similar al de los tratamientos de fomesafen a 187.5 g/ha y las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim, cuyos controles variaron entre 85 y 90%. Controles ligeramente superiores a 80% se obtuvieron con fomesafen a 125 g/ha y una limpia manual, mientras que con imazethapyr a 100 g/ha el control fue ligeramente superior a 50%. Por otra parte, todos los tratamientos herbicidas ocasionaron

toxicidad al frijol, consistente en pequeñas áreas cloróticas o necróticas en las hojas. Los mayores daños se observaron con imazethapyr a 100 g/ha (6.5%) y fomesafen a 250 g/ha (6%), mientras que daños entre 2.5 y 3.5% se observaron en las plantas de los tratamientos de fomesafen a 125 y 187,5 g/ha, las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim y bentazona a 720 g/ha (Cuadro 3). Existen reportes de efectos tóxicos en el frijol debido a la aplicación de fomesafen, bentazona e imazethapyr (Soltani *et al.*, 2006; Procopio *et al.*, 2009), pero al igual que lo observado en este trabajo, los daños fueron ligeros y temporales.

A los 20 DDA, a excepción del tratamiento de imazethapyr a 100 g/ha, se observó una ligera reducción en el control de *M. divaricatum* en todos los tratamientos herbicidas. Bentazona a 720 g/ha, junto con dos deshierbes con azadón, permanecieron como los tratamientos más eficientes con 99.5 y 100% de control, respectivamente, y mostraron superioridad estadística con el resto de los tratamientos. Fomesafen a 250 g/ha y las mezclas de este herbicida con fluazifop-p-butilo y clethodim proporcionaron controles de esta especie de entre 90 y 95%, mientras que, con la dosis media y baja, los valores de control fluctuaron entre 80 y 90%. Con un deshierbe con azadón, el control fue ligeramente superior a 70%, mientras que con imazethapyr a 100 g/ha, aunque el control de *M. divaricatum* se incrementó, fue ligeramente superior a 60%, siendo el tratamiento herbicida con menor efectividad.

Se obtuvo un control total de *R. cochinchinensis* con dos deshierbes con azadón, tratamiento que fue significativamente superior al resto de los tratamientos. Controles superiores a 90% se observaron con las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim y ligeramente superiores a 85% con imazethapyr a 100 g/ha, cuya mayor efectividad se muestra después de los 10 DDA (Esqueda *et al.*, 2006). Con un deshierbe con azadón el control de esta especie fue ligeramente inferior a 80%.

El mayor control del conjunto de malezas (100%) lo proporcionaron dos deshierbes con azadón, tratamiento que fue estadísticamente superior al resto. Con los tratamientos de fomesafen a 250 g/ha y las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim, los controles variaron entre 85 y 90%. Controles de entre 70 y 80% se tuvieron con fomesafen a 125 y 187.5 g/ha, bentazona a 720 g/ha y un deshierbe con azadón, mientras que los controles más bajos, cercanos a 60%, los proporcionó imazethapyr a 100 g/ha. En este tiempo de evaluación, ya no se observaron daños por toxicidad en el frijol en ninguno de los tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos en el control de malezas (%) en frijol a los 10 y 20 DDA. Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. Invierno-Primavera 2024.

Trat.	10 DDA				20 DDA			
	<i>M.</i> <i>divaricatum</i>	<i>R.</i> <i>cochinchinensis</i>	Total	Tox.	<i>M.</i> <i>divaricatum</i>	<i>R.</i> <i>cochinchinensis</i>	Total	Tox.
1	86.3de	0.0d	81.3b	2.5b	82.5c	0.0f	72.5d	0.0
2	90.0cd	0.0d	87.5ab	3.0b	87.5bc	0.0f	78.8bcd	0.0
3	96.5b	0.0d	92.5a	6.0a	92.0b	0.0f	85.0bc	0.0
4	92.5bc	91.3a	88.8ab	3.5b	90.0bc	95.0b	84.5bc	0.0
5	95.0b	86.3ab	88.8ab	3.5b	91.3b	91.3c	88.0b	0.0
6	100a	0.0d	82.5b	3.0b	99.5a	0.0f	75.0cd	0.0
7	55.0f	47.5c	52.5c	6.5a	61.3d	86.3d	58.8e	0.0
8	83.8e	85.0b	82.5b	0.0c	71.3d	78.8e	76.3cd	0.0
9	94.5b	91.3a	92.5a	0.0c	100a	100a	100a	0.0
10	0.0g	0.0d	0.0d	0.0c	0.0e	0.0f	0.0f	0.0

Las letras a la derecha representan la prueba de DMS ($\alpha = 0.05$). Cantidades con la misma letra no son estadísticamente diferentes. La comparación es entre tratamientos para cada variable. Trat. 1 = Fomesafen 125 g/ha, Trat. 2 = Fomesafen 187.5 g/ha, Trat. 3 = Fomesafen 250 g/ha, Trat. 4 = Fomesafen + fluazifop-p-butilo 187.5 + 125 g/ha, Trat. 5 = Fomesafen + clethodim 187.5 + 118 g/ha, Trat. 6 = Bentazona 720 g/ha, Trat. 7 = Imazethapyr 100 g/ha, Trat. 8 = Un deshierbe, Trat. 9 = Dos deshierbes y Trat. 10 = Testigo sin aplicación.

A los 30 DDA, en todos los tratamientos se observaron reducciones ligeras en el control de *M. divaricatum* con respecto a la evaluación anterior. Bentazona a 720 g/ha proporcionó un control de esta especie cercano a 98%, el cual fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Controles entre 80 y 90% se observaron con fomesafen solo a 187.5 y 250 g/ha y los tratamientos en los que este herbicida se mezcló con fluazifop-p-butilo o clethodim y también con dos limpieas con azadón. Todos los tratamientos mostraron semejanza estadística entre sí y también con fomesafen a 125 g/ha, cuyo control de *M. divaricatum* fue ligeramente menor a 80%. Los controles más bajos (cerca de 50%), los proporcionaron Imazethapyr a 100 g/ha y una limpia con azadón, ligeramente por arriba del testigo sin aplicación. En *R.*

cochinchinensis se observaron controles de 95% con las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim, que fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos, de los cuales, el control con imazethapyr a 100 g/ha fue de 90%, de 87.5% con dos deshierbes con azadón y ligeramente superior a 50% con un deshierbe con azadón. El mayor control del conjunto de malezas se obtuvo con las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim, aunque fueron semejantes estadísticamente a las dosis de 187.5 y 250 g/ha de fomesafen y a dos deshierbes con azadón. A su vez, el control proporcionado por los últimos tres tratamientos fue similar al de la dosis de 125 g/ha de fomesafen y de bentazona a 720 g/ha. Aunque bentazona a 720 g/ha proporcionó el mayor control de *M. divaricatum*, su efecto sobre *A. hybridus* fue nulo (datos no mostrados), por lo que su control total fue de sólo 70%. Al igual que lo observado con *M. divaricatum*, los controles más bajos los tuvieron imazethapyr a 100 g/ha y un deshierbe manual. No se observó toxicidad al frijol con ninguno de los tratamientos (Cuadro 4).

Finalmente, a los 42 DDA, el control de *M. divaricatum* con bentazona a 720 g/ha fue superior a 90%, siendo estadísticamente semejante a fomesafen a 187.5 y 250 g/ha, cuyos controles variaron entre 85 y 90%; estos últimos a su vez, tuvieron un control semejante al de la mezcla de fomesafen + fluazifop-p-butilo, que fue de 80%. Controles de entre 70 y 80% se tuvieron con dos deshierbes manuales y la mezcla de fomesafen + clethodim; fomesafen a 125 g/ha solamente tuvo un control de esta especie cercano a 60%, mientras que con imazethapyr a 100 g/ha y un deshierbe con azadón, solamente se tuvieron controles de entre 30 y 35%. Las mezclas de fomesafen con fluazifop-p-butilo y clethodim mantuvieron controles de *R. cochinchinensis* de 95%, superando estadísticamente al resto de los tratamientos. Controles de entre 80 y 85% se tuvieron con imazethapyr a 100 g/ha y dos deshierbes con azadón, mientras que con sólo un deshierbe, el control fue cercano a 40%. El mayor control total (75%) se tuvo con dos deshierbes con azadón, el cual fue estadísticamente semejante a los de las tres dosis en que se aplicó fomesafen y a los de las mezclas de este herbicida con fluazifop-p-butilo o clethodim. Bentazona a 720 g/ha proporcionó un control menor a 60%, mientras que, los controles más bajos se obtuvieron con imazethapyr y un deshierbe con azadón. No se observó toxicidad al frijol con ninguno de los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en el control de malezas (%) a los 30 y 42 DDA. Experimento 2. Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. Invierno-Primavera 2024.

Trat.	30 DDA				42 DDA			
	M. <i>divaricatum</i>	R. <i>cochinchinensis</i>	Total	Tox.	M. <i>divaricatum</i>	R. <i>cochinchinensis</i>	Total	Tox.
1	78.8b	0.0e	71.3b	0.0	58.8d	0.0d	63.8ab	0.0
2	86.3b	0.0e	76.3ab	0.0	85.0abc	0.0d	66.3ab	0.0
3	89.5b	0.0e	82.5ab	0.0	88.8ab	0.0d	70.0ab	0.0
4	89.5b	95.0a	85.0a	0.0	80.0bc	95.0a	70.0ab	0.0
5	89.5b	95.0a	87.0a	0.0	76.3c	95.0a	67.5ab	0.0
6	97.8a	0.0e	70.0b	0.0	92.0a	0.0d	56.3b	0.0
7	52.5c	90.0b	51.3c	0.0	32.3e	85.0b	32.5c	0.0
8	47.5c	52.5d	40.0c	0.0	31.3e	37.5c	31.3c	0.0
9	83.8b	87.5c	81.3ab	0.0	77.5c	83.8b	75.0a	0.0
10	0.0d	0.0e	0.0d	0.0	0.0f	0.0d	0.0d	0.0

Las letras a la derecha representan la prueba de DMS ($\alpha = 0.05$). Cantidades con la misma letra no son estadísticamente diferentes. La comparación es entre tratamientos para cada variable. Trat. 1 = Fomesafen 125 g/ha, Trat. 2 = Fomesafen 187.5 g/ha, Trat. 3 = Fomesafen 250 g/ha, Trat. 4 = Fomesafen + fluazifop-p-butilo 187.5 + 125 g/ha, Trat. 5 = Fomesafen + clethodim 187.5 + 118 g/ha, Trat. 6 = Bentazona 720 g/ha, Trat. 7 = Imazethapyr 100 g/ha, Trat. 8 = Un deshierbe, Trat. 9 = Dos deshierbes y Trat. 10 = Testigo sin aplicación.

Rendimiento de grano

Los rendimientos de grano más altos fueron cercanos a los 1,000.00 kg/ha, y se obtuvieron con la realización de dos deshierbes con azadón; el rendimiento de este tratamiento fue estadísticamente similar al obtenido con la mezcla de fomesafen + fluazifop-p-butilo, así como a los de la mezcla de fomesafen + clethodim y fomesafen a 185.5 y 250 g/ha. Se conoce que el periodo crítico de competencia de las malezas con el frijol es durante los primeros 30 días después de la emergencia (Esquivel *et al.*, 1997); por esta razón, los tratamientos con mejores controles en esa época también obtuvieron los mayores rendimientos de grano. Con la

aplicación de bentazona y fomesafen a 720 y 125 g/ha, respectivamente, se obtuvieron rendimientos entre 750 y 800 kg/ha, mientras que, con imazethapyr a 100 g/ha, se obtuvo un rendimiento inferior a 600 kg/ha, debido principalmente al poco efecto sobre *M. divaricatum*, y con un deshierbe con azadón fue menor a 500 kg/ha, aunque ambos tratamientos fueron estadísticamente similares (Cuadro 5). En este experimento, realizar dos deshierbes con azadón resultó en un rendimiento de grano 54% mayor que cuando se efectuó un solo deshierbe, y semejante a lo señalado por Esqueda *et al.* (1997). Todos los tratamientos tuvieron rendimientos de grano significativamente superiores a los del testigo sin aplicación, que produjo menos de 50 kg/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano. Rincón del Tigre, municipio de Ignacio de la Llave, Ver. Invierno-Primavera 2024.

No.	Tratamiento	Dosis (g/ha)	Rendimiento de grano (kg/ha)
1	Fomesafen	125	774.23b
2	Fomesafen	187.5	886.61ab
3	Fomesafen	250	915.75ab
4	Fomesafen + fluazifop-p-butilo	187.5 + 125	957.38a
5	Fomesafen + clethodim	187.5 + 118	932.40ab
6	Bentazona	720	782.55b
7	Imazethapyr	100	532.80c
8	Un deshierbe	-	457.88c
9	Dos deshierbes	-	994.84a
10	Testigo sin aplicación	-	41.63d

Las letras a la derecha representan la prueba de DMS ($\alpha = 0.05$). Cantidades con la misma letra no son estadísticamente diferentes.

Conclusiones

1. Fomesafen a partir de 187.5 g/ha puede controlar eficientemente a *M. divaricatum* hasta los 42 DDA, siendo similar a bentazona a 720 g/ha y superior a imazethapyr a 100 g/ha, así como

a uno y dos deshierbes con azadón. 2. Para controlar tanto malezas dicotiledóneas, como monocotiledóneas, fomesafen debe mezclarse con fluazifop-p-butilo o clethodim. 3. El control del conjunto de malezas con fomesafen a la dosis de 250 g/ha o en mezclas de fomesafen + fluazifop-p-butilo y fomesafen + clethodim, solamente fue eficiente (>80%) hasta los 30 DDA, resultando comparable al de dos deshierbes con azadón. 4. Fomesafen causó ligera toxicidad al frijol, que desapareció entre los 10 y 20 DDA. 5. La aplicación de fomesafen a 250 g/ha, así como sus mezclas con fluazifop-p-butilo y clethodim resultaron en rendimientos de grano similares a los obtenidos con dos deshierbes con azadón.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) por el financiamiento otorgado al proyecto CP 2810 1238: “Actualización de recomendaciones tecnológicas sobre control de malezas en el cultivo de frijol en el estado de Veracruz”, del cual se originó la información presentada en este trabajo.

Literatura citada

- Alemán, F. 2004. Manual de investigación agronómica con énfasis en ciencia de la maleza. Imprimatur Artes Gráficas. Managua, Nicaragua. 248 p.
- Bellinder, R. R., M. Arsenovic, D. A. Shah and B. J. Rauch. 2003. Effect of weed growth stage and adjuvant on the efficacy of fomesafen and bentazon. *Weed Sci.* 51:1016-1021.
- Blanco, V. Y. y G. A. Leyva. 2011. Determinación del período crítico de competencia de las arvenses con el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Cult. Trop.* 32(2):11-16.
- Cano, O. y E. López. 1996. Control preemergente y postemergente de malezas en frijol de humedad residual en Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 7(2):42-49.

- Esqueda, E. V. A., E. López S. y O. Cano R. 1992. Efecto de la dosis y época de aplicación de fomesafén en la maleza de hoja ancha en frijol de riego. Ser. Téc. ASOMECEMA 3(1):24-27.
- Esqueda, E. V. A. y O. H. Tosquy V. 2006. Control químico y mecánico de malezas en soya de temporal. Agric. Téc. Méx. 32(3):353-358.
- Esqueda, V. A., A. Durán y E. López. 1997. Efecto de la época y tipo de limpia en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de humedad residual. Agron. Mesoam. 8(1):59-64.
- Esquivel, V. A., O. Cano R. y E. López. 1997. Control químico de malezas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el estado de Veracruz. Agron. Mesoam. 8(1):53-58.
- Galon, L., C. T. Castoldi, C. T. Forte, F. A. De David, G. F. Perin and A. L. Radunz. 2018. Weed management in beans using subdoses of fluazifop-P-butyl + fomesafen. Planta Daninha 36:e018174070.
- Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd. ed. J. Wiley & Sons. New York, USA. 680 p.
- Kumari, S., S. S. Pradhan and J. Chauhan. 2018. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. Int. J. Chem. Stud. 6(3):643-647.
- López, S. E., O. H. Tosquy V. y F. J. Ibarra P. 2015. Frijol. p. 39-42. In: Pimentel, A. O. y S. Delgadillo A. (coords.). Agenda Técnica Agrícola de Veracruz. 2ª ed. SAGARPA. SENASICA. INIFAP. México, D. F.
- Manabe, P. M. S., C. de Matos C., A. Ferreira E., A da Silva F., A. da Silva A., T. Sedyama et al. 2015. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. Biosci. J. 31(2):333-343.

- Marchioretto, L. De R. and T. Dal Magro. 2017. Weed control and crop selectivity of post-emergence herbicides in common beans. *Ciênc. Rural* 7(3):e20160295.
- Mondragón, P. G. y L. M. Serrano C. 2009. Manejo de malezas en el cultivo de frijol en el centro de México. *Agro Productividad* 2(3):27-31.
- Mondragón, P. G., L. M. Serrano C. y E. Ruiz S. 2001. Habilidad competitiva del frijol con las malezas. *Rev. Fitotec. Mex.* 24(2):155-160.
- Parreira, M. C., L. A. Peñaherrera-C., C. A. Alves P. L. y C. M. Pereira F. 2013. Interferencia de malezas en el cultivo de frijol en dos sistemas de labranzas. *Planta Daninha* 31(2):319-327.
- Procopio, S. O., J. B. P. Braz A., L. L. Barroso A., A. Cargnelutti Filho, K. L. Cruvinel, M. Betta *et al.* 2009. Potencial de uso dos herbicidas chlorimuron-ethyl, imazethapyr e cloransulam-methyl na cultura do feijão. *Planta Daninha* 27(2):327-336.
- Rehman, U. A., A. Saad, M. A. Bhat, A. Masood, R. H. Kanth, A. Saxena *et al.* 2023. Imazethapyr as post-emergent herbicide in common-bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under rainfed temperate condition of Kashmir, India. *Indian J. Weed Sci.* 55(4):425-430.
- Sankula, S., M. VanGessel, K. Everts and J. Whalen. 2024. Influence of weed species and density on lima bean yield and other pests. *Front. Agron.* 6 doi: [org/10.3389/fagro.2024.1364232](https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1364232).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cultivo: Frijol. Entidad Federativa: Veracruz. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 18 de junio de 2024].

- Soltani, N., C. Shropshire and P. H. Sikkema. 2006. Effects of post-emergence application of bentazon and fomesafen on eight market classes of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Prot. 25(8):826-830.
- Thomson, W. T. 1993. Agricultural chemicals. Book II: Herbicides. 1993 Revision. Thomson Publications. Fresno, CA, USA. 295 p.
- Wilson, R. G. 2005. Response of dry bean and weeds to fomesafen and fomesafen tank mixtures. Weed Technol. 19(1):201-206.

MICROPROPAGACIÓN DE *Bacopa procumbens*

Alberta Luna Hilario^{4*}, Claudia de los Angeles Bonilla Ramirez⁴, Elizabeth Vargas Anaya⁵,
Laura Jeannete García Barrera⁵, Janet Rentería García⁴ y Ada María Ríos Cortés⁵

Resumen

Bacopa procumbens es una planta medicinal nativa de México, pertenece a la familia Scrophulariaceae y al género *Bacopa*, se distribuye ampliamente desde el sur de Estados Unidos hasta Sudamérica y tradicionalmente se usa como antimalárico, antiséptico, antiviral y cicatrizante. De estas aplicaciones, se ha demostrado científicamente el efecto cicatrizante de la fracción acuosa de su extracto hidroalcohólico, así como la actividad antimicrobiana y de síntesis de nanopartículas metálicas de la fracción de acetato de etilo del mismo extracto. El objetivo de este trabajo es reproducir la especie *Bacopa procumbens*, a través de la micropropagación, con la finalidad de establecer cultivos libres de patógenos, conservarla en invernadero y establecer una proliferación masiva para su uso en la investigación. Mediante la técnica de cultivo de tejidos vegetales se propagaron cuatro poblaciones de *Bacopa procumbens*: San Miguel, Tejocotal, Peña del Aire, pertenecientes al estado de Hidalgo y Atlangatepec de Tlaxcala. Se utilizaron explantes apicales que fueron desinfectados superficialmente con etanol e hipoclorito de sodio. Posteriormente los explantes se sembraron en medio de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962). Se realizaron subcultivos periódicamente cada 30 días. Para el proceso de aclimatación se pasaron las plántulas a una solución hidropónica por 15 días antes de ser plantadas en sustrato. En la etapa de multiplicación de brotes se obtuvo un 95% de éxito de crecimiento, a partir de estos se realizó la medición de variables y análisis de comparación de medias con la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$), donde no se observó diferencia significativa en las variables peso seco, altura, número de nodos, brotes y hojas. Durante el proceso de aclimatación, las plantas mostraron un mayor crecimiento y desarrollo foliar. Se observó una supervivencia en invernadero del 80% para las poblaciones de San Miguel y Tejocotal y un 75% para las poblaciones de Atlanga y Peña. Las poblaciones estudiadas se adaptaron correctamente en todas las etapas de la micropropagación, en algunas variables no se encontró diferencia significativa entre las poblaciones, sin embargo, en otras destacó la adaptabilidad de San Miguel y Tejocotal, lo que demostró que la técnica de micropropagación es una alternativa viable para la propagación de la especie de manera redituable.

Palabras clave: plantas medicinales, explantes, cultivo aséptico

⁴ Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla

⁵ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada *Autor de correspondencia: bhetzy8494@gmail.com, arios@ipn.com

Introducción

Durante siglos, el conocimiento tradicional, indígena y ancestral ha sido un recurso integral para la salud en hogares y comunidades. Hoy en día, la implementación de la medicina tradicional ha ido en creciente aumento, alrededor del 40% de los productos farmacéuticos actuales tienen una base en productos naturales (OMS, 2023). Junto con el creciente aumento del uso de plantas medicinales también incrementa su sobreexplotación, por lo que la búsqueda de estrategias para su conservación es un tema de interés inmediato.

La micropropagación es una técnica de cultivo de tejidos vegetales utilizada para producir plántulas, la cual además de ser una vía alterna para la producción puede ayudar en el rescate y conservación de especies endémicas y/o en peligro de extinción. Esta técnica implica el cultivo de pequeñas secciones asépticas de tejidos y órganos en recipientes de plástico o vidrio, con un medio de cultivo definido y en condiciones ambientales controladas, el cual ha sido utilizado en muchos aspectos del desarrollo agrícola y la investigación vegetal (Suárez, 2020).

Datos de la OMS informan que 170 de sus 194 estados miembros han informado del uso de hierbas medicinales, y en México una de las plantas medicinales de interés es *Bacopa procumbens* la cual es popularmente conocida como “metatera”, hierba golondrina, hierba té, trencilla, esperanza u hoja de quebranto. Es una especie endémica, asociada principalmente a pastizales y matorrales xerófilos, sin embargo, también se encuentra como planta ruderal en campos, lugares abandonados, a lo largo de caminos y sitios húmedos (Hidalgo, 2010).

Su uso en la medicina tradicional depende de la localidad en donde se encuentre, se ha empleado como antimalárico, antianémico, antiséptico, antipirético, antiviral, cicatrizante y antibacteriano (Flores *et al.*, 2018). El estudio realizado por Martínez-Cuazitl *et al.* (2022) comprobó la actividad cicatrizante de la fracción acuosa del extracto hidroalcohólico; por otra parte, la fracción de acetato de etilo del mismo extracto contiene compuestos fenólicos derivados de gastrodina y saponinas triterpénicas que le confieren actividad antimicrobiana y la capacidad de síntesis de nanopartículas (González-Cortazar *et al.*, 2019).

El creciente interés en el efecto terapéutico de *B. procumbens*, aunado a la actividad antropogénica, han llevado a una disminución en su hábitat natural, lo cual nos orilla a buscar nuevas alternativas para cubrir la alta demanda y producir plántulas de manera masiva.

El objetivo de este trabajo es reproducir la especie *Bacopa procumbens*, a través de la micropropagación, con la finalidad establecer cultivos libres de patógenos, conservarla en invernadero, observar su adaptabilidad y obtener una proliferación masiva para su uso en la investigación.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Unidad Académica del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que se ubica al sur del estado de Tlaxcala, al norte colinda con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros; al oriente con el municipio de Nativitas, Tlaxcala; al sur y al poniente con el estado de Puebla.

Etapas 0: Selección de la planta madre

Los ejemplares utilizados se tomaron del invernadero No. 2 del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). *B. procumbens* con número de registro 1792. En el invernadero se mantienen 4 diferentes poblaciones de *B. procumbens*: Peña del Aire, Tejocotal, San Miguel Regla y Atlantetepec, pertenecientes al estado de Hidalgo y Tlaxcala respectivamente.

Etapas 1. Establecimiento de cultivo aséptico

Se utilizó medio de cultivo MS (Murashige and Skoog, 1962) al 50% enriquecido con Phytigel. Ajustado a un pH 5.8 (± 0.3) y esterilizado en autoclave por 15 minutos a 120°C a una presión de 1.2 K/cm³. Se utilizaron explantes a partir de la parte apical de las cuatro poblaciones, eligiendo de 8-10 explantes de 4 nodos a partir de la yema apical, los cortes se realizaron con pinzas previamente desinfectadas con alcohol al 70%, una vez realizado el corte, el explante se colocó en un recipiente con agua corriente.

Los explantes fueron lavados suavemente con jabón líquido comercial, y enjuagados con agua corriente, para eliminar restos de sustrato, partes vegetativas secas o dañadas, posteriormente se sumergieron en agua destilada para ser transportados a campana de flujo laminar, la cual

fue desinfectada previamente con hipoclorito de sodio en gel al 100%, etanol al 70%, desinfectante comercial (Lysol) y luz UV durante 30 minutos, para la desinfección superficial. Dentro de la campana de flujo laminar en condiciones asépticas se procedió a la desinfección de los explantes de *B. procumbens* utilizando etanol al 70% y cloro comercial al 15% (Vargas, 2020). Una vez hecha la desinfección de explantes se procedió a eliminar la parte apical, flores, frutos o material vegetal dañado mecánicamente, dejando así dos nodos por explante. Una vez listos, se dejó 1 explante por frasco con 40 mL de medio MS (Murashige y Skoog, 1962) al 50%. Los frascos se mantuvieron en un cuarto blanco a una temperatura entre 22-23°C, con fotoperiodo de 16 horas luz/8 horas oscuridad y 3500 luxes, en donde se monitorearon diariamente por 30 días.

Etapas 2. Multiplicación

Posterior a los 30 días del establecimiento de cultivo aséptico, se realizó el subcultivo de las plántulas en condiciones asépticas en campana de flujo laminar, para ello previamente se preparó medio de cultivo MS al 100%, ajustado a un pH de 5.8 (± 0.3), y esterilizado en autoclave por 15 minutos a 120°C a una presión de 1.2 K/cm³.

Para el subcultivo se tomaron las plantas generadas en la etapa previa, dejando 25 explantes de dos nodos, y se sembraron 2 en cada frasco con medio MS al 100% y se llevaron al cuarto blanco para su observación y monitoreo de crecimiento. Se realizaron subcultivos periódicamente cada 30 días para mantener un cultivo stock.

Etapas 3. Aclimatación

Se utilizó solución hidropónica, compuesta por dos soluciones, solución A (macronutrientes) 200 g/L y solución B (micronutrientes) 130 g/L, para obtener una solución madre, de las cuales se tomaron 5 mL/L de cada una para la preparación de la solución utilizada.

En recipientes con la solución hidropónica preparada, se transfirieron de 3 a 5 plantas de 42 días de vida, a las que se les retiró previamente los restos de medio de cultivo, quedando las raíces sumergidas. Cada recipiente se cubrió con una bolsa plástica transparente rociada con agua destilada, y se colocaron en el cuarto de luz para su monitoreo a una temperatura entre 22-23°C, con fotoperiodo de 16 horas luz/ 8 horas oscuridad y 3500 luxes. Se hicieron riegos

con agua destilada a las plantas y perforaciones a las bolsas cada tres días durante 15 días para ayudar con el proceso de adaptación de la planta antes del traspaso a sustrato.

Etapas 4. Adaptación *ex vitro*

Se preparó sustrato, utilizando suelo, perlita, peat moss y tezontle a una proporción de 6:3:2:2. Las plantas se llevaron al invernadero 15 días posteriores a la aclimatación, y se plantaron en el sustrato previamente desinfectado, cubriendo las raíces por completo.

Variables evaluadas

Se evaluaron las variables fenotípicas de las poblaciones, para medir las variables de peso fresco y peso seco se utilizó una báscula analítica graduada en gramos; para la altura de brotes y la longitud de las raíces se midió con apoyo de regla graduada en cm; y para las variables de número de nodos, hojas, raíces, brotes, brotes axilares y nodos por brote el conteo se realizó manualmente.

Análisis estadístico

Se realizó una comparación de medias con la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$) y el análisis de varianza en el software SAS® ONDEMAND.

Resultados y discusión

Etapas 0. Selección de la planta madre

Se seleccionaron plantas madre de las poblaciones de *B. procumbens* mantenidas en invernadero, para lo cual, se colectaron explantes de 4 nodos apicales de las plantas con mejor apariencia, evitando que dicho explante estuviera en contacto directo con el sustrato como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Selección y corte de explantes de *B. procumbens* en invernadero.

Etapas 1. Establecimiento de cultivo aséptico

El establecimiento de cultivos estériles para las cuatro poblaciones se realizó en diferentes fechas y utilizando diferente cantidad de unidades para cada población, logrando en esta etapa una tasa de éxito del 30%, sin la adición de fitorreguladores en el medio de cultivo (Figura 2).

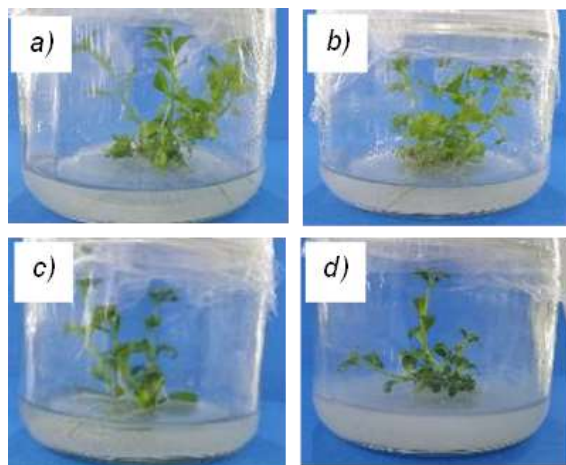


Figura 2. Crecimiento del cultivo aséptico de las cuatro poblaciones; a) San Miguel, b) Tejocotal, c) Peña del Aire, d) Atlanga.

El proceso de desinfección es fundamental para aumentar el éxito en el establecimiento del cultivo aséptico. En *B. monnieri* el desinfectante más utilizado es el cloruro de mercurio (Samanta *et al.*, 2019; Saha *et al.*, 2023); sin embargo, algunos autores, como Alcaraz, 2021, mencionan que el cloruro de mercurio es altamente tóxico para las plantas y recomiendan optimizar las concentraciones y los tiempos de exposición para disminuir el daño a los explantes sin comprometer la asepsia de estos. En nuestro estudio, se logró establecer el

cultivo aséptico de *B. procumbens* sin la necesidad de emplear este desinfectante tóxico, evitando comprometer el material vegetal en un protocolo sencillo.

Etapa 2. Multiplicación de brotes

En la etapa de multiplicación se obtuvieron brotes nuevos con la capacidad de formar plantas hijas que se utilizaron para un nuevo ciclo de cultivo con el propósito aumentar la cantidad de material vegetal. Transcurridos 30 días del establecimiento del cultivo primario, se realizó la multiplicación de brotes, puesto que los explantes provenían de un medio aséptico no se produjo inconveniente con la esterilidad, obteniendo un crecimiento exitoso de 95% por población, de las cuales se retiraron 5 brotes para la medición de las variables evaluadas.

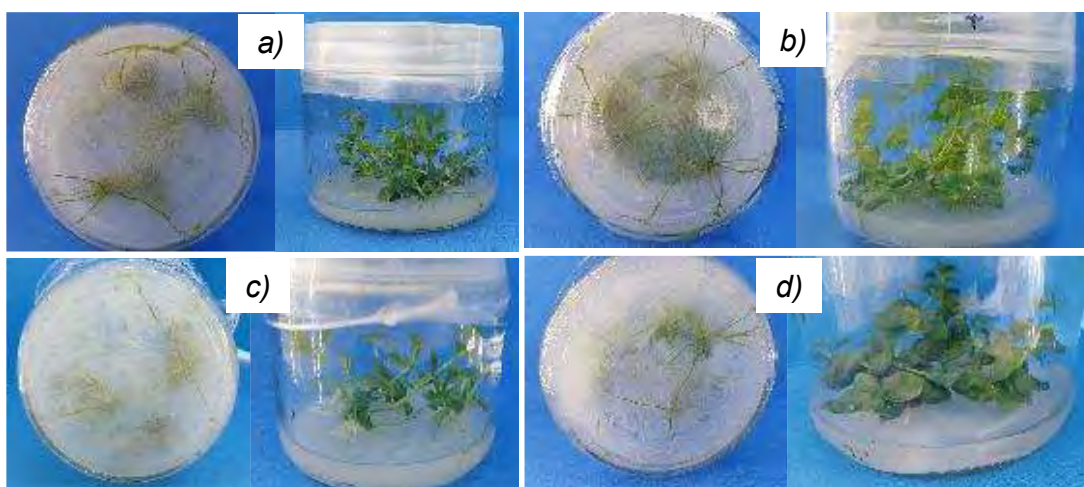


Figura 3. Propagación de cultivo aséptico; a) San Miguel, b) Tejocotal, c) Peña del Aire, d) Atlanga.

Se observó que las poblaciones de Tejocotal y San Miguel generaron mayor número de raíz y crecimiento de brotes, la población de Atlanga generó pocos brotes y raíces cortas, en cambio Peña tuvo menor número de raíces, pero con mayor longitud; por otro lado, su brotación fue escasa y sus hojas fueron anchas y de mayor tamaño en comparación a las otras poblaciones. En el Cuadro 1 se comparan las variables en respuesta al crecimiento de cada población, realizando el análisis de varianza y la prueba estadística Tukey, en donde se observa que en las variables peso seco, altura, número de nodos, número de brotes, y número de hojas, no existe diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey realizada.

Cuadro 1. Análisis de comparación de medias y desviación estándar por el método de Tukey de variables medidas en *B. procumbens* al día 30 de crecimiento en medio MS.

	Peso fresco	Peso seco	Altura	No. de nodos	No. de brotes	No. de Brotes axilares	No. de raíces	Long. de raíces	Nodos por brote	No. de hojas
San Miguel	0.89 ±	0.28 ±	5.56 ±	54 ±	5.6 ±	5.6 ±	14.2 ±	4.44 ±	8.88 ±	108 ±
	0.48 ab	0.36 a	2.39 a	19.35 a	2.2 a	2.79 ab	5.1 b	0.84 a	1.20 ab	38.7 a
Tejocotal	0.83 ±	0.20 ±	6.20 ±	53.6 ±	4.4 ±	12.20 ±	26 ±	2.92 ±	11.73 ±	107.2 ±
	0.38 b	0.43 a	1.73 a	32.17 a	1.9 a	9.52 a	17.6 ab	1.95 ab	4.05 a	64.3 a
Peña del Aire	1.48 ±	0.18 ±	6.41 ±	36.6 ±	4.0 ±	4.4 ±	46.4 ±	3.32 ±	7.23 ±	73.2 ±
	0.21 a	0.04 a	1.03 a	13.35 a	1.0 a	2.19 ab	19.9 a	0.42 ab	0.78 b	26.7 a
Atlanga	0.78 ±	0.09 ±	5.05 ±	28.8 ±	4.6 ±	1.8 ±	23.6 ±	2.42 ±	5.52 ±	57.6 ±
	0.30 b	0.03 a	0.60 a	12.56 a	2.1 a	1.64 b	9.3 ab	0.10 b	0.69 b	25.1 a

Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p \leq 0.05$).

Etapa 3. Aclimatación

La aclimatación (Figura 4) se realizó transcurridos 30 días después de la multiplicación de brotes, obteniendo una respuesta favorable en esta etapa, puesto que las 30 plantas por población que se colocaron al inicio de la etapa sobrevivieron a todo el proceso. En esta etapa comprobamos que el uso de recipientes ventilados facilita el intercambio de gases, incrementando la capacidad fotosintética y la tasa de multiplicación, debido a una mayor disponibilidad de CO₂ que influye en la cantidad de pigmentos fotosintéticos (Kumar y Reddy, 2011).



Figura 4. Aclimatación de *B. procumbens*.

Etapas 4: Adaptación ex vitro

En la adaptación *ex vitro* (Figura 5) se obtuvo una respuesta adecuada. Tras el proceso de aclimatación, las plantas mostraron crecimiento y desarrollo foliar. Además, se observó una buena supervivencia del 80% para las poblaciones de San Miguel y Tejocotal; mientras que las poblaciones de Atlanga y Peña tuvieron un 75% de supervivencia en condiciones de invernadero.



Figura 5. Plantación de *B. procumbens* a sustrato.

Conclusiones

El protocolo de micropropagación propuesto para *B. procumbens* fue exitoso, al ser una planta medicinal de gran interés. Las poblaciones estudiadas de *B. procumbens* se adaptaron correctamente en todas las etapas de la micropropagación, y se obtuvo una mejor respuesta

en cuanto al crecimiento y multiplicación de brotes en las poblaciones de San Miguel y Tejocotal pertenecientes al estado de Hidalgo.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo otorgado para la realización del proyecto. Al Centro de Investigación en Biotecnología aplicada (CIBA-IPN) por permitirnos hacer uso de sus instalaciones y poder llevar a cabo el trabajo.

Literatura citada

- Alcaraz Meléndez, L. 2021. How plant tissue culture helps the conservation and development of plants of economic interest Cómo el cultivo de tejidos vegetales ayuda a la conservación y desarrollo de plantas de interés económico. Recursos Naturales y Sociedad 7(3).
- Flores Cahuantzi, M., López Gayou, V., y Reyes Leyva, J. 2018. Citotoxicidad de Arbutinas de *Bacopa procumbens* sobre Línea Celular Cancerígena SiHa. Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica 5(1): 326–329.
- González-Cortazar, M. López-Gayou, V. Tortoriello, J. Domínguez-Mendoza, B.E. Ríos-Cortés, A.M. Delgado-Ma cuil, R. 2019. Antimicrobial gastrodin derivatives isolated from *Bacopa procumbens*. Phytochen Lett 31: 33-38.
- Hidalgo Alegría, O. 2010. Determinación del efecto cicatrizante del extracto acuoetanólico de la planta *Bacopa procumbens* en la línea celular 3t3 de fibroblastos de ratón. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.

- Kumar, N., and Reddy, M. P. 2011. *In vitro* plant propagation: a review. Journal of forest and environmental science 27(2): 61-72.
- Martínez-Cuazitl, A. Gómez-García, M. C. Hidalgo-Alegria, O. Medel Flores, O. Nuñez-Gastélum, J.A. San Martín Martínez, E. et al. 2022. Characterization of Phenolic Compounds from *Bacopa procumbens* and Their Effects on Wound-Healing Process. Molecules 27: 6521.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2023. Medicina tradicional. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/traditional-medicine>
- Saha, S., Adhikari, S., Mukhopadhyay, S., and Ghosh, P. 2023. Comparative studies on regeneration of different tissues of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst *in vitro* and analysis of genetic homogeneity by random DNA markers (RDMs). Shengtai Xuebao, 43(3), 513–524.
- Samanta, D., Mallick, B. y Roy, D. 2019. Propagación clonal *in vitro*, organogénesis y embriogénesis somática en *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. Plant Science Today, 6(4), 442-449.
- Suárez Padrón, I.E. 2020 Cultivo de tejidos vegetales. Edición 2020). Fondo Editorial Universidad de Córdoba.
- Vargas, E. 2020. Estudio del cultivo *in vitro* de *Bacopa procumbens* para la obtención de los compuestos responsables de la biosíntesis de nanopartículas metálicas. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional.

EFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES EN LA CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DE FLORES DE CORTE

Gerardo Alvarado Castillo^{6*}, Ángela Callejas Utrera⁷, Vianey del Rocío Torres Pelayo⁸,
Jacel Adame García⁹ y José Antonio Fernández Viveros⁹

Resumen

La floricultura es una de las actividades agroindustriales más importantes, con una amplia gama de cultivos comercializados a nivel internacional. Para prolongar la vida útil de las flores, maximizar la rentabilidad y satisfacer la demanda del mercado, se emplean diversas técnicas de conservación. Aunque la refrigeración es la más utilizada, presenta desventajas significativas en términos de costos y consumo de energía, especialmente para pequeños productores sin infraestructura adecuada. El uso de conservantes florales, aunque común, puede representar riesgos para la salud pública y el medio ambiente debido a su naturaleza química. Sin embargo, las alternativas sustentables basadas en extractos de plantas ofrecen un potencial prometedor. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de extractos vegetales en la conservación postcosecha de flores de corte. Se realizaron pruebas para determinar el método más efectivo de obtención de extractos vegetales, y se seleccionaron cinco plantas con propiedades medicinales y antimicrobianas para su evaluación. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 5x3. Se encontró que el método de arrastre de vapor fue el más eficiente para obtener compuestos esenciales. En cuanto a la evaluación de días a senescencia, se presentaron diferencias significativas (Tukey $p \leq 0,05$) entre los diferentes tipos de flores (Gladiolo=7.71d, Gerbera=9.44c, Rosa=10.02b, Clavel=16.26a y Crisantemo=16.44a), extractos (Testigo=4.67f, Blanco=5.35e, *Solanum nigrum*=11.62d, *Hamelia patens*=12.11c, *Equisetum arvense*=12.34c, *Azadirachta indica*=13.87b y *Piper auritum*=14.59a) y concentraciones (Testigo=4.67e, Blanco=5.35d, 25 ppm=10.75c, 75 ppm=12.20b y 50 ppm=15.77a). Las interacciones más destacadas fueron: clavel con *P. auritum* a 50 ppm=27.00a, crisantemo con *P. auritum* a 50 ppm=25.72a, y clavel con *A. indica* a 50 ppm=25.60a. Estos resultados son consistentes con estudios previos y respaldan el uso de extractos vegetales para la conservación de flores. Se concluye que los extractos vegetales son una estrategia efectiva y natural para mejorar la conservación de flores de corte. Sin embargo, es importante considerar que su eficacia puede variar según el tipo de flor, la dosis y el método de aplicación. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la industria florícola, ofreciendo una alternativa más sostenible y segura para la conservación de flores de corte de importancia económica en México.

Palabras clave: vida de florero, conservadores naturales, senescencia floral, calidad de flores

⁶ Facultad de Ciencias Agrícolas, Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

⁷ Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Veracruzana.

⁸ Facultad de Biología. Universidad Veracruzana.

⁹ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván *Autor de correspondencia: gealvarado@uv.mx

Introducción

A nivel mundial, la floricultura es una actividad comercial de gran relevancia tanto para los mercados locales como para la exportación. Además de su importancia económica, las flores tienen un valor estético, simbólico y emocional en muchas sociedades (Tejeda-Sartorius y Arévalo-Galarza, 2012). En México, esta actividad agroindustrial es una de las más importantes, ya que genera empleo y divisas, contribuyendo significativamente al desarrollo económico y social de diversas regiones. Entre los cultivos más comunes que se comercializan internacionalmente se encuentran las rosas (*Rosa* spp.), los claveles (*Dianthus caryophyllus*), los crisantemos (*Chrysanthemum* spp.), las gerberas (*Gerbera* spp.) y los gladiolos (*Gladiolus* spp.), entre otras especies (Meza-García et al., 2017; Valencia-Sandoval y Guerrero-Morales, 2018).

Para prolongar la vida útil de las flores y maximizar la rentabilidad de los productos, se emplean diversas técnicas de conservación (Nguyen y Lim, 2021). Estos métodos buscan extender el periodo de venta, aumentar la disponibilidad, facilitar el transporte a largas distancias y satisfacer la demanda del mercado (Thakur, 2020). Entre estas tecnologías se incluyen la refrigeración, conservantes florales, el pulsado, la combinación de estos, las atmósferas controladas y los rayos UV, entre otros.

La refrigeración es la técnica más utilizada a nivel industrial (Debnath et al., 2019; Thakur, 2020), ya que ayuda a reducir la tasa de respiración y ralentiza la senescencia. Sin embargo, la temperatura y la duración del almacenamiento en frío pueden variar según la especie y la variedad de la flor. Además, la humedad relativa y la ventilación son factores críticos que deben controlarse cuidadosamente durante la refrigeración (Debnath et al., 2019). A pesar de ser efectiva, la refrigeración presenta desventajas como los altos costos de inversión inicial, el elevado consumo de energía y los problemas de condensación que pueden favorecer la proliferación de microorganismos (Juárez et al., 2008). Asimismo, las condiciones de almacenamiento son específicas para cada tipo de flor (Debnath et al., 2019); por ejemplo, algunas flores son sensibles al frío y no pueden almacenarse por debajo de 10 a 13°C, como el ave del paraíso, la heliconia, la orquídea y los anturios (Soleimani et al., 2016; Nascimento et al., 2018).

De igual forma, el uso de conservantes florales es especialmente importante para pequeños productores que no cuentan con infraestructura adecuada y en situaciones donde las flores necesitan ser transportadas y almacenadas por largos periodos antes de su venta o uso en arreglos florales. Estos conservantes están ampliamente disponibles en el mercado y son utilizados por la mayoría de floristas y distribuidores de flores, ya que son fáciles de adquirir, económicos, y no requieren infraestructura especializada para su uso. No obstante, el uso de conservadores químicos comerciales puede representar un riesgo para la salud pública y un impacto ambiental negativo.

En este sentido, existen alternativas sustentables basadas en agentes bioactivos, como los extractos de plantas, que tienen el potencial de mejorar la calidad y prolongar la vida útil de las flores. Estos agentes pueden poseer propiedades antimicrobianas, antioxidantes y anti-etilénicas (Cerna *et al.*, 2019; Nguyen y Lim, 2021). Algunas especies con potencial de defensa química que podrían reemplazar fungicidas y bactericidas son el neem (*Azadirachta indica*), la hoja santa (*Piper* spp.) y la moringa (*Moringa oleifera*), entre otras (Hassan y Fetouh, 2019). Estas plantas contienen metabolitos naturales que podrían ofrecer una alternativa en la búsqueda de nuevos tratamientos para prolongar la vida útil de flores, follaje y frutas (Cerna *et al.*, 2019). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de extractos vegetales en la conservación postcosecha de flores de corte.

Materiales y métodos

Selección de material vegetal

Se seleccionaron plantas con propiedades medicinales, antisépticas y antimicrobianas para la obtención de los extractos. Las especies *Azadirachta indica*, *Piper auritum*, *Equisetum arvense*, *Hamelia patens* y *Solanum nigrum* fueron elegidas por su potencial para producir metabolitos secundarios que actúan como defensa química y agentes de protección de cultivos. Las flores evaluadas en el estudio fueron: rosa, gerbera, clavel, gladiolo y crisantemo, debido a su importancia comercial en México.

Método para la obtención de extractos vegetales

Se llevaron a cabo pruebas para determinar el método más eficiente de extracción de compuestos vegetales, utilizando diversas técnicas. El experimento se centró en el tiempo de senescencia de una flor modelo (rosa), utilizando como referencia una planta conocida por sus propiedades, *Azadirachta indica*. Se probaron siete métodos de extracción: 1) Soxhlet con 100% de etanol (SE), 2) Soxhlet combinado con 60% agua y 40% etanol (SEA), 3) reflujo (RA), 4) infusión (IA), 5) hidrólisis (HA), 6) arrastre de vapor (AV) y 7) pretratamiento (PT).

El material vegetal utilizado fue recolectado fresco (materia verde) y previamente deshidratado en un horno a 105°C hasta alcanzar un peso constante (materia seca). Se manipularon 250 g de muestra y 1250 mL de agua destilada como solución extractora, siguiendo el procedimiento 936.15 de la AOAC (1990). Una vez obtenido el extracto, se purificó a 45°C utilizando un rotavapor durante tres horas, y se almacenó a 4°C en frascos ámbar dentro de una bolsa de papel estraza para evitar la exposición a la luz. Se obtuvieron 14 tratamientos (siete métodos aplicados en dos tipos de material) más un control positivo (conservante comercial, en este caso, sales de ácido cítrico y dextrosa, conocido en el mercado como Floralife® o "oasis") y un control negativo (sin tratamiento). Cada tratamiento se aplicó en una concentración de 50 ppm en una solución floral de 500 mL de agua.

Evaluación de la senescencia

Una vez identificado el método de extracción más eficiente, se utilizó para obtener los extractos de las cinco plantas seleccionadas con propiedades fitoquímicas. Los extractos se aplicaron por absorción en cinco flores de corte de importancia económica en México (rosa, gerbera, clavel, gladiolo y crisantemo), para determinar cuál extracto era más efectivo en la prolongación de la vida de florero (senescencia). Se probaron tres concentraciones diferentes (25 ppm, 50 ppm y 75 ppm), junto con un control negativo (sin tratamiento) y un control positivo (Floralife®), sin recambio de la solución acuosa. El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones. La senescencia se evaluó a partir de los síntomas de cuello doblado o "campaneo", que ocurre cuando el xilema floral es bloqueado por microorganismos, impidiendo la absorción de agua y reduciendo la vida útil de la flor (Nguyen y Lim, 2021).

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $P \leq 0,05$), utilizando el programa STATISTICA®.

Resultados y discusión

Método para la obtención de extractos vegetales

Los metabolitos vegetales poseen propiedades y estructuras únicas, lo que exige la aplicación de diferentes métodos de extracción según su solubilidad, ya sea en agua o en disolventes orgánicos como etanol o cloroformo. Para lograr una extracción óptima, es necesario evaluar varios métodos dependiendo del tipo de metabolito (Puri y Chawla, 2012). En este estudio, se encontraron diferencias significativas en los días a senescencia (Tukey $P \leq 0,05$) entre las técnicas evaluadas: testigo (3.20b), blanco (3.40b), PT (3.50b), RA (3.60b), HA (3.90b), SEA (4.00b), IA (4.30b), SE (4.70b) y AV (7.60a).

Los sustratos utilizados (testigo=3.20a, blanco=3.40a, materia seca=4.17a y materia verde=4.85a) no presentaron diferencias estadísticas significativas (Tukey $P \leq 0,05$). En cuanto a las interacciones, el mejor grupo estadístico (Tukey $P \leq 0,05$) incluyó: SE con materia seca (4.60ab), SE con materia verde (4.80ab), IA con materia verde (5.00ab), AV con materia seca (6.80ab) y AV con materia verde (8.40a) (Figura 1).

Se observa que la técnica más eficiente fue AV, probablemente debido a su capacidad para obtener compuestos volátiles y esenciales, los cuales conservan las propiedades antimicrobianas y antioxidantes de los extractos. Además, este método reduce la exposición directa de los compuestos a altas temperaturas, minimizando su degradación térmica y preservando su actividad biológica (Bakkali *et al.*, 2008). Como resultado, produce extractos relativamente puros, con menos contaminantes y residuos, ya que el vapor arrastra los componentes volátiles, dejando atrás materiales menos volátiles (Burt, 2004). Finalmente, este método es escalable y puede ser aplicado tanto en el laboratorio como en la producción industrial, lo que lo hace adecuado para la industria florícola y otras aplicaciones comerciales (Dutta, 2015).

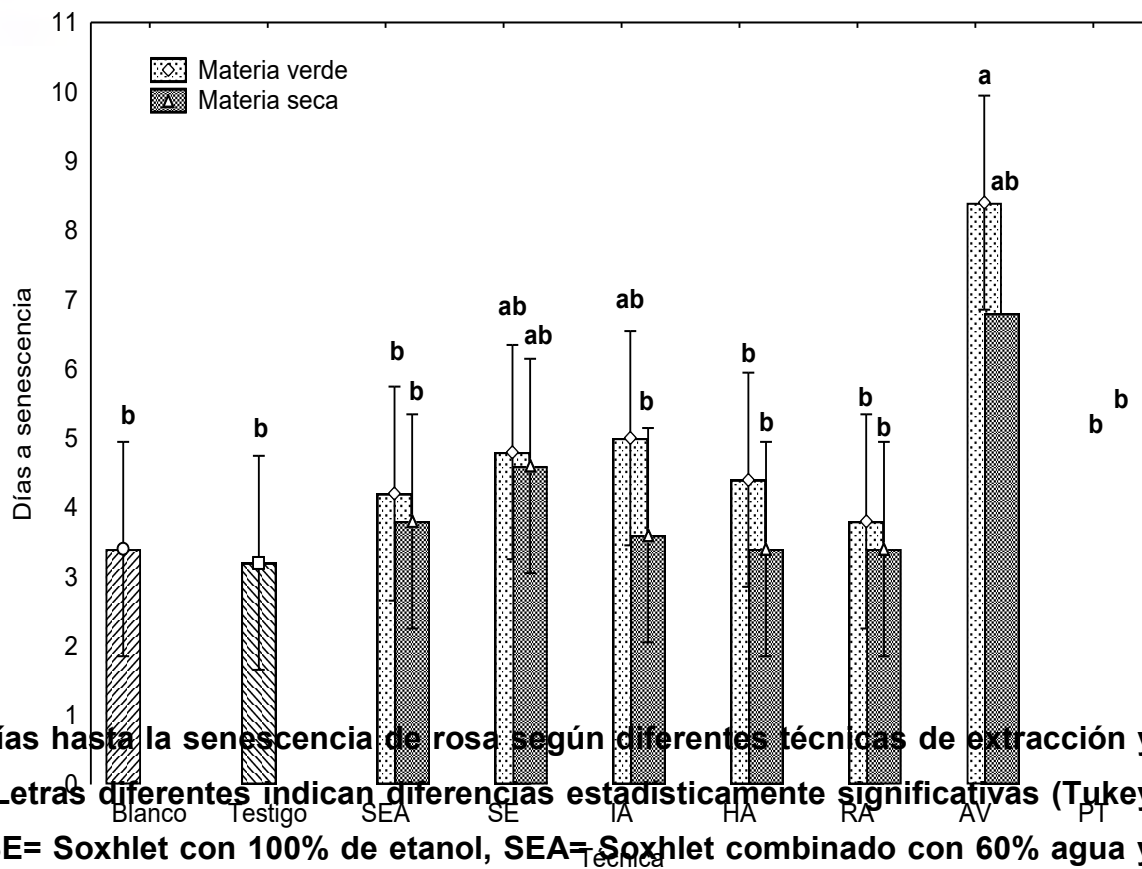


Figura 1. Días hasta la senescencia de rosa según diferentes técnicas de extracción y sustratos. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0,05$). SE= Soxhlet con 100% de etanol, SEA= Soxhlet combinado con 60% agua y 40% etanol, RA= reflujo, IA= infusión, HA= hidrólisis, AV= arrastre de vapor y PT= pre tratamiento.

En cuanto al tipo de material vegetal utilizado (materia verde y materia seca), aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas, se estima que, para los fines de este experimento, la materia verde es más adecuada, ya que es más representativa de la planta en su estado natural. Esto podría reflejar mejor la composición química y las propiedades de los compuestos de interés, los cuales podrían alterarse o perderse durante el proceso de secado. Además, la materia verde no requiere preparación previa, lo que reduce considerablemente el tiempo y los recursos necesarios para su procesamiento. Este aspecto se refleja en las interacciones entre ambos factores, destacando el grupo estadístico de AV con materia verde como el más sobresaliente (Figura 1), lo cual coincide con los hallazgos de Bakkali *et al.*, (2008).

A pesar de los resultados, futuros estudios deberían considerar la variabilidad genética de las plantas y las condiciones ambientales para validar y ampliar los hallazgos actuales.

Evaluación de la senescencia

Se encontraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0,05$) entre los diferentes tipos de flores: gladiola (7.71d), gerbera (9.44c), rosa (10.02b), clavel (16.26a) y crisantemo (16.44a). También se observaron diferencias entre los tratamientos: testigo (4.67f), blanco (5.35e), *Solanum nigrum* (11.62d), *Hamelia patens* (12.11c), *Equisetum arvense* (12.34c), *Azadirachta indica* (13.87b) y *Piper auritum* (14.59a), así como entre las concentraciones: testigo (4.67e), blanco (5.35d), 25 ppm (10.75c), 75 ppm (12.20b) y 50 ppm (15.77a).

En cuanto a las interacciones, se identificaron diferentes grupos estadísticos (Tukey $P \leq 0,05$), siendo los mejores tratamientos: clavel con *P. auritum* a 50 ppm (27.00a), crisantemo con *P. auritum* a 50 ppm (25.72a) y clavel con *A. indica* a 50 ppm (25.60a) (Figura 2a).

Para el caso de la rosa, los tratamientos mostraron diferencias significativas en días a senescencia (Tukey $P \leq 0,05$): testigo (2.80c), blanco (3.40c), *H. patens* (9.85b), *S. nigrum* (10.16b), *E. arvense* (10.38b), *A. indica* (11.93a) y *P. auritum* (12.42a). Las concentraciones también presentaron diferencias: testigo (2.80d), blanco (3.40d), 25 ppm (10.06c), 75 ppm (11.02b) y 50 ppm (11.76a), con los mejores resultados observados en las combinaciones de *P. auritum* a 75 ppm (12.92a), *P. auritum* a 50 ppm y *A. indica* a 50 ppm (13.80a) (Figura 2b). Estos resultados coinciden con lo reportado por El-Naggar et al. (2019), quienes señalaron que la aplicación de extractos de *A. indica* prolonga la vida útil de la rosa al inhibir microorganismos patógenos, reducir el estrés oxidativo y mantener el balance hídrico.

Otros estudios también han destacado la eficacia de extractos vegetales, como el té verde, que extendió la vida útil de la rosa hasta 15 días (Wu et al., 2016), o las hojas y semillas de *Moringa oleifera*, que prolongaron la vida de florero a 13.7 y 11.9 días, respectivamente (Hassan y Fetouh, 2019). Estos hallazgos resaltan el potencial de los extractos vegetales, especialmente los de *P. auritum* y *A. indica*, como alternativas naturales y efectivas a los conservantes sintéticos comúnmente utilizados.

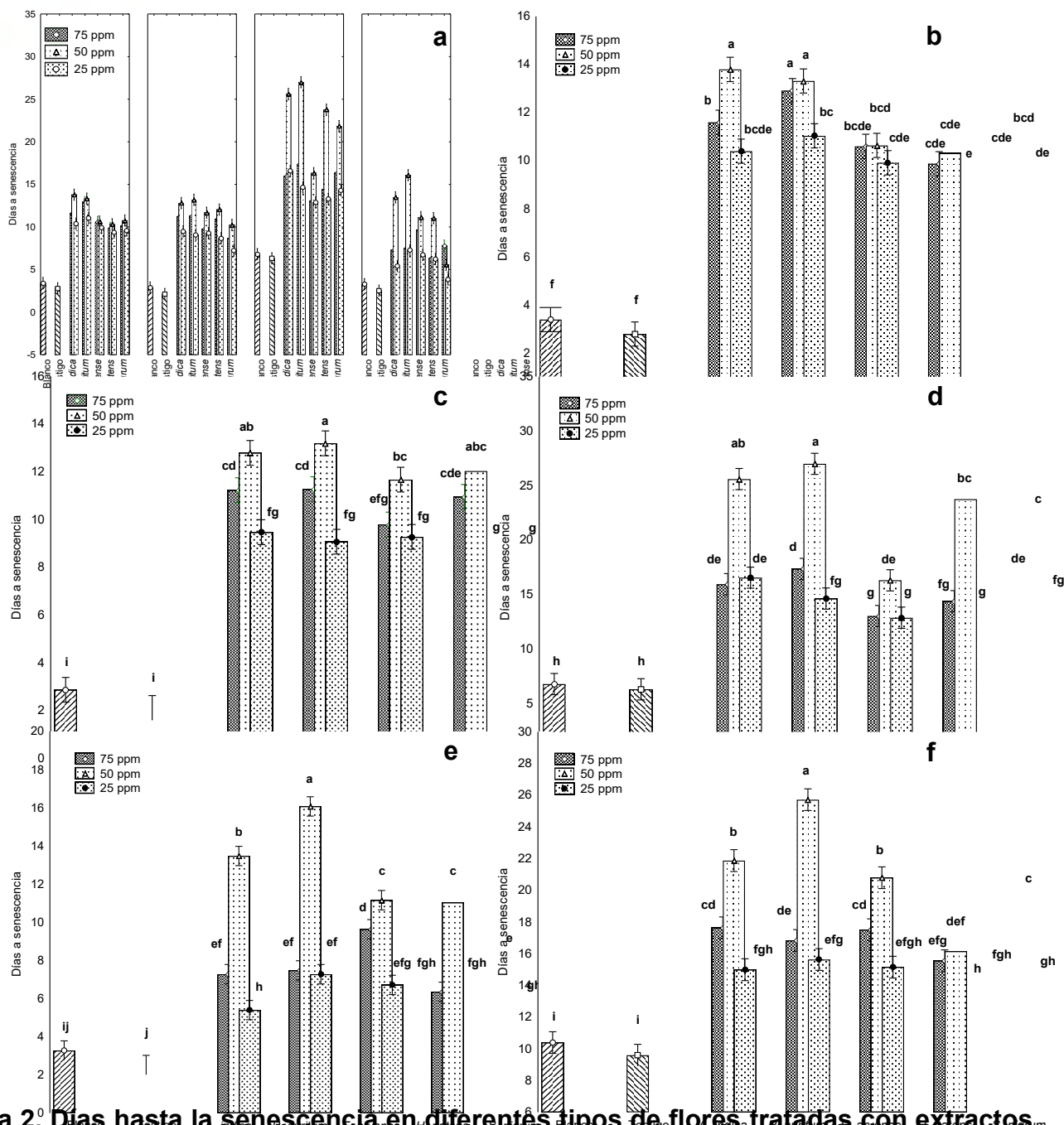


Figura 2. Días hasta la senescencia en diferentes tipos de flores tratadas con extractos vegetales. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0,05$). a) Interacciones entre tipos de flores, tratamientos y concentraciones, b) interacciones entre tratamientos y concentraciones en rosa, c) interacciones entre tratamientos y concentraciones en gerbera, d) interacciones entre tratamientos y concentraciones en clavel, e) interacciones entre tratamientos y concentraciones en gladiola y f) interacciones entre tratamientos y concentraciones en crisantemo.

En gerberas, se encontraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0,05$) entre los tratamientos: testigo (2.12d), blanco (2.88d), *Solanum nigrum* (8.70c), *Equisetum arvense* (10.25b), *Hamelia patens* (10.56ab), *Azadirachta indica* (11.17a) y *Piper auritum* (11.18a), así como entre las concentraciones: testigo (2.12d), blanco (2.88d), 25 ppm (8.75c), 75 ppm (10.38b) y 50 ppm (11.99a). Las mejores combinaciones fueron *H. patens* (12.04abc), *A. indica* (12.80ab) y *P. auritum* (13.20a), todas a 50 ppm, formando un grupo estadísticamente superior (Figura 2c). Los tratamientos con *A. indica* y *P. auritum* son especialmente notables, ya que las gerberas sin tratamiento suelen tener una vida en florero de aproximadamente 5 a 7 días (Nahrabadi *et al.*, 2015; Combrink, 2018). En este experimento, la duración promedio fue de 11 días, coincidiendo con estudios que usaron esencias de eucalipto combinadas con sacarosa, logrando una duración de 12.33 días. Esto es plausible, ya que los azúcares, como la glucosa, han sido investigados como estrategia para prolongar la vida útil de las flores de corte (Koyuncu *et al.*, 2017). Además, los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y lavanda (*Lavandula angustifolia*) también han demostrado extender la vida útil de gerberas, alcanzando un promedio de 11 días (Nahrabadi *et al.*, 2015). Otros estudios han mostrado que la vida en florero puede prolongarse a 10-12 días con tratamientos no basados en extractos vegetales, como el cloruro de calcio (CaCl_2), que mejora la longevidad y calidad de las flores al reducir la curvatura del escapo y aumentar la rigidez de la pared celular (Tonooka *et al.*, 2023). De igual manera, el nitrato de plata y la nano-plata han demostrado prolongar la vida de florero en gerberas y otras flores, al reducir los ataques microbianos e inhibir la hormona etileno (Liu *et al.*, 2021). En lo que respecta al clavel, se observaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0,05$) entre los tratamientos: testigo (6.32d), blanco (6.80d), *E. arvense* (14.08c), *H. patens* (17.14b), *S. nigrum* (17.52b), *A. indica* (19.37a) y *P. auritum* (19.66a), y las concentraciones: testigo (6.32d), blanco (6.80d), 25 ppm (14.33c), 75 ppm (15.43b) y 50 ppm (22.90a). Las interacciones más sobresalientes fueron *A. indica* (25.60ab) y *P. auritum* (27.00a), ambas a 50 ppm (Figura 2d). Estos resultados coinciden con lo reportado por El-Naggar *et al.* (2019), donde los extractos de *A. indica* prolongaron la vida útil del clavel hasta 22.73 días, comparado con los 11.33 días de las flores no tratadas. Este extracto, combinado con glucosa, prolongó la vida útil hasta 15 días, mejorando la calidad de las flores en términos de turgencia y apertura floral (Islam *et al.*, 2021). De manera similar, otros extractos, como los aceites esenciales de menta (*Mentha spicata*), prolongaron la vida útil a 18.3 días (Dehestani-Ardakani *et al.*, 2022).

A pesar de las diferencias en los días de senescencia entre los diferentes extractos utilizados, es evidente que estos ayudan a prolongar la vida útil del clavel respecto a sus controles. Esto es especialmente relevante en esta investigación, ya que el clavel mostró los mejores resultados. Sin embargo, también es importante considerar que, según García-Sánchez *et al.* (2018), el clavel tiene una vida útil más larga debido a su menor tasa respiratoria y a sus pétalos más gruesos, lo que contribuye a su mayor resistencia a la deshidratación (Chidylo *et al.*, 2015). En cuanto a la gladiola, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos: testigo (2.52e), blanco (3.28e), *S. nigrum* (5.73d), *H. patens* (7.88c), *A. indica* (8.72b), *E. arvense* (9.17b) y *P. auritum* (10.28a), y las concentraciones: testigo (2.52d), blanco (3.28d), 25 ppm (5.89c), 75 ppm (7.71b) y 50 ppm (11.46a), siendo la mejor combinación *P. auritum* a 50 ppm (16.08a) (Figura 2e). Aunque no se encontraron estudios específicos en gladiolas, los principios activos de *A. indica* y *P. auritum* podrían tener efectos positivos similares a los observados con otros extractos vegetales. Por ejemplo, el extracto de *Calotropis procera* ha demostrado extender la vida en florero hasta 14.5 días (Hassan y Fetouh, 2019). Finalmente, en crisantemos se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $P \leq 0,05$): testigo (9.60e), blanco (10.40e), *H. patens* (15.12d), *S. nigrum* (16.01c), *E. arvense* (17.82b), *A. indica* (18.17b) y *P. auritum* (19.40a), y concentraciones: testigo (9.60d), blanco (10.40d), 25 ppm (14.74c), 75 ppm (16.44b) y 50 ppm (20.72a). El mejor resultado se observó con el extracto de *P. auritum* a 50 ppm (25.72a) (Figura 2f). Son pocos los estudios que aborden específicamente el uso de extractos de *A. indica* y *P. auritum* en crisantemos. Sin embargo, investigaciones con otros extractos vegetales sugieren que estos pueden prolongar la vida útil de los crisantemos y otras flores. Por ejemplo, el aceite esencial de mirto prolongó la vida en florero de crisantemos hasta 15.73 días (Bidarigh, 2015), el aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) hasta 14.71 días (Bazaz *et al.*, 2015), y el aceite esencial de geranio hasta 18.41 días (Dashtbay *et al.*, 2015). Estos aceites esenciales actúan principalmente inhibiendo el crecimiento microbiano y reduciendo la producción de etileno, lo que contribuye a prolongar la frescura y vida útil de las flores cortadas.

En resumen, los extractos de *Azadirachta indica* y *Piper auritum* poseen propiedades valiosas para la conservación postcosecha, gracias a sus compuestos bioactivos, como azadiractina, nimbolida, nimbina y nimbidina en *A. indica*, y piperina en *P. auritum*, todos ellos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Singh *et al.*, 2017; Cárdenas-Coronel *et al.*,

2019). Además, se observó que la concentración de 50 ppm fue particularmente eficaz para la conservación de todas las flores, manteniendo un equilibrio osmótico óptimo sin causar daños en los tejidos ni generar fitotoxicidad. Esto permite que las flores mantengan su integridad estructural y apariencia estética por más tiempo. Sin embargo, el proceso de senescencia en productos vegetales está influenciado por factores como la temperatura, la humedad, el tipo de producto, la variedad, el estado de madurez en el momento de la cosecha y los métodos de almacenamiento y transporte (Cai-Zhong, 2012). Por tanto, es importante considerar que la eficacia de los extractos vegetales puede variar dependiendo de estos factores, así como de la dosis y la forma de aplicación.

Conclusiones

1. *Piper auritum* y *Azadirachta indica* destacaron en casi todas las flores evaluadas, mostrando consistentemente los mejores resultados en la prolongación de la vida útil y formando parte de los grupos estadísticamente superiores. 2. En particular, la concentración de 50 ppm resultó ser la más efectiva en todos los casos, lo que sugiere que es óptima para la postcosecha de las diferentes especies evaluadas. 3. Las combinaciones de *P. auritum* y *A. indica* a 50 ppm sobresalieron en todas las flores, confirmando su alta eficacia y superando significativamente tanto a los tratamientos comerciales como al control. 4. El carácter natural de estos extractos no generó fitotoxicidad significativa en las concentraciones utilizadas, siendo una opción de bajo costo, eficaz e inocua para la conservación postcosecha. 5. El uso de extractos vegetales representa una estrategia potencialmente efectiva y natural para mejorar la conservación de flores de corte de importancia económica en México.

Literatura citada

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15th ed., Method 936.15). AOAC International.

- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck, and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology* 46(2):446-475.
- Bazaz, A. M., A. Tehranifar and A. R. Karizaki. 2015. Use of ethanol, methanol and essential oils to improve vase life of chrysanthemum cut flowers. *Int. Res. J. Applied and Basic Sci.* 9(8):1431-1436.
- Bidarigh, S. 2015. Improvement vase life of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) cut flowers using essential oils of geranium, eucalyptus and myrtus. *J. Ornam. Plants.* 5(4): 213-221.
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *International Journal of Food Microbiology* 94(3):223-253.
- Cai-Zhong, J. 2012. Postharvest biology and technology of cut flowers and potted plants. *Horticultural Reviews* 40:3-56.
- Cárdenas-Coronel, W. G., R. E. Robles-Zepeda, M. Gutiérrez-Lomelí y J. A. Meza-Velázquez. 2019. Antimicrobial and antioxidant activity of pepper (*Piper nigrum* L.) extract in postharvest conservation of Ataulfo mangoes. *Food Control* 102:177-185.
- Cerna-Chávez, E., G. Alejandro-Rojas, Y. M. Ochoa-Fuentes, L. Aguirre-Urbe, J. Landeros-Flores y O. Hernández-Bautista. 2019. Evaluación *in vitro* de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia fungorum* 49: e1245.
- Chidyllo, S., J. Bi and T. H. Flowers. 2015. The vase life of cut flowers: Considering water relations. *International Journal of Environmental Horticulture* 3(1):1-7.
- Combrink, N. J. J. 2018. Calcium improves gerbera (*Gerbera hybrida*) vase life. *J. Plant Soil* 35:235-236.

- Dashtbay, S., M. Hasemi and D. Hashemabadi. 2015. Study on interaction effects of mechanical and geranium essential oil treatments on vase life of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.). J. Ornam. Plants. 5(2):97-103.
- Debnath, T., M. Rani and P. Das. 2019. Postharvest management of cut flowers. Advances in Plants & Agriculture Research 9(1):114-117.
- Dehestani-Ardakani, M., J. Gholamnezhad, S. Alizadeh, H. Meftahizadeh and M. Ghorbanpour. 2022. Salicylic acid and herbal extracts prolong vase life and improve quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. South African Journal of Botany 150:1192-1204.
- Dutta, S. 2015. Essential oils and their antifungal activity: a mini review. Journal of Applied Pharmaceutical Science 5(6):32-37.
- El-Naggar, T., M. El-Hadidy, H. Abou-Aly y N. Hassan. 2019. Enhancing vase life and postharvest quality of cut carnation and rose flowers using neem extract. Scientia Horticulturae 250:355-361.
- García-Sánchez, F., M. A. López-Matas and M. J. Sánchez-González. 2018. Exploring postharvest life of carnation and rose flowers: A comprehensive view of quality traits. Scientia Horticulturae 237:115-124.
- Hassan, F. A. S. and M. I. Fetouh. 2019. Does moringa leaf extract have preservative effect improving the longevity and postharvest quality of gladiolus cut spikes? Sci. Hortic. 250:287-293.
- Islam, M. S., S. M. Kang, M. M. Hamiduzzaman, K. J. Park and H. J. Choi. 2021. Synergistic effects of neem leaf extract and glucose on postharvest quality and disease control of cut carnation flowers. Scientia Horticulturae 281:109934.

- Juárez Hernández, P. J., M. T. Colinas León, L. A. Valdez Aguilar, A. Espinosa Flores, R. Castro Brindis y G. V. Cano García. 2008. Soluciones y refrigeración para alargar la vida postcosecha de rosa cv. 'Black Magic'. Rev. Fitotec. Mex. 31(3):73-77.
- Koyuncu, M. A., F. Özdemir and M. Şahin. 2017. Effect of glucose on vase life of cut carnation (*Dianthus caryophyllus*) and rose (*Rosa hybrida*) flowers. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 41(4):236-244.
- Liu, J., L. Lai, H. Liu, H. Li, G. Yu, Y. Sun and S. He. 2021. Nano-silver treatment reduces bacterial proliferation and stem bending in cut gerbera flowers: An *in vitro* and in vivo evaluation. Postharvest Biol. Technol. 180:111595.
- Meza-García, E. G., G. S. Quiroz-Rodríguez y R. Rosales-Serna. 2017. Análisis de la competitividad del sector florícola mexicano: el caso de la Asociación Mexicana de Horticultura Ornamental. Revista de Ciencias Sociales 23(1):96-110.
- Nahrabadi L. K., N. D. Rood, A. Danyaei, M. Babarabie and M. Shadbash. 2015. Effect of eucalyptus and Rosa damascena essences with sucrose on vase life and bent neck of cut Gerbera cv. Alain Ducasse. J. Ornamental Pl. 5(4):205-212.
- Nascimento Simões, A., N. Bandeira Diniz, M. Ribeiro da Silva Vieira, S. L. Ferreira-Silva, M. Bartira da Silva, I. O. Minatel y G. P. Pereira Lima. 2018. Impact of GA3 and spermine on postharvest quality of anthurium cut flowers (*Anthurium andraeanum*) cv. Arizona. Scientia Horticulturae 241:178-186.
- Nguyen T. K. and J. H. Lim. 2021. Do Eco-Friendly Floral Preservative Solutions Prolong Vase Life Better than Chemical Solutions? Horticulturae 7(10):415.
- Puri, S. and P. Chawla. 2012. Extraction and estimation of secondary metabolites: A Review. Int. J. Pharma. Sci. Res. 3(5):3061-3068.

- Singh, S., R. P. Singh y D. Singh. 2017. Post-harvest management of fruits and vegetables using emerging technologies: a review. *Food Chem.* 220:1-14.
- Soleimani Aghdam, M., A. Jannatizadeh, M. Sheikh-Assadi and P. Malekzadeh. 2016. Alleviation of postharvest chilling injury in anthurium cut flowers by salicylic acid treatment. *Scientia Horticulturae* 202:70-76.
- Tejeda-Sartorius, O. y M. L. Arévalo-Galarza. 2012. La floricultura, una opción económica rentable para el minifundio mexicano. *Agroproductividad* 5(3):11-19.
- Thakur, N. 2020. A review on the effect of storage methods and packaging material on the post-harvest longevity of cut flowers. *International Journal of Chemical Studies* 8:2375-2379.
- Tonooka, M., Y. Homma, H. Nukui and K. Ichimura. 2023. The extension of vase life in cut gerbera flowers through pretreatment with gibberellin A3 in combination with calcium chloride. *Horticulturae* 9:1106.
- Valencia-Sandoval, C. y C. Guerrero-Morales. 2018. Cadena productiva de la floricultura en México: Retos y oportunidades en la exportación de flores. *EconoQuantum* 15(1):71-88.
- Wu, L. Y., H. Xiao, W. J. Zhao, P. Sun and J. K. Lin. 2016. Effect of green tea extract powder on the vase-life of fresh-cut rose (*Rosa hybrida* L.) 'Carola' stems. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 91:279-284.

CONTROL BIORRACIONAL DE ADULTOS DE *Diaphorina citri* Kuwayama (HEMIPTERA: LIVIIDAE) EN LIMÓN MEXICANO

Mario A. Miranda Salcedo^{10*} y Catarino Perales Segovia¹¹

Resumen

El psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri*, es un insecto considerado el principal vector del Huanglongbing (HLB), una de las enfermedades más devastadoras que afectan a los cultivos de cítricos a nivel mundial. Su presencia en México se ha expandido de manera preocupante desde su detección en el estado de Michoacán en 2010, estableciéndose en las principales áreas productoras de cítricos. Los programas de control implementados por entidades como el SENASICA han buscado mitigar su impacto, pero el uso intensivo de insecticidas ha llevado a la resistencia de *D. citri* a múltiples productos y ha favorecido la aparición de plagas secundarias, creando un ciclo problemático que dificulta aún más el manejo de esta plaga. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad de nuevas moléculas químicas para el control de *D. citri* en cultivos de limón mexicano. La investigación se realizó en abril de 2023 en una huerta de limón mexicano de cinco años de edad. Se analizaron varios tratamientos con diferentes productos químicos para comparar su rendimiento en el control de la población de psílicos. Los resultados indicaron que el insecticida Tolfenpyrad® fue el más efectivo, logrando tasas de mortalidad de *D. citri* que variaron entre el 77% y el 100% a los 12 días después de la aplicación. Asimismo, el Fenpiroximate® también mostró buenos resultados en su dosis más alta (2.5 mL/L de agua), superando la eficacia de otros productos como el Spirotetramat® y la Pirifluquinazón®, que resultaron menos efectivos. Además del control químico, el estudio identificó un grupo diverso de enemigos naturales que contribuyen al control de *D. citri* en sus distintas etapas de vida. Entre estos depredadores destacan especies como *Chrysoperla rufilabris*, *Ceraeochrysa cincta*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*, *Olla v-nigrum* y *Zelus renardii*. La implementación de estrategias de manejo integrado que incluyan el uso de estos depredadores junto a los insecticidas puede fortalecer el control del psílido asiático y promover una agricultura más sostenible, balanceando la necesidad de producción con la protección del ecosistema.

Palabras clave: insecticidas, *Citrus aurantifolia*, depredadores, cítricos

¹⁰ Campo Experimental Valle de Apatzingán-CIRPAC-INIFAP.

¹¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. Autor de correspondencia: *miranda.marioalberto@inifap.gob.mx

Introducción

El psílido asiático de los cítricos *D. citri* Kuwayama 1908 (Hemiptera: Liviidae) se encuentra distribuido en todo México (López-Arroyo *et al.*, 2008) y es el vector del Huanglongbing (HLB), la enfermedad más importante de los cítricos en el mundo (Halbert y Manjunath, 2004; Bové, 2006; Stansly, 2012). La enfermedad está presente en todos los estados citrícolas del país (Miranda *et al.*, 2020). En diciembre del año 2010, en el estado de Michoacán se detectó esta enfermedad y actualmente se distribuye en todos los municipios productores de cítricos.

Cada año SENASICA implementa un programa de Áreas Regionales de Control (ARCOS) en aproximadamente 40,000 ha de cítricos. Sin embargo, existe un amplio gremio de enemigos naturales que se ven afectados por las aplicaciones químicas realizadas, además de las que hacen los productores con sus recursos (Miranda *et al.*, 2020), a pesar de que no se hacen liberaciones de depredadores bajo un enfoque de control biológico inundativo.

Por otra parte, el uso excesivo de insecticidas ha ocasionado la resurgencia de plagas secundarias que afectan la producción y calidad del fruto; una de éstas son los trips *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae), escama de nieve *Unaspis citri* (Hemiptera: Diapidae) y araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (Miranda-Salcedo, 2019). La táctica de control se basa en la eliminación de plantas enfermas y principalmente en el manejo regional del psílido (Bassanezi, 2012; Cortes *et al.* 2010, 2011). La estrategia de manejo se basa en la aspersión durante el año de dos a tres aplicaciones que protegen aproximadamente el 30% de la citricultura nacional (Cortes *et al.*, 2010; Osorio *et al.*, 2019; Miranda-Salcedo *et al.*, 2020). Sin embargo, en la actualidad se restringe al uso de pocas moléculas, es por este hecho que personal del INIFAP ha realizado evaluaciones de nuevos ingredientes activos que controlen la plaga y que impacten en menor grado a los enemigos naturales y abejas polinizadores (Miranda-Salcedo *et al.* 2020).

Por tanto, el objetivo general del estudio fue evaluar la efectividad de insecticidas de generación reciente para el manejo del psílido asiático *D. citri* en limón mexicano en el Valle de Apatzingán.

Materiales y métodos

Área de estudio

La prueba de efectividad biológica se realizó en una huerta ubicada en las instalaciones del Campo Experimental del Valle de Apatzingán 102° 13' 54'' Longitud Oeste, 19° 00' 51'' Latitud Norte, 368 m de altitud y un clima BS1 cálido semiseco.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Los estudios de efectividad biológica contra *D. citri* se realizaron, en una huerta de limón mexicano con espinas, con árboles de cinco años.

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño experimental completamente al azar y se realizaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad a los datos, posteriormente se efectuó el ANOVA del programa estadístico SAS y una prueba de comparación de medias de Duncan ($P \leq 0.05$).

Tratamientos

Se evaluaron los siguientes productos y dosis: 1) Testigo solamente agua); 2) Tolfenpyrad® (1.25 mL/L de agua); 3) Tolfenpyrad® (1.25 mL/L de agua); 4) Tolfenpyrad® (2.5 mL/L de agua); 5) Fenpiroximate® (1.25 mL/L de agua); 6) Fenpiroximate® (1.9 mL/L de agua); 7) Fenpiroximate® (3 mL/L de agua); 8) Pirifluquinazón® (0.58 mL/L de agua); 9) Spirotetramat® (0.31 mL/L de agua). Cada tratamiento constó de diez réplicas (cada árbol era una repetición) y se aplicó un litro del producto por árbol con mochila motorizada.

Muestreos

Para cuantificar los especímenes se usó la técnica del golpeteo, la cual consistía en seleccionar una rama que presente todas las etapas fenológicas a una altura de 1.5 m, con un palo se daban tres golpes y los especímenes se cuantificaban en una tabla de color azul marino de 38 x 21 cm (Miranda-Salcedo, 2019). La aplicación se realizó el 9 de abril del 2023, primero se realizó un muestreo previo y posteriormente a 1, 6, 12, 2 y 28 días después de la aplicación.

Variables evaluadas

Las variables de respuesta fueron: el número de psílicos, crisopas, coccinélidos, redúvidos y arañas por unidad de muestreo. Posteriormente, las muestras se colectaron y se guardaron en tubos Eppendors con alcohol al 70%, para su determinación con claves taxonómicas.

Resultados y discusión

En el Valle de Apatzingán *D. citri* se presenta en tres picos poblacionales: enero, mayo y julio (Miranda-Salcedo *et al.* 2020) y la de las plagas como trips y araña roja, incrementa el número de aplicaciones al año, con alrededor de 40 de diferentes insecticidas (principalmente organofosforados, piretroides y neonicotenoides) y fungicidas (manzate, captan, sulfato de cobre) (Miranda-Salcedo, 2014, 2019; Osorio *et al.* 2019). El número de aplicaciones se debe a que los productores siguen un calendario que no contempla muestreos previos, lo que contribuye al desarrollo de resistencia de varios grupos toxicológicos (Miranda-Salcedo, 2019). En este estudio se observó que después de los 12 días de aplicación de los productos, el Tolfenpyrad® fue el mejor en las tres dosis evaluadas con una mortalidad del psílido de 77 al 100%. En contraste, el Fenpiroximate® presentó una mortalidad en un rango de 8 al 78%; el Pirifluquinazon® de 32%; el Spirotetramat® de 67% y el Testigo de 0% con base en el muestreo previo. El efecto del control se observó hasta el día 21 después de la aplicación. Posterior a los 28 días, el Testigo presentó baja densidad de la plaga al igual que varios productos con excepción del Pirifluquinazón, posiblemente por el efecto aditivo de los enemigos naturales (Cuadro 1).

En un estudio previo, donde se evaluó el Spirotetramat® y otros productos no incluidos en este bioensayo, fue el mejor en el control de *D. citri*, pero afecta la presencia de crisópidos por 28 días después de la aplicación (Miranda-Salcedo *et al.*, 2020). Con base a estos resultados el Tolfenpyrad® es un producto por considerar en el manejo del psílido asiático de los cítricos en México. También, se deben impulsar estrategias más amigables que incluyan el empleo de plantas arvenses intercaladas entre las hileras de árboles que sirvan de refugio al amplio gremio de enemigos naturales presentes como: *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922)

(Hymenoptera: Eulophidae), *Chrysoperla rufilabris* Burmeister, 1839, *Cereaochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae), *Cycloneda sanguínea* (L., 1763), *Hippodamia convergens* Guerin-Meneville, 1842, *Olla v-nigrum* (Mulsant, 1866) (Coleoptera: Coccinelidae), *Zelus renardii* (Kolenati, 1857) (Hemiptera: Reduviidae)) y diferentes especies de arañas.

Cuadro 2. Control de *D. citri* en limón mexicano con productos biorracionales (Duncan 0.05).

TRATAMIENTO	Previo F18,81; P<0.0001	6 días F18,81; P<0.0001	12 días F18,81; P<0.0001	21 días F18,81; P<0.0001	28 días F18,81; P<0.0015
1) Testigo	3.5 b	3.9 b	3.6 bc	2.7 bcd	0.5 b
2) Tolfenpyrad 1.25 ml	1.1 b	0.0 b	0.2 d	1.8 cde	1.5 b
3) Tolfenpyrad 1.9 ml	2.2 b	0.1 b	0.5 d	1.3 de	0.5 b
4) Tolfenpyrad 2.5ml	0.7 b	0.0 b	0.0 d	0.4 e	1.2 b
5) Fenpiroximate 1.25	4.9 b	4.4 b	4.5 b	0.2 e	2.0 ab
6) Fenpiroximate 1.9	4.3 b	2.6 b	2.4 bcd	4.3 ab	1.5 b
7) Fenpiroximate 2.5	3.7 b	2.7 b	0.8 cd	3.7 abc	1.7 b
8) Pirifluquinazon 0.5	11.7 a	13.2 a	9.0 a	5.0 ab	3.3 a
9) Spirotetramat 0.3	14.1 a	4.6 b	4.6 b	5.1 a	2.0 ab

*Los datos corresponden al número de adultos por unidad de muestreo, las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Conclusiones

El Tolfenpyrad® fue el mejor tratamiento para el control de *D. citri* en comparación con Pirifluquinazon. El efecto del control se observó hasta el día 21 después de la aplicación.

Agradecimientos

Las investigaciones aquí reportadas fueron financiadas a través del proyecto “Evaluación de insecticidas para el manejo del psílido asiático de los cítricos y desarrollo de una metodología para determina efectividad” y la empresa Nichino A.C. que nos proporcionó las moléculas evaluadas.

Literatura citada

- Halbert, S. E, and K. L. Manjunath. 2004. Asian Citrus Psyllid (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus; A literature review and assessment of risk in Florida. Florida Entomologist 87:330-353.
- Bassanezi, R. B. 2012. Epidemiology of Huanglongbing in Citrus. *In*: Memoria del IV Simposio Nacional y III Internacional de Bacterias Fitopatógenas. Guadalajara. Jalisco. México.
- Bové, J. M. 2006. Invited review. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. Journal of Plant Pathology 88(1):7-37.
- Cortes, M.E., J. I. López-Arroyo, L. M. Hernández F., A. Castillo F. y J. Loera G. 2010. Control químico de *Diaphorina citri* Kuwayama en cítricos dulces en México: Selección de Insecticidas y épocas de aplicación. Folleto Técnico No 35. INIFAP-México 22 p.
- Cortes, M.E., J. Pérez M., V. M. González C. y H. M. Medina M. 2011. Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* Kuwayama e Insecticidas Biorracionales para su control en cítricos en Sinaloa. Informe final de proyectos de investigación. INIFAP-CIRNO-CEVAF. Juna José Ríos, Sinaloa 54 p.

- López-Arroyo, J.I., J. Loera, J. Jasso., M.A. Reyes, H. Cabrera, E. Cortez, M. A. *et al.* 2008. Avances de investigación para el manejo del psílido asiático de los cítricos en México. *In:* Memoria de Reunión Nacional de la Fitosanidad, SENASICA. Acapulco Guerrero, noviembre.
- Miranda-Salcedo, M.A. 2014. Efectividad del Isoclast en el Manejo Integrado de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en Michoacán. p.177-182. *In:* Memoria del XXXVII Congreso Nacional de Control Biológico Mérida Yucatán, México 6-7 noviembre.
- Miranda-Salcedo, M.A. 2019. Manejo agroecológico de plagas de los cítricos en el valle de Apatzingán. p. 37-49. *In:* Memoria del XLII Congreso Nacional de Control Biológico, Veracruz.
- Miranda-Salcedo, M. A., C. Perales-Segovia, E. Costes-Mondaca y J.M. Miranda-Ramírez. 2020. Manejo Agroecológico de *Diaphorina citri* Kuwayama 1908 (Hemíptera: Liviidae) en limón mexicano en Michoacán. *Entomología Mexicana* (7):176-182.
- Osorio, A. F., J. A. Villanueva J., L. D. Ortega A., U. Díaz Z., V. García M., J. Luna O., y S. Zamora J. 2019. Susceptibilidad de *Diaphorina citri* a insecticidas en los 24 estados que operaron la campaña contra HLB. p. 2284-2294. *In:* Memoria del Congreso XXXII Investigación, Agrícola, Pecuario, Forestal, Acuícola, Pesquero y Desarrollo Rural de Veracruz.
- Stansly, P. 2012. Biology and management of Asian citrus psyllid and HLB in Florida. *In:* Memoria del IV Simposio Nacional y III Internacional de Bacterias Fitopatógenas. Guadalajara. Jalisco. México.

ESTIMACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA OFERTA Y DEMANDA DE TRACTORES AGRÍCOLAS

José Cupertino Salas Gutiérrez^{12*}, José Alberto García Salazar¹³, José Saturnino Mora Flores¹³
y Ángel Garduño García¹⁴

Resumen

El tractor agrícola es el elemento principal de la mecanización agrícola, sirve para poder desplazarse, remolcar y enganchar implementos agrícolas. La maquinaria agrícola es uno de los insumos más importantes en las actividades de la producción agrícola, tan sólo en 2019 las actividades del sector primario generaron un valor de 589 mil millones de pesos, lo que represento el 3.7% del PIB nacional. Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue estimar e identificar los factores que afectan la oferta y la demanda de tractores agrícolas en México. La hipótesis fue que la oferta y la demanda responden de manera inelástica a cambios en el precio en el largo plazo. Se usaron series de tiempo a nivel nacional en el periodo 2000-2020 para estimar por mínimos cuadrados ordinarios un modelo de oferta y otro de demanda de tractores agrícolas. Los resultados indican que en el largo plazo las cantidades ofertada y demandada de tractores agrícolas responden de manera inelástica a cambios en el precio con elasticidades de 0.079 y -0.083, respectivamente. Además del precio, otros factores que afectan la demanda son el ingreso del productor y la tasa de interés, con elasticidades de 0.178 y -0.002. Considerando los resultados, se recomienda que el gobierno adopte medidas necesarias, como mejorar el ingreso y mantener bajas tasas de interés, que incentiven la demanda de tractores agrícolas en México.

Palabras clave: mecanización agrícola, elasticidad, modelo de ecuaciones simultaneas

Introducción

El sector de la maquinaria agrícola comprende la fabricación y comercialización de equipamiento, vehículos y aperos empleados en la producción agrícola (ICEX, 2019). Se compone de una gran diversidad de categorías, entre las cuales se encuentran principalmente

¹² Estudiante de doctorado Socioeconomía, Estadística e Informática-Economía.

¹³ Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. PSEI-Economía.

¹⁴ Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. *Autor de correspondencia: salas.cupertino@colpos.mx

los tractores agrícolas, sembradoras, arados, rastras, trilladoras y cosechadoras. Los fabricantes que actúan como vendedores de maquinaria agrícola se enfocan en proveer equipos desde la preparación del suelo y siembra, hasta la cosecha, así como en los cultivos industrializados de diferentes cereales, granos, frutas y verduras; proveen máquinas y herramientas con características específicas para brindar soluciones, tanto a la agricultura a cielo abierto, como a la agricultura protegida. El productor agrícola quien actúa como comprador, se encarga de seleccionar la maquinaria necesaria para resolver sus necesidades, creando un mercado en particular de maquinaria agrícola donde la oferta y la demanda interactúan entre sí.

El tractor agrícola es el elemento principal de la mecanización agrícola, sirve para poder desplazarse, remolcar y enganchar implementos agrícolas y, es la principal fuente de potencia dentro de la unidad de producción (Ayala-Garay *et al.*, 2013).

La industria nacional de maquinaria agrícola adquiere importancia, ya que, a través de ella se importan o se ensamblan equipos que se comercializan en el mercado nacional. La oferta actual de tractores agrícolas de México está conformada por la producción de varias empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de tractores e implementos agrícolas. La importancia de la agricultura como proveedor de alimentos para la población y materias primas para la industria, aunado a la gran biodiversidad del país, determina que este sector sea el mercado natural para la industria de maquinaria agrícola.

El INEGI (2009) indica que en 2002 y 2003 la producción nacional de tractores agrícolas fue de 12 y 11.3 mil unidades. De acuerdo con el informe anual del fabricante John Deere (2021), de 2011 a 2015 el promedio de las ventas anuales de tractores agrícolas en México fue de 10.4 mil unidades, y de 2016 a 2020 fueron de 12.3 mil unidades.

La demanda de tractores ha experimentado variaciones en el tiempo. En 2009, 2010 y 2011 dicho indicador fue de 19, 14 y 10 mil unidades (Suárez, 2011); y en 2017 y 2018 disminuyó a 14 y 12 mil unidades (Perea, 2018). La maquinaria agrícola es uno de los insumos más importantes en las actividades de la producción agrícola, tan sólo en 2019 las actividades del sector primario generaron un valor de 589 mil millones de pesos, lo que representó el 3.7% del PIB nacional (CEDRSSA, 2019).

Se han realizado varios estudios sobre maquinaria agrícola en México. Aburto (1984) realizó un estudio del mercado y perspectivas de los tractores agrícolas en México. Mora (1986)

realizó un estudio sobre la oferta y demanda de tractores agrícolas en México, en el cual concluye que la demanda de tractores en México es explicada por el comportamiento de tres variables: el precio de los tractores, las relaciones de intercambio de la agricultura con el resto de la economía y la magnitud del crédito refaccionario. Morales y Martínez (1998) desarrollaron un sistema de demanda casi ideal para los tractores agrícolas en México, y Ayala *et al.* (2012) analizaron la situación de la mecanización del Estado de México para las regiones de Teotihuacán, Tepotzotlán y Zumpango, concluyendo que la región de estudio tiene un nivel de tractorización elevado y un índice de mecanización no favorable, puesto que existen tractores con potencia por encima de la necesaria. Negrete *et al.* (2013) concluyen que el parque tiende a disminuir 4.9 mil tractores por año y Hernández *et al.* (2019) realizaron un estudio de la mecanización agrícola en Zinacantepec, Estado de México, para conocer la situación del nivel de mecanización de los tractores y las máquinas agrícolas que poseen los productores, e identificar índices técnicos para una productividad eficiente.

En general, son escasos los estudios que profundizan la situación de la maquinaria agrícola, y algunos se concentran en estados o regiones específicas. El presente estudio se enfoca en determinar los factores que afectan la oferta y demanda de tractores agrícolas.

Considerando la importancia del tractor como medio de producción para obtener la producción agrícola, el objetivo de este estudio fue analizar e identificar los factores que afectan la oferta y la demanda de tractores agrícolas en México. La hipótesis fue que la oferta y la demanda responden de manera inelástica a cambios en el precio en el largo plazo.

Materiales y métodos

Para alcanzar el objetivo de la investigación se estimó un modelo de oferta y otro de demanda de los tractores agrícolas en México. El ámbito geográfico de la investigación considera el territorio nacional. La información utilizada corresponde a los tractores agrícolas comercializados en México, reportados por John Deere. Para la estimación de los modelos se contó con una serie histórica de 20 observaciones de datos anuales, correspondiente al periodo 2000 a 2020. Los modelos propuestos son los siguientes:

$$QPT_t = \alpha_0 + \alpha_1 PCT_t + \alpha_2 INP_t + \alpha_3 + \alpha_4 QDTL_{t-1} + e_t \quad (1)$$

$$QOT_t = B_0 + B_1PUE_t + B_2CREA_t + B_3SMIN_t + B_4QOTL_{t-1} + e_t \quad (2)$$

Donde para el año t : QDT_t es la cantidad demandada de tractores, en unidades de tractores; PCT_t es el precio al consumidor de los tractores, en pesos por unidad; INP_t es el ingreso del productor, en pesos por ha; TIR_t es la tasa de interés anual, expresado en %; $QDTL_{t-1}$ es el retraso de un año de la variable QDT_t ; QOT_t es la cantidad ofertada de tractores, expresada en unidades de tractores; PUE_t es el precio unitario de exportación, en pesos por unidad; $CREA_t$ es el crédito agrícola, en pesos; $SMIN_t$ es el salario mínimo, en pesos y; $QOTL_{t-1}$ es el retraso de un año de la variable QOT_t .

La justificación de la formulación del modelo se basó en la teoría económica. En el análisis de mercado de un bien, las leyes de la oferta y la demanda explican la conducta de los productores y consumidores a cambios en el precio. De acuerdo con García *et al.* (2003), los factores determinantes de la cantidad ofertada son el precio del producto y el precio de los insumos usados en la producción. Los factores determinantes de la cantidad demandada son el precio del bien, los precios de los bienes sustitutos o complementarios y el ingreso disponible.

La cantidad requerida de un bien estará en función del precio de éste y del ingreso del consumidor; un mayor ingreso permite mayor demanda y viceversa. La variable ingreso del productor es el ingreso bruto por hectárea, obtenido a través de la razón entre el valor de la producción y la superficie cosechada. Otra variable que afecta la cantidad demandada de tractores es la tasa de interés; esta variable es importante, ya que a través de ella se impulsa la inversión en el sector agrícola.

La información usada para estimar el modelo se obtuvo de varias fuentes. La cantidad producida anual de tractores (QOT) se obtuvo de INEGI (2009) y de John Deere (2021); el precio unitario de exportación, tomado como precio al productor en el periodo 2010-2020, se obtuvo del SIAVI (2021) a través de la fracción arancelaria 87019001, y para el periodo 2000-2009 provino de FAOSTAT (2022). El crédito agrícola se obtuvo de FIRA (2021). El salario mínimo se obtuvo de la CONASAMI (2021) y la tasa de interés se obtuvo de BANXICO (2022). Para cuantificar la demanda se calculó el consumo nacional aparente de tractores agrícolas, el cual se estimó con base en la producción nacional más la balanza comercial. El precio al consumidor de tractores se seleccionó de acuerdo con la clasificación del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (INEGI, 2007), donde se presenta una clasificación de tractores en cuatro grupos (I hasta 60 Hp, II de 60 a 85 Hp, III de 85 a 145 Hp y IV más de 145 Hp); se

consideró que la mayor cantidad de tractores existentes en el país entran en el rango de 60 a 85 Hp. Una vez que se seleccionó el rango de potencia se tomaron los precios promedio basados en la potencia seleccionada. Dada la dificultad de contar con precios nominales en todos los años del periodo de estudio y, debido a la falta de datos públicos referentes a los precios de tractores agrícolas nuevos comercializados en México, se recurrió a estimaciones de precios en dólares, páginas web afines a maquinaria agrícola y documentos publicados por las empresas comercializadoras (COMEXI, 2015; COMEXI, 2020; CNH, 2017; CNH, 2018) y de dependencias gubernamentales referentes a tractores agrícolas (SEDRAE, 2019). El ingreso por hectárea se obtuvo del SIAP (2022) a través de la relación entre el valor de la producción y la superficie cosechada; y la tasa de interés se obtuvo de BANXICO (2022). Las variables monetarias fueron deflactadas con el Índice Nacional de Precios al Productor y el Índice Nacional de Precios al Consumidor con base en 2018 (INEGI, 2021a; INEGI, 2021b). Los modelos fueron estimados con Mínimos Cuadrados Ordinarios utilizando el programa estadístico SAS (2002). La validación estadística de los modelos se realizó con la prueba de F o prueba de significancia global de la regresión múltiple, la prueba de t y el coeficiente de determinación R^2 (Gujarati, 2010).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los coeficientes estimados por el método de mínimos cuadrados ordinarios. Los valores de la prueba de F indican que a nivel global las variables explicativas son significativas para determinar la variación de la oferta y la demanda de tractores con una $P \leq 0.0001$ para la oferta y $P \leq 0.0001$ para la demanda. El coeficiente de determinación es aceptable para las dos ecuaciones: 0.73 para la oferta y 0.73 para la demanda.

La t -asintótica constituye el estadístico para probar la significancia individual de los estimadores. En el caso del modelo de oferta, las variables tienen una t menor a 1 en términos absolutos a excepción del rezago de la cantidad producida, no obstante, al considerarse importantes fueron permitidas en el modelo. Para el caso del modelo de demanda las variables tienen una t mayor a 1 en términos absolutos, a excepción de la variable precio y tasa de interés, no obstante, al considerarse importante fue permitida en el modelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados estadísticos del modelo de oferta y demanda de tractores en México.

Variable Dependiente	Intercepto	Variables independientes				R ²	Prob>F
QOT		PUE	CREA	SMIN	QOTL		
Coefficiente	4413.05	0.000725	0.000008	-29.341280	0.787830		0.0001
Error estándar	2683.83	0.003660	0.000021	30.615180	0.200120	0.73	
Valor t	1.640000	0.200000	0.400000	-0.960000	3.940000		
Pr > t	0.120900	0.845500	0.694100	0.353100	0.001300		
QDT		PCT	INP	TIR	QDTL		
Coefficiente	4804.33	-0.001010	0.061410	-1.719000	0.6532		< 0.0001
Error estándar	2854.31	0.001300	0.047240	144.534730	0.2117	0.73	
Valor t	1.680000	0.780000	1.300000	-0.010000	3.0860		
Pr > t	0.113000	0.449300	0.213200	0.990800	0.0075		

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo estimado.

Basado en García *et al.* (2003) se obtuvo el modelo de largo plazo, en el cual se usó la velocidad de ajuste (&) la cual se calculó usando los parámetros estimados de las variables endógenas retrasadas; el parámetro estimado fue de 0.7878 para la oferta y de 0.6532 para la demanda, y la velocidad de ajuste fue de 0.21217 y 0.3468 para la oferta y demanda, respectivamente. Cada parámetro del modelo de corto plazo fue dividido entre la velocidad del ajuste para obtener así el modelo de largo plazo:

$$QDT_t = \frac{\alpha_0}{\&} + \frac{\alpha_1 PCT_t}{\&} + \frac{\alpha_2 INP_t}{\&} + \frac{\alpha_3 TIR_t}{\&} \quad (3)$$

$$QOT_t = \frac{B_0}{\&} + \frac{B_1 PUE_t}{\&} + \frac{B_2 CREA_t}{\&} + \frac{B_3 SMIN_t}{\&} \quad (4)$$

Los coeficientes estimados presentaron el signo esperado de acuerdo con la teoría económica (García *et al.*, 2003). El precio al consumidor de tractores tiene una relación inversa con la cantidad demandada y el ingreso tiene un efecto positivo, mientras que la tasa de interés se relaciona de manera inversa con la cantidad demandada, lo que indica que a una mayor tasa

de interés corresponde una menor demanda, debido a que resulta más caro adquirir tractores nuevos a una mayor tasa de interés.

La oferta de tractores agrícolas está determinada por el precio unitario de exportación tomado como precio al productor, y la relación entre ambas variables es positiva. La variable crédito agrícola tiene un efecto positivo sobre la oferta de tractores, a un mayor crédito le corresponde una mayor oferta. De acuerdo con Espinoza y Martínez (2017), el crédito agrícola es uno de los principales factores para impulsar el sector agrícola. De 1970 a 2013, la relación del crédito con el PIB agropecuario ha sido creciente al pasar de 5.0 a 28.5% del PIB. El salario mínimo tiene un efecto inverso en la cantidad ofertada, lo que hace que a mayor salario corresponde una menor oferta del producto.

Las elasticidades se calcularon con las derivadas parciales de cada ecuación y los valores promedio de las variables en cuestión en el periodo 2000-2020; se calcularon tres elasticidades en el corto y largo plazo.

En el Cuadro 2 se presentan las elasticidades y se observa que todos los valores absolutos son menores a 1, lo que indica que, tanto la oferta como la demanda responden de manera inelástica a los cambios en los factores que las determinan.

Cuadro 2. Elasticidades de la oferta y demanda de tractores agrícolas.

Oferta	Plazo		Demanda	Plazo	
	Corto	Largo		Corto	Largo
E_{PUE}^{QOT}	0.017	0.079	E_{PCT}^{QDT}	-0.029	-0.083
E_{CREA}^{QOT}	0.035	0.164	E_{INP}^{QDT}	0.062	0.178
E_{SMIN}^{QOT}	-0.200	-0.942	E_{Tir}^{QDT}	-0.0006	-0.002

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo estimado.

También se observa que las elasticidades de corto plazo son menores a las elasticidades de largo plazo en todos los casos. Se obtuvo un coeficiente de elasticidad precio de la demanda en el largo plazo de -0.083, lo que indica que, si el precio aumenta en 10%, entonces la cantidad demandada de tractores disminuirá en 0.83%. El valor anterior es similar al reportado por Terrones y Martínez (2012) y Terrones *et al.* (2020), quienes reportan elasticidades

menores a 1, lo que implica que la reacción de los productores agrícolas para adquisición de maquinaria es baja ante variaciones en el precio. Morales y Martínez (1998) calcularon elasticidades de la demanda de tractores y reportan que los tractores de entre 80 y 100 hp tienen una demanda inelástica con respecto al precio.

Las elasticidades de largo plazo del ingreso y de la tasa de interés resultaron 0.178 y -0.002, lo cual indica que un aumento de 10% en el ingreso aumentará la demanda en 1.78%, manteniendo constantes los demás factores, y un aumento de 10% en la tasa de interés disminuirá la demanda de tractores en 0.02% (Cuadro 2). El ingreso del productor es un factor clave que permite al productor hacer inversiones como la adquisición de maquinaria agrícola. Sin embargo, el CEDRSSA (2020) sostiene que, en la economía rural el ingreso ha permanecido deprimido, y que las políticas y programas implementados no han atendido el problema de raíz. La tasa de interés es un instrumento de la política monetaria implementada por el Banco de México, tiene una relación inversa con la inversión, lo que implica que cuando esta variable es alta, los productores no puedan mecanizar sus campos de cultivo. Si en el futuro la tasa de interés se mantiene al alza (BANXICO, 2022), esto seguirá propiciando que los productores no puedan realizar inversiones en maquinaria.

El coeficiente de la elasticidad precio de la oferta en el largo plazo fue de 0.079, indica que un aumento en el precio en 10% aumentará la oferta en 0.79%, manteniendo constantes los demás factores que afectan la cantidad producida. Las elasticidades de largo plazo del crédito y del salario mínimo resultaron 0.164 y -0.942, lo cual indica que un aumento de 10% en el crédito aumentará la producción en 1.64%, y un aumento de 10% del salario mínimo disminuirá la producción en 9.4%, manteniendo constantes los demás factores. El crédito para el sector agrícola ha ido incrementando durante el periodo analizado (FIRA, 2021); sin embargo, no ha sido considerable para promover un aumento significativo en la oferta de tractores, lo que origina que la oferta seguirá estancada. La tasa de interés es un instrumento de la política monetaria implementada por el Banco de México, tiene una relación inversa con la inversión, lo que implica que cuando esta variable es alta, los productores no puedan mecanizar sus campos de cultivo a través de la adquisición de maquinaria.

Los resultados de las elasticidades de largo plazo muestran que la oferta y la demanda responden de manera inelástica a cambios en los factores que la determinan, lo cual indica que serían necesarios cambios muy altos para modificar la cantidad producida y demandada.

Es indispensable continuar con la implementación de apoyos a la mecanización del campo a través de la adquisición de tractores mediante créditos y subsidios. Terrones *et al.* (2020) señalan que la decisión de los productores para no adquirir más tractores y demás insumos agrícolas a través de montos de crédito se deben a las altas tasas de interés fijadas por las instituciones.

Considerando que los tractores agrícolas actuales tienen un precio elevado, en algunos casos más de 400 mil pesos, es recomendable la producción de tractores más pequeños, de menor potencia, que se puedan adquirir por pequeños productores. Se requiere del apoyo de las instituciones, universidades y personal experto en el diseño mecánico, que puedan proponer equipos capaces de realizar maniobras en las distintas condiciones de cada región. Así mismo, se requiere del apoyo del Gobierno Federal para crear una industria con tecnología nacional, que impulse el desarrollo de tractores dirigidos a los pequeños productores.

El sector agrícola requiere de políticas públicas y, que las instituciones apropiadas ejerzan los recursos asignados con eficiencia y con un mejor compromiso social, que incentiven la demanda de tractores, a través de subsidios y tasas de interés bajas.

Conclusiones

1. La estimación de un modelo de oferta de tractores agrícolas en México indica que en el largo plazo esta variable responde de manera inelástica a cambios en el precio, el salario mínimo y el crédito agrícola, con elasticidades menores a 1. La oferta de tractores seguirá con una tendencia estable, con una cantidad promedio de doce mil unidades ofertadas y vendidas cada año. 2. La estimación de un modelo de demanda de tractores indica que esta variable está determinada por el precio al consumidor del tractor, el ingreso agrícola y la tasa de interés, y que la respuesta de la cantidad demandada también es inelástica a cambios en los tres factores anteriores. 3. De los factores mencionados, el ingreso es la variable que más afecta la demanda de tractores, lo que deja de manifiesto la importancia de que se registren precios de los productos vendidos por el productor. 4. Se comprobó la hipótesis establecida en esta investigación, que establece que la oferta y la demanda de tractores agrícolas responden de manera inelástica a cambios en el precio.

Agradecimientos

Al Programa de Economía del Posgrado en Socioeconómica, Estadística e Informática del Colegio de Postgraduados (CP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT).

Literatura citada

- Aburto, I. S. 1984. Análisis de mercado y perspectivas de los tractores agrícolas en México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 126 p.
- Ayala, G. A. V., L. Cortés-Espinosa, B. S. Larqué-Saavedra, D. M. Sangerman-Jarquín y M. Garay-Hernández. 2012. Situación de la mecanización del Estado de México: el caso de Teotihuacán, Tepotzotlán y Zumpango. REMEXCA 4:838-846.
- Ayala-Garay, G. A. V., R. Cervantes-Osornio, M. A. Audelo-Benítez, N. Velázquez-López y J. M. Vargas-Sállago. 2013. La normalización y certificación de tractores agrícolas en México. Rev. Cienc. Téc. Agropecu. 22(Supl.1):86-93.
- BANXICO (Banco de México). 2022. Sistema de Información económica. Tasas de Interés Interbancarias.
<https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=18&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF111&locale=es> [consultado el 15 de enero de 2022].
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) 2019. El sector agropecuario en el PIB. www.cedrssa.gob.mx/files/b/9/47SectorAgro_PIB.pdf [consultado el 10 de enero de 2022].

CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Situación del sector agropecuario en México. www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/22Situacion_Sector_Agropecuario_México.pdf [consultado el 11 de enero de 2022].

CNH (CNH de México, S.A. de C.V.). 2017. Lista de Precios. Incentivo adquisición de maquinaria y equipo 2017. <http://sicodi.cnhmexico.com.mx/Boletines/CNH%20Comercial/CNHC-0117-024.pdf> [consultado el 11 de noviembre de 2021].

CNH (CNH de México, S.A. de C.V.). 2018. Lista de Precios. Incentivo adquisición de maquinaria y equipo 2018. <http://sicodi.cnhmexico.com.mx/Boletines/CNH%20Comercial/CNHC-0118-004.pdf> [consultado el 11 de noviembre de 2021].

COMEXI (Comercializadora Mexicana Integral). 2015. Costos Horarios Actualizados a vigencia agosto de 2015. http://www.comexi.com.mx/costos/Costos_Agosto_2015.pdf [consultado el 11 de diciembre de 2021].

COMEXI (Comercializadora Mexicana Integral). 2020. Costos Horarios Actualizados a vigencia octubre 2020. http://www.comexi.com.mx/costos/CH_Oct_2020.pdf [consultado el 11 de diciembre de 2021].

CONASAMI (Comisión Nacional de los Salarios Mínimos). 2021. Evolución del Salario Mínimo. <https://www.gob.mx/conasami/documentos/evolucion-del-salario-minimo?idiom=es> [consultado el 17 de enero de 2022].

Espinoza, Z. E. G. y M. A. Martínez D. 2017. El crédito agropecuario en México. REMEXCA 8(1):179-187.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2022. Database on Agriculture Machinery. Maquinaria. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/RM> [consultado el 10 de abril de 2022].

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2021. Informe de Actividades. <https://www.fira.gob.mx/Nd/InformeActividades.jsp> [consultado el 17 de abril de 2022].

García, M. R., J. A. García-Salazar y R. C. García-Sánchez. 2003. Teoría del mercado de productos agrícolas. 1a ed. Colegio de Postgraduados. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. Programa de Postgraduados en Economía. Montecillo, Edo. de Méx., México.

Gujarati, D. N. y D. C. Porter. 2010. Econometría. 5a. ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., México, D. F. 921 p.

Hernández, A. J., F. Gutiérrez-Rodríguez, A. González-Huerta y H. Bailón-Sáenz. 2019. Nivel de mecanización agrícola en el municipio de Zinacantepec, Estado de México. *CIENCIA ergo-sum* v27n1a7.

ICEX (España, Exportación e Inversiones). 2019. Maquinaria agrícola en México. <https://maquinac.com/wp-content/uploads/2020/05/México-ICEX-España-Exportación-e-Inversiones..pdf> [consultado el 17 de abril de 2021].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/> [consultado el 11 de marzo de 2022].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. La Industria Automotriz en México 2009. Series estadísticas sectoriales. centro.paot.org.mx/documentos/inegi/industria_automotriz_2009.pdf [consultado el 11 de marzo de 2022].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021a. Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/> [consultado el 5 de febrero de 2022].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021b. Índice Nacional de Precios al Productor (INPP). <https://www.inegi.org.mx/temas/inpp/> [consultado el 08 de febrero de 2022].

John Deere. 2021. John Deere - Fact Books. Tractor and Combine Industry Unit Sales.: https://s22.q4cdn.com/253594569/files/doc_downloads/books/2022/Tractor-Combine-Fact-Book_2021.pdf [consultado el 14 de marzo de 2022].

Mora, F. J. S. 1986. La oferta y demanda de tractores agrícolas en México, evaluación cuantitativa y cualitativa. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 87 p.

Morales, C. N. y M. A. Martínez D. 1998. El sistema de demanda casi ideal aplicado a tractores agrícolas en México. *Agrociencia* 32(2):157-164.

Negrete, J. C., A. L. Tavares M. y R. L. Tavares M. 2013. Parque de tractores agrícolas en México: estimación y proyección de la demanda. *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.* 22(3):61-69.

Perea, E. 2018. Industria de tractores en México colocará entre 12 y 13 mil unidades en 2018. <https://imagenagropecuaria.com/2018/industria-de-tractores-en-mexico-colocara-entre-12-y-13-mil-unidades-en-2018/> [consultado el 10 de enero de 2022].

SEDRAE (Secretaría de Desarrollo Rural y Agroempresarial). 2019. Programa estatal para la adquisición de tractores. Gobierno del estado de Aguascalientes. https://www.aguascalientes.gob.mx/sedrae/informacion/archivos/APOYO_TRACTORES_GRUPO_v1.pdf [consultado el 10 de febrero de 2022].

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Producción agrícola. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> [consultado el 10 de junio de 2022].
- SIAMI (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet). 2021. Evolución de la fracción arancelaria para Tractores de ruedas con toma de fuerza o enganche de tres puntos, para acoplamiento de implementos agrícolas. Gobierno de México. <http://www.economia-snci.gob.mx> [consultado el 10 de diciembre de 2021].
- SAS (Statistical Analysis System Institute. 2002. SAS/ETS user's guide (versión 9.0) [Software de computación]. SAS.
- Suárez, L. G. 2011. Impacta clima y crisis económica mercado de tractores en México. <https://imagenagropecuaria.com/2011/impacta-clima-y-crisis-economica-mercado-de-tractores-en-mexico> [consultado el 19 de diciembre de 2021].
- Terrones, C. A. y M. A. Martínez D. 2012. Demanda de insumos agrícolas en México un enfoque dual. REMEXCA 3(1):51-65.
- Terrones, C. A., M. A. Martínez-Damián y Y. Sánchez-Torres. 2020. Análisis dual del comportamiento del sector primario en México 1980-2020. REMEXCA 11(5):1179-1187.

EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE *Hemileia vastatrix* EN *Coffea arabica* UTILIZANDO ANÁLISIS DE IMAGEN (PLIMAN)

Sandra Lizveth Enríquez López¹⁵, Gerardo Alvarado Castillo^{15*}, Carlos Roberto Cerdán Cabrera¹⁵, Rosalba Argumedo Delira¹⁶ y Esteban Escamilla Prado¹⁷

Resumen

Las escalas diagramáticas son herramientas utilizadas para asignar un valor cuantitativo a los síntomas observados por el ojo humano. Sin embargo, estas pueden ser subjetivas e imprecisas. Por tal motivo es necesario contar con estimaciones confiables, precisas, cuantitativas y más exactas para predecir el daño que está causando algún patógeno en los cultivos. Actualmente se han utilizado algunos scripts o paquetes de softwares como ImageJ con el script rust; Quant y Pliman, para estimar la severidad ocasionada por diferentes patógenos. El objetivo de este trabajo fue determinar el índice de severidad de *H. vastatrix* en hojas de café utilizando el paquete Pliman en R studio, con el fin de mejorar las evaluaciones cuantitativas y fortalecer los monitoreos de la enfermedad en variedades susceptibles. Se presentan tres etapas de entrenamiento del paquete de Pliman con el Software R Studio para detectar y cuantificar los síntomas de las hojas de café infectadas por *H. vastatrix*. Se utilizaron fotografías digitales tomadas con una cámara Sony A6400 y un lente Sigma 30 mm. Se colectaron 72 hojas infectadas y 72 sanas teniendo un total de 144 hojas de la variedad Catuai amarillo en Teocelo Veracruz. Se evaluó el porcentaje de área sana y sintomática de las hojas de café infectadas por *H. vastatrix* que presentaban lesiones necróticas o amarillamiento. Se tomaron tres muestras desde la toma de una sola imagen de referencia, hasta 187 de todas las fotografías que representarán el fondo de la imagen (F), hojas sanas (S) y hojas infectadas por roya (I). Hubo diferencias significativas ($p < 0.001$) en la p1 y p4, en comparación con las pruebas p3 y p4 ($p > 0.05$) del área sintomática y área sana respectivamente. El mejor análisis para detectar al patógeno fue p3 y p4. Pliman es un paquete que sirvió para cuantificar la severidad en hojas de café infectadas por *H. vastatrix*.

Palabras clave: enfermedad foliar, roya, procesamiento de imágenes

¹⁵ Facultad de Ciencias Agrícolas, Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

¹⁶ Instituto de Química Aplicada, Universidad Veracruzana.

¹⁷ Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. *Autor de correspondencia: gealvarado@uv.mx

Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) es una de las bebidas más importantes en el mundo, es un cultivo de valor comercial, económico y social (Gichuru *et al.*, 2012), sin embargo, la producción de café ha sido severamente afectada por la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broom), considerada la principal enfermedad causante de pérdidas económicas significativas (Cabral *et al.*, 2009; Gichuru *et al.*, 2012; Alvarado-Castillo *et al.*, 2017). Los síntomas principales incluyen pequeñas manchas amarillas en el envés de las hojas, cuya aparición está influenciada por las condiciones climáticas, lo que facilita la esporulación y dispersión de las uredosporas, eventualmente provocando la muerte de las plantas (Huaman, 2021; Muttappagol *et al.*, 2022).

Para la detección temprana de enfermedades, se han desarrollado diagramas de área estándar basados en estimaciones visuales que permiten evaluar la gravedad de las mismas, siendo cruciales en la toma de decisiones sobre los tratamientos más efectivos (Barbedo, 2014). No obstante, estas estimaciones visuales pueden ser subjetivas y depender de la experiencia del observador, lo que puede llevar a imprecisiones (Avelino *et al.*, 2015).

En un esfuerzo por estandarizar las estimaciones visuales, Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ) desarrolló diagramas de área afectada por la roya para asistentes técnicos y cafeticultores en Colombia (López-Vásquez *et al.*, 2018). En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), ha establecido una escala de evaluación de siete niveles que varía de 0 a 6, con porcentajes de daño que oscilan entre 0% y 70% (Calderón, 2016). Recientemente, la evaluación de enfermedades en plantas ha evolucionado hacia el uso de análisis de imágenes digitales, lo que permite agilizar el proceso y proporcionar evaluaciones cuantitativas precisas (Mutka y Bart, 2015; Bock *et al.*, 2020; Gallego-Sánchez *et al.*, 2020).

Es fundamental disponer de estimaciones confiables y precisas para predecir la pérdida de rendimiento, pronosticar epidemias, evaluar la resistencia de los cultivos a las enfermedades y comprender los procesos biológicos de los patógenos. Algunos de los softwares utilizados para estas evaluaciones incluyen ImageJ con el script rust (Schneider *et al.*, 2012), Quant (Bock *et al.*, 2022) y R studio con ayuda del paquete Pliman, para estimar la severidad ocasionada por la roya en cultivos como trigo y soya (Olivoto *et al.*, 2022). Estos programas

están basados en el análisis de los valores RGB (rojo, verde y azul) de fotografías digitales, para distinguir las enfermedades de plantas que diferencian la parte sintomática de una planta sana de manera cuantitativa (Bock *et al.*, 2020). Sin embargo, no existe literatura que reporte el análisis de severidad de roya en café.

El objetivo de este trabajo fue determinar el índice de severidad de *H. vastatrix* en hojas de café utilizando el paquete Pliman en R studio, con el fin de mejorar las evaluaciones cuantitativas y fortalecer el monitoreo de la enfermedad en variedades susceptibles.

Materiales y métodos

Área de estudio

El muestreo se llevó a cabo en la finca Los Barreales, ubicada en el municipio de Teocelo, Veracruz (19°23'37.3" N, 96°59'01.0" O; 19°23'39.7" N, 96°59'12.4" O) y (19°23'34.0" N, 96°59'14.9" O; 19°23'29.5" N, 96°58'59.0" O).

Toma de muestras de hojas y fotografías

Se colectaron 144 hojas de café de la variedad Catuaí amarillo, 72 hojas infectadas por *H. vastatrix* y 72 sanas. Se tomaron fotografías de la superficie foliar utilizando una hoja blanca como fondo, con ayuda de un tripié se colocó una cámara Sony A6400 a una distancia de 15 cm de forma vertical. Se usó el flash integrado y un lente Sigma 30 mm, los parámetros de apertura del lente fueron de una f/9, tiempo de exposición 1/60 s, ISO 500 y distancia focal 30 mm.

Procesamiento de imágenes

Se realizó una clasificación manual inicial utilizando Adobe Photoshop para definir las áreas de tejido sano (S), infectado (I) y fondo (F).

Se realizaron cuatro etapas de validación con muestras de precisión creciente, con el objetivo de determinar la mejor estimación del tejido infectado por *H. vastatrix* en las hojas de café.

Primera validación (p1): se seleccionó un recorte de tejido S, I y F de la imagen (Figura 1A).

Segunda validación (p2): se seleccionaron 90 muestras de tejido sano, 54 muestras de tejido

infectado y 64 muestras del fondo (Figura 1B). Tercera validación (p3): se obtuvieron 122 muestras de tejido sano, 74 muestras de tejido infectado y 187 muestras del fondo (Figura 1C). Cada conjunto de muestras se combinó en una imagen independiente usando Photoshop para calcular el área sana y el área sintomática afectada por la roya en las hojas de café (Figura 1). La cuarta etapa consistió en el análisis de los índices RGB que realiza el script Pliman, el cual realiza estimaciones mediante los colores rojo, verde y azul utilizando esta ecuación $(G-R)/(G+R)$ (verde-rojo)/(verde+rojo), para resaltar el tejido infectado del sano en las hojas de café (Olivoto et al., 2022). Se dan a conocer los índices de HI que se detecta tejido sano, NGRDI los cuales detectan las pústulas y NDGBI no se observan las pústulas ni el tejido sano (Figura 1D).

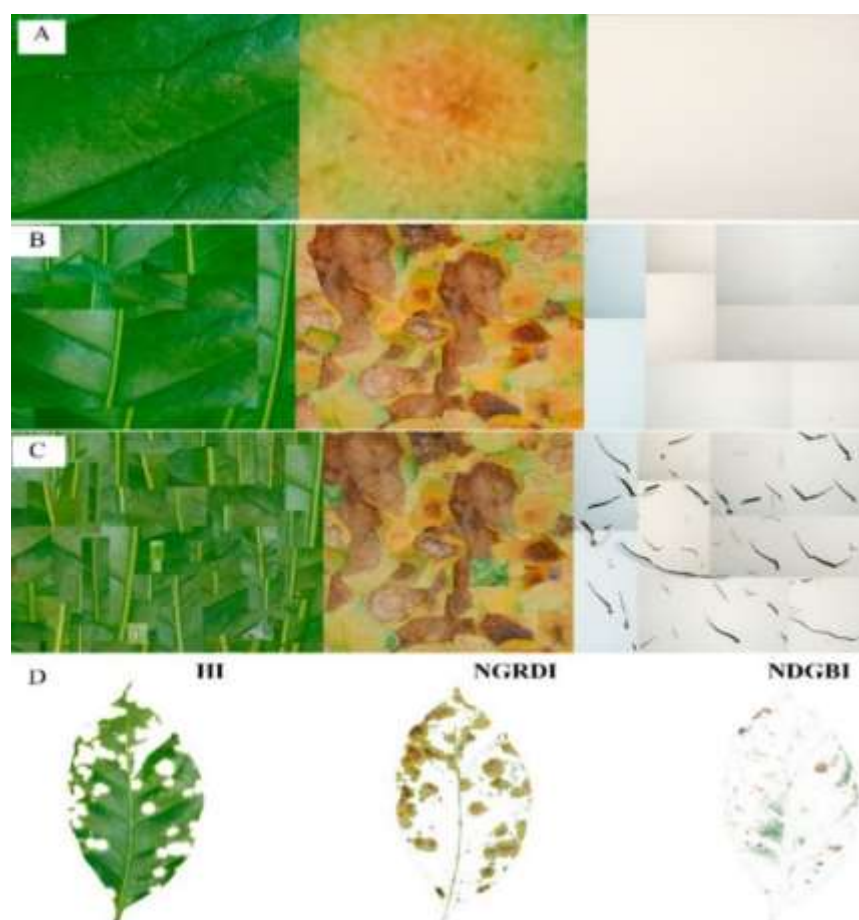


Figura 1. Toma demuestra de imágenes de tejido sano, infectado y de fondo para análisis en Pliman.

Se muestran 25 índices (Figura 2A) con diferentes estimaciones de detección de las pústulas de *H. vastatrix* con diferentes códigos de los cuales se eligió el NGRDI debido a que fue el más preciso de todos (Figura 2B). Se observa la hoja infectada por *H. vastatrix* (Figura 2C). Después se analizó con el código seleccionado con pliman y detectó todas las pústulas como se observan en la (Figura 2D) de color negro.

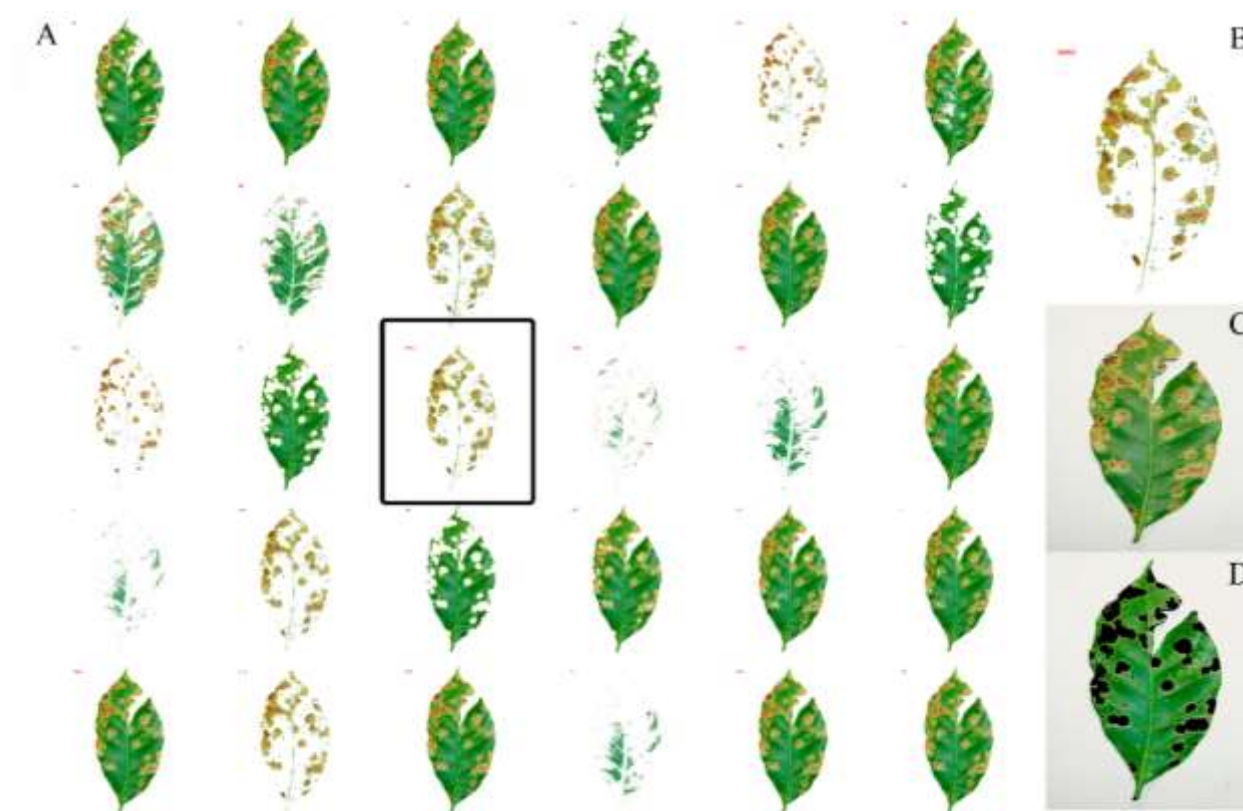


Figura 2. A) Comparación de los diferentes índices RGB, en el cuadro negro se muestra el que se seleccionó para detectar las pústulas de *H. vastatrix* en hojas de café. B) El índice que mejor detectó las pústulas fue NGRDI. C) Fotografía original de las pústulas de café. D) Detección de las pústulas con el código seleccionado.

Se realizó un gráfico de umbral para definir la precisión del índice NGRDI en el que se detectaron mejor las pústulas de roya y se estableció en 0.045 (Figura 3).

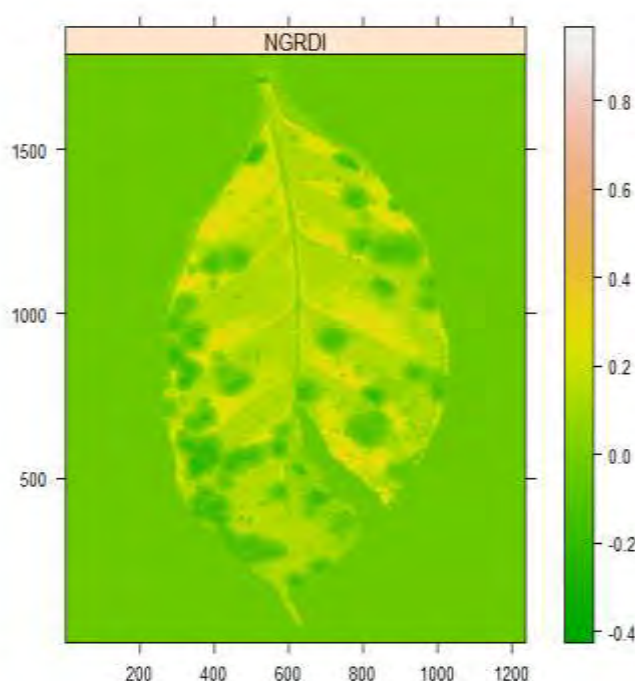


Figura 3. Umbral de color basados en los colores RGB (Rojo, verde y azul) que permite conocer el color que detecta pústulas de *H. vastatrix* con mayor exactitud.

El paquete Pliman R

Este paquete está diseñado para realizar varios análisis en fotografías de hojas de plantas, que incluyen medir el área, contar objetos en una imagen, calcular el área sintomática de la enfermedad, extraer los valores RGB para cada objeto en una imagen mediante distintos índices de color y calcular las medidas de los objetos (Olivoto et al. 2022).

Script Pliman (software R Studio) para-*H. vastatrix*

Una vez establecidas las muestras S, I y F, la selección de las áreas de las hojas se realizó de forma automática. La versión estable actual del paquete (0.3.0) requiere R 4.1.0 y se puede instalar directamente a través de la consola R usando: `install.packages` bajo la metodología de Olivoto et al. (2022).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza ANOVA y una prueba de Tukey para comparar diferencias significativas entre pruebas con valor de $p < 0.05$ en R Studio para comparar las diferentes etapas de validación y precisión de los resultados.

Resultados y discusión

Eficacia de los índices de color en la detección de enfermedades de plantas

El uso de índices de color para la detección de la severidad de *H. vastatrix* es relativamente nuevo, en este estudio se obtuvieron 25 índices basados en los colores RGB (Rojo, verde y azul), se seleccionó el código de NGRDI el cual detectó mejor las pústulas de la roya de café. Según el trabajo de Olivoto *et al.* (2022), los índices basados en combinaciones específicas de los colores RGB pueden resaltar diferencias sutiles en la reflectancia de las hojas, facilitando la detección de síntomas de enfermedades. En particular, el índice NGRDI ha demostrado ser efectivo en este estudio para resaltar el tejido infectado, lo cual es consistente con otros estudios que han utilizado índices de vegetación para detectar estrés y enfermedades en plantas (Rivadeneira y Huamán, 2021). En otros estudios el NGRDI lo utilizan como parte de un método para mejorar la detección de malezas gramíneas en campos de arroz (Barrero y Perdomo, 2018).

Cabe destacar que se intentó realizar el análisis de severidad de *H. vastatrix* en el programa de ImageJ con el script Rust mediante el software gratuito de imágenes Fiji, es uno de los programas más utilizados para la medición de las pústulas de roya en trigo, además es reconocido en la comunidad científica que permite la evaluación de enfermedades mediante la transformación de color utilizando la medición de píxeles basadas en un umbral para calcular el área foliar de algunos cultivos de cereales (Gallego-Sánchez *et al.*, 2020), sin embargo, para este estudio no se pudieron realizar ya que no detectaba las pústulas pequeñas de la roya de café y también tiene dificultades para distinguir las hojas de su fondo utilizando un solo umbral (Easlon y Bloom, 2014; Alheeti *et al.*, 2021).

Cabe destacar que a cada una de las hojas (sanas e infectadas) se les realizaron análisis del tejido infectado (Figura 4A; Figura 5A) y sano (Figura 4B; Figura 5B), para conocer si las pruebas detectaban el tejido correctamente.

Tanto en hojas sanas (Figura 4) como en las infectadas (Figura 5), la prueba p4 fue significativamente distinta a la p1 $p < 0.05$).

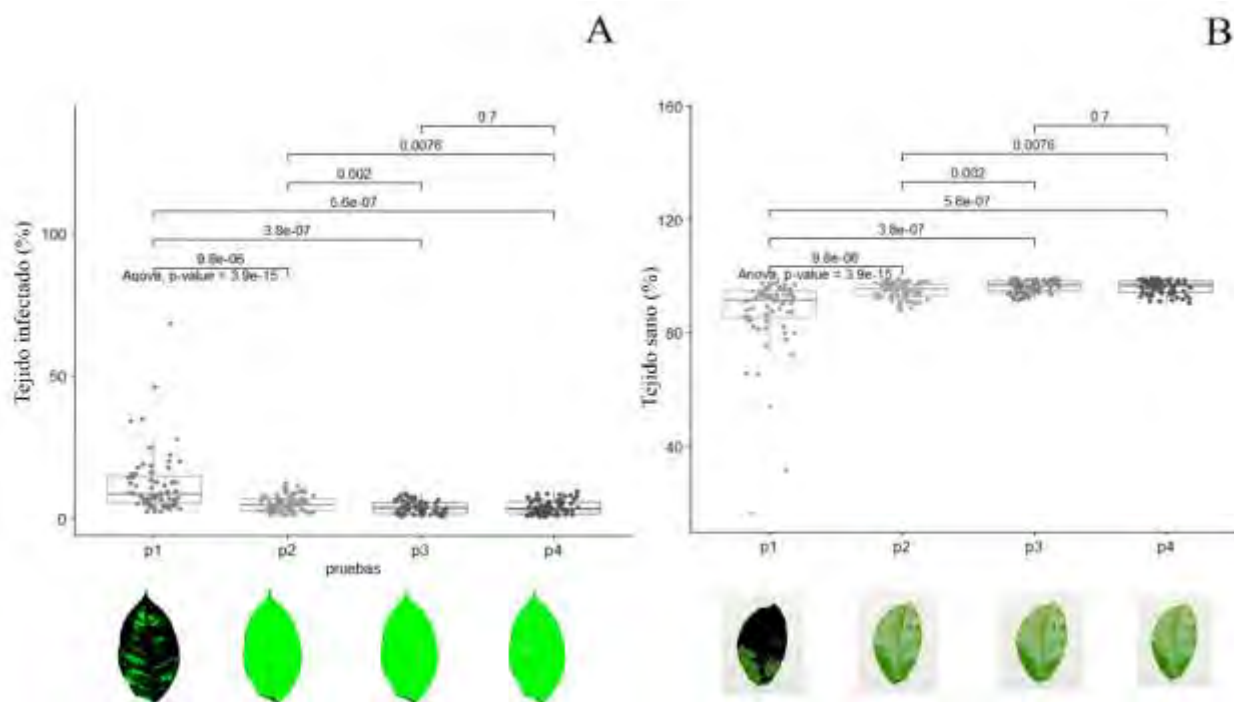


Figura 4. En hojas sanas se observa tejido infectado y tejido sano de las diferentes pruebas de entrenamiento de Pliman (p1-p2-p3-p4). Se indica en la parte superior las diferencias significativas entre las pruebas ($p < 0.05$).

Esto podría deberse a las capturas de recortes de las fotografías de tejidos sanos (S), infectados (I) y fondo (F) de las imágenes. En la primera etapa (p1) se seleccionó una sola muestra en comparación a la tercera (p3) en donde se obtuvieron 122, 74 y 187 capturas de imagen respectivamente. Cabe destacar que, aunque no hubo diferencias significativas entre p3 y p4, esta última no requiere muestras de imágenes de los distintos tejidos, debido a que los índices que utiliza Pliman solo consideran los valores RGB de una fotografía para distinguir el tejido sano e infectado, lo cual permite reducir los tiempos de trabajo, ya que es posible realizar el proceso de las imágenes con mayor rapidez.

En las segundas pruebas, p1 y p2 detectaron la nervadura como sintomático, debido a que *H. vastatrix* tiene una coloración amarilla muy parecida a este tejido (Figura 5^a), por lo que es probable que este tipo de error sea la razón de cuantificar falsos positivos, de acuerdo a Barbedo, (2014), quien eliminó el pecíolo y la nervadura de algunas hojas de café mediante un radio de dos píxeles para evitar que el algoritmo los contara erróneos de la nervadura como sintomático. Por ello, fue necesario realizar capturas digitales precisas y colocarlos en la toma de muestra de imágenes de tejido sano, para que Pliman pudiera realizar un mejor análisis y el programa pueda detectar los síntomas de las hojas de café con mayor exactitud. También, se han reportado fenómenos similares en la precisión de las estimaciones manuales de la gravedad de la enfermedad, realizadas por evaluadores individuales como Leaf Doctor (Pethybridge y Nelson, 2015; Bock *et al.*, 2020). Por lo que a medida que se incrementan las muestras y se optimizan los parámetros, es consistente con la literatura que sugiere que un mayor número de muestras y refinamiento de parámetros mejoran la precisión en la detección de enfermedades.

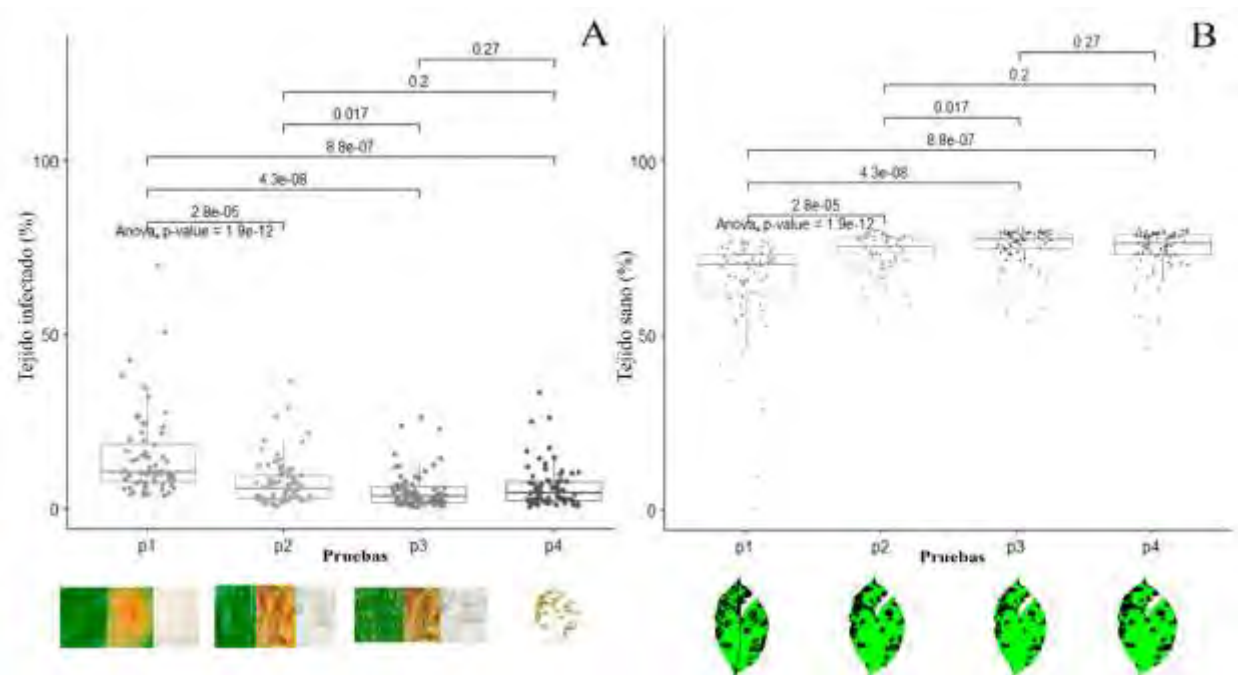


Figura 5. En hojas infectadas por *H. vastatrix* se observa tejido infectado y tejido sano de las diferentes pruebas de entrenamiento de Pliman (p1-p2-p3-p4). Se indica en la parte superior las diferencias significativas entre las pruebas ($p < 0.05$).

El uso del paquete Pliman en R para automatizar el análisis de imágenes es una práctica cada vez más común en la fitopatología. Pliman permite realizar análisis complejos de imágenes, como medir áreas, contar objetos, y extraer valores RGB, de manera eficiente y precisa. La metodología aplicada en este estudio muestra cómo las herramientas computacionales pueden facilitar la detección precisa y rápida de enfermedades, lo cual es esencial para la gestión integrada de plagas y enfermedades en la agricultura.

En la p1 se observa el porcentaje de área afectada que varía desde 26.61% hasta 78.38%. Esto sugiere que estas hojas están gravemente afectadas por *H. vastatrix*, sin embargo, este resultado es inexacto ya que se observan tejido sano que lo detecta como infectado. En la p2, las hojas tienen menos porcentaje de tejido infectado en comparación con la primera prueba, los porcentajes oscilan entre 0.89% y 36.36%. La p3, las áreas afectadas son más pequeñas y los porcentajes varían desde 0.53% hasta 25.84%. La p4, varía 0.48% hasta 33.44%. (Figura 6).

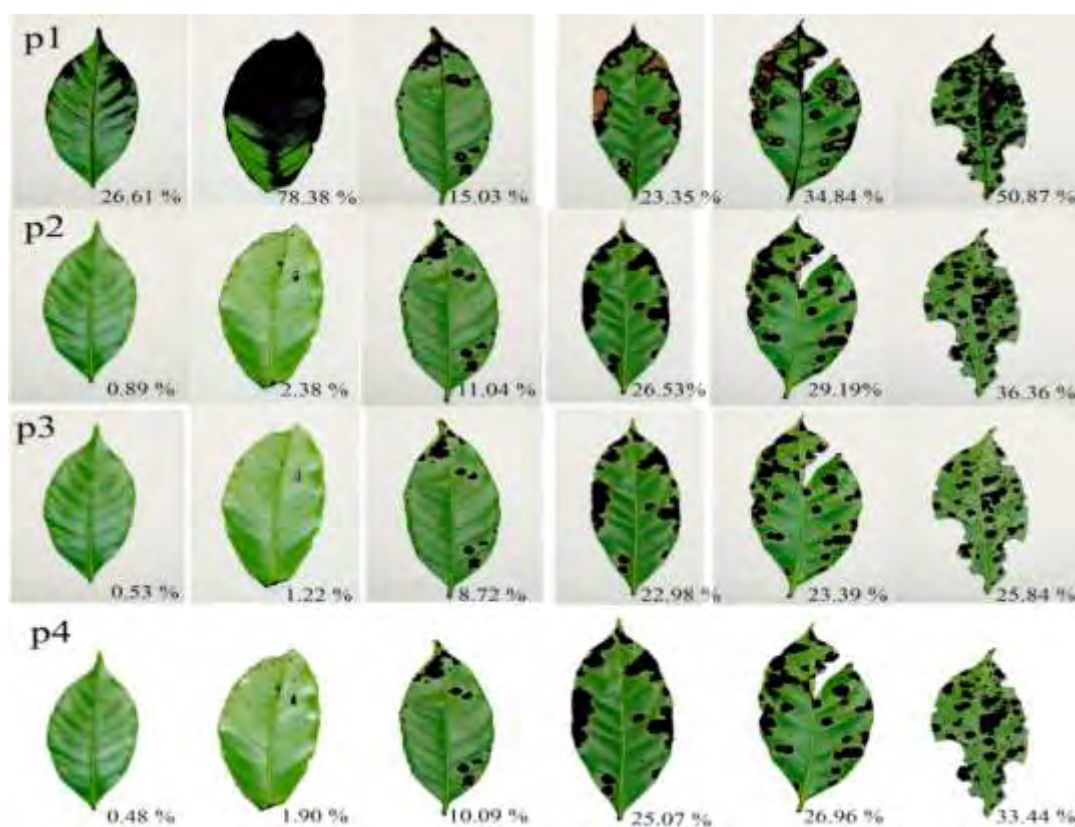


Figura 6. Diagrama del porcentaje de severidad de *H. vastatrix* de las distintas pruebas de validación (p1-p4), comparando la precisión de la detección de las pústulas.

Actualmente en la investigación estas clasificaciones generalmente se derivan de evaluaciones visuales el uso de diagramas de área infectada se utilizan como herramientas de evaluación, sin embargo, carecen de exactitud, precisión y confiabilidad, actualmente se están utilizando programas que mejora significativamente la precisión de estimar la gravedad de manera más cuantitativa. Los diagramas de área estándar son evaluaciones de los síntomas de las enfermedades de las plantas, en café se han realizado por estimación visual (Melo *et al.*, 2020). En México, SAGARPA realiza siete clases en su escala diagramática para severidad en hoja con un porcentaje menor de 0% y mayor al 70% (Calderón, 2016) y en Colombia, CENICAFE tiene una serie de 15 imágenes para la estimación visual el cual el oscila entre 0.05% y 80.0%, asignando una marca de clase de puntos medios del 1.0%, 2.0%, 4.0%, 8.0%, 16.0%, 32.0% y 64.0% de severidad (López-Vásquez *et al.*, 2018). En este estudio se realizaron seis evaluaciones de área afectada en las cuatro pruebas para detectar los síntomas de *H. vastatrix* y la evaluación más precisa fue la p4 con el mayor porcentaje de 33.44% y la menor con 0.48%.

Por lo tanto, con esta prueba se está realizando una evaluación confiable, cuantitativa y precisa para detectar la presencia de *H. vastatrix* en hojas de café, la cual puede ser reproducible para seguir monitoreando a la roya en campo (Maloof *et al.*, 2013) determinar la pérdida de hojas, fruto y muerte de la rama, así como de la planta, mejorar el conocimiento de la epidemiología de la enfermedad, y evaluar el efecto de los tratamientos (Bock *et al.*, 2022). El método propuesto por Pliman es ideal para situaciones en las que la velocidad es importante o cuando se debe procesar una gran cantidad de imágenes. Este paquete puede mejorar la precisión de la detección de *H. vastatrix* cuantitativamente y fortalecer los monitoreos de la enfermedad en variedades susceptibles.

Comparando este enfoque con métodos tradicionales de detección de enfermedades, como la inspección visual y el uso de espectroscopía de reflectancia, la metodología basada en NGRDI y análisis de imágenes presenta ventajas claras en términos de rapidez, precisión y capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos. La inspección visual puede ser subjetiva y dependiente de la experiencia del observador, mientras que la espectroscopía de reflectancia, aunque precisa, puede ser costosa y requiere equipo especializado.

A pesar de los resultados positivos, es importante considerar algunas limitaciones. La metodología puede ser influenciada por variaciones en la iluminación y las condiciones

ambientales durante la toma de fotografías. Además, aunque el NGRDI fue preciso en este estudio, su eficacia puede variar con otras variedades de café o plantas. Futuras investigaciones podrían centrarse en la validación de este índice en diferentes condiciones y con otras especies vegetales para generalizar su aplicabilidad.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el índice NGRDI es una herramienta eficaz para la detección de la roya del café, ofreciendo una precisión superior y objetiva en la identificación de áreas infectadas. Con el paquete Pliman se logró evaluar la severidad de *H. vastatrix* en hojas de café y se determinó que las mejores validaciones son p3 y p4.

Literatura citada

- Alheeti, A. A. M., Farhan, M. A., Al-Saad, L. A., y Theer, R. M. 2021. Evaluation of the Performance of ImageJ, Leaf Doctor Applications, and Visual Assessments in Measuring Severity of Two Leaf Spot Diseases. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 761(1):012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/761/1/012030>.
- Alvarado-Castillo, G., Benítez-Badillo, G., Lozada-García, J. A., Ortiz-Ceballos, G. C., y Torres-Pelayo, V. 2017. Uredospores' mycelium germination inhibition of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) through three alternative compounds: First study. Wulfenia Journal, 24(2):65-78.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., *et al.*, Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., y Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Security, 7(2):303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>.

- Barbedo, J. G. A. 2014. An Automatic Method to Detect and Measure Leaf Disease Symptoms Using Digital Image Processing. *Plant Disease* 98(12):1709-1716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-14-0290-RE>.
- Barrero, O., y Perdomo, S. A. 2018. RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. *Precision Agriculture* 19(5):809-822. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>.
- Bock, C. H., Barbedo, J. G. A., Del Ponte, E. M., Bohnenkamp, D., y Mahlein, A.-K. 2020. From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: Status and challenges for improving accuracy. *Phytopathology Research* 2(1):9. <https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8>.
- Bock, C. H., Chiang, K.-S., y Del Ponte, E. M. 2022. Plant disease severity estimated visually: A century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology* 47(1):25-42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>
- Cabral, P. G. C., Zambolim, E. M., Zambolim, L., Lelis, T. P., Capucho, A. S., y Caixeta, E. T. 2009. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes* 4(1):129-130. <https://doi.org/10.1071/DN09052>.
- Calderón, G. 2016. *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome Ficha Técnica No. 40. 23.
- Easlon, H. M., y Bloom, A. J. 2014. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in plant sciences* 2(7):1400033. <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>.
- Gallego-Sánchez, L. M., Canales, F. J., Montilla-Bascón, G., y Prats, E. 2020. RUST: A Robust, User-Friendly Script Tool for Rapid Measurement of Rust Disease on Cereal Leaves. *Plants* 9(9):1182. <https://doi.org/10/ghqbmj>.

- Gichuru, E. K., Ithiru, J. M., Silva, M. C., Pereira, A. P., y Varzea, V. M. P. 2012. Additional physiological races of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) identified in Kenya. *Tropical Plant Pathology* 37:424-427. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000600008>.
- Huaman, A. 2021. Influencia de la sombra y fertilización en la resistencia de clones élitos *Coffea arabica* L. ante la incidencia y severidad de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería* 4(1):36-43. <https://doi.org/10/gnpqzt>.
- López-Vásquez, J. M., Marín-Ramírez, G., Gaitán, A., y Carlos Ariel, Á. 2018. Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafe* 498: 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0498>.
- Maloof, J. N., Nozue, K., Mumbach, M. R., & Palmer, C. M. 2013. LeafJ: An ImageJ plugin for semi-automated leaf shape measurement. *JoVE. Journal of Visualized Experiments*, 71, e50028.
- Melo, V., Mendonça, A., Souza, H., Cavanha Gabriel, L., Bock, C., Eaton, M., *et al.* 2020. Reproducibility of Development and Validation Process of Standard Area Diagram by Two Laboratories: An Example Using the *Botrytis cinerea*/*Gerbera jamesonii* Pathosystem. *Plant Disease* 104. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-19-1708-RE>.
- Mutka, A. M., y Bart, R. S. 2015. Image-based phenotyping of plant disease symptoms. *Frontiers in Plant Science* 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00734>.
- Muttappagol, M., Chaithra, M., y Patel, P. 2022. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix* at major coffee producing regions of Karnataka. *Food and Scientific Reports* 3(02):37-39.
- Olivoto, T., Andrade, S. M. P., y M. Del Ponte, E. 2022. Measuring plant disease severity in R: Introducing and evaluating the pliman package. *Tropical Plant Pathology* 47(1):95-104. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00487-5>.

Pethybridge, S. J., y Nelson, S. C. 2015. Leaf Doctor: A New Portable Application for Quantifying Plant Disease Severity. *Plant Disease* 99(10):1310-1316. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0319-RE>.

Rivadeneyra Bustamante, B. D., y Huamán Bustamante, S. G. 2021. Method of Anomalies Detection in Persea Americana Leaves with Thermal and NGRDI Imagery. p. 287-296. *In: Y. Iano, R. Arthur, O. Saotome, G. Kemper, & A. C. Borges Monteiro (Eds.), Proceedings of the 5th Brazilian Technology Symposium. Springer International Publishing.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-57566-3_28.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9(7):671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

FISIOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y COMPOSTA

César Augusto Hernández Pérez¹⁸, Josafhat Salinas Ruiz¹⁸, Aleida Selene Hernández Cázares¹⁸,
Daniel Arturo Rodríguez Lagunes¹⁹ y Joel Velasco Velasco¹⁸

Resumen

La fertilización química es la práctica más utilizada en la agricultura para incrementar el rendimiento de los cultivos. El uso excesivo de fertilizantes químicos genera un aumento en el contenido de nitrato en el suelo, lo que provoca una baja productividad de los cultivos. Una alternativa sustentable, es el uso de abonos orgánicos también conocidos como biofertilizantes. El objetivo de esta investigación es optimizar la eficiencia del uso del nitrógeno en caña mediante la combinación de composta y nitrógeno mineral, evaluando el uso combinado de composta y N-mineral en variables fisiológicas y el rendimiento de caña. Se empleó el cultivar (cv.) Mex 69-290 de caña para evaluar los siguientes tratamientos (Trat): Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las variables respuesta estudiadas fueron número de tallos por cepa, altura de tallo, diámetro de tallo e índice de clorofila a los tres, seis y nueve meses del cultivo; también se determinó el rendimiento de caña. La evaluación de diferentes combinaciones de composta con nitrógeno mineral sobre el desarrollo y rendimiento del cultivar Mex 69-290 (*Saccharum* spp.) presentaron diferencias estadísticas significativas para el número de tallos por cepa, altura de tallo moledero, diámetro de tallo moledero, índice relativo de clorofila y rendimiento del cultivo. El Trat 2 (282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha), seguido del Trat 3 (188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha) mostraron mayor rendimiento y mejor desarrollo del cv. MEX 69-290 respecto a los demás tratamientos. Este resultado sugiere que la combinación de composta con urea, aunado a las a todas las labores de cultivo, podrían hacer que el cultivar estudiado alcance su potencial productivo.

Palabras clave: sustentable, eficiencia, combinaciones, Cultivo

¹⁸ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba.

¹⁹ Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. *Autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo de importancia mundial, este proporciona alrededor de 80% del azúcar que se consume en todo el mundo. Además, es utilizado para la producción de bioetanol y otros subproductos (Sentíes-Herrera *et al.*, 2017; Mustafa *et al.*, 2018). En caña de azúcar, la aplicación de herbicidas y fertilizantes minerales solubles han sido las prácticas agrícolas más utilizadas (Stamford *et al.*, 2016). Sin embargo, la producción de fertilizantes solubles tiene un alto costo en términos de uso de energía e impacto ambiental, causando problemas socioeconómicos y ecológicos (Junior y de Carvalho 2015).

Los abonos y biofertilizantes en la agricultura pueden ser una alternativa para hacer frente a este problema, al reducir y eficientizar el uso de fertilizantes nitrogenados minerales como la urea, el sulfato de amonio y el nitrato de amonio, entre otros (de Mendonça *et al.*, 2018). El uso de biofertilizantes normalmente es utilizado para promover el crecimiento y rendimiento de la planta cuando se aplican a la semilla, la superficie de la planta o el suelo (Raghuwanshi, 2012). Además, se ha demostrado que mejoran el crecimiento del sistema de raíces, prolongan su vida, degradan los materiales dañinos en el suelo, aumentan la supervivencia de las plántulas y reducen el tiempo de floración (Youssef *et al.*, 2014). Otro aspecto beneficioso es que después del uso continuo de biofertilizantes durante 3 a 4 años, no hay necesidad de aplicarlos, ya que los inóculos parentales de los microorganismos presentes en ellos son suficientes para el crecimiento y la multiplicación (Bumandalai y Tserennadmid, 2019).

El uso de estrategias de manejo agroecológico tales como: abonos orgánicos y biofertilizantes se han estudiado en especies como maíz (*Zea mays* L.) (Dineshkumar *et al.*, 2019), trigo (*Triticum aestivum* L.) (Mahato *et al.*, 2018), ginseng americano (*Panax quinquefolius* L.) (Liu *et al.*, 2020) y arroz (*Oryza sativa* L.) (Wangiyana *et al.*, 2021). El objetivo de esta investigación es optimizar la eficiencia del uso del nitrógeno en caña mediante la combinación de composta y nitrógeno mineral, evaluando el uso combinado de composta y N-mineral en variables fisiológicas y el rendimiento de caña.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en la propiedad de un productor, ubicada en San José de Gracia, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, a una latitud de 18.834696 N, longitud - 96.862038 O y altitud de 650 m. La región presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano, cuenta con una precipitación media de 1900 mm y una temperatura media anual de 20°C.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue bloques al azar con cinco repeticiones, teniendo 40 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo cinco surcos de 1 m de separación. El ciclo de cultivo fue de 345 días. El cultivar utilizado fue Mex 69-290, y la fuente de nitrógeno fue urea mientras que el abono fue composta, en las siguientes dosis: Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las variables respuesta fueron el número de plantas por cepa, altura de tallo moledero, diámetro de tallo moledero e índice relativo de clorofila a los tres, seis y nueve meses del cultivo, y se determinó el rendimiento del cultivo.

Elaboración de composta

Se realizaron pilas estáticas de compostaje de 50% cachaza y 50% estiércol ovino. Se realizó aireación manual en un piso de concreto. La pila se mantuvo con un porcentaje de humedad de 65% y se realizaron volteos periódicos de forma manual cada semana durante tres meses.

Análisis físico y químico de la composta

El análisis físico químico para la caracterización y diagnóstico de la fertilidad de la composta se realizaron de acuerdo con los métodos establecidos en la norma mexicana NOM-021-RECNAT-2000. La determinación de pH (agua 1:2, v/v), CE (agua 1:5, v/v) y materia orgánica se realizaron por el método de Walkley y Black, nitrógeno total por el método de Kjeldahl, textura del suelo por el método de Bouyoucos, y fósforo por el método de Olsen. La capacidad

de intercambio catiónico y las bases intercambiables se cuantificaron con acetato de amonio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}) y la determinación de micronutrientes con ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA) (Fe, Mn, Zn y Cu). Las muestras del suelo (M1, M2 y M3) utilizado en la investigación está categorizado como bajo en contenido de nutrientes del suelo, como lo indica un contenido bajo de MO y bajo en contenido de N, P y K (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de nutrientes de la composta.

Muestra	N	CO	CaCO ₃	MO	A	L	R	Clase	CIC	Na	K	Ca	Mg	P	pH
	%							Textural	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹				mgKg ⁻¹	CaCl ₂	
Composta	1.966	10.9	5.17	18.79	51.6	34.3	14.1	Franco	44.93	1.27	0.4	9.03	44.61	62.8	7.1

Índice relativo de clorofila

Esta variable se estimó mediante un método no destructivo, empleando un sensor de clorofila portátil Soil Plant Analysis Development SPAD-502 Plus, de Minolta Corporation, Ramsey, Japón. El equipo fue calibrado con una prueba de lectura, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Las lecturas se realizaron durante el mes tres, seis y nueve del cultivo en la hoja +1 (papada superior visible), de 15 plantas sanas y representativas de cada unidad experimental.

Análisis estadístico

Los datos de las variables evaluadas fueron analizados bajo un modelo de bloques completos al azar, utilizando la herramienta GLIMMIX de SAS (Statistical Analysis System® versión 9.2). El análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó por el método LSD (Least significant difference) de Fisher con un nivel de significancia del 5% con ajuste de los grados de libertad con el método de Kenward-Rogers.

Resultados y Discusión

Al evaluar el efecto de las diferentes combinaciones de composta con nitrógeno mineral sobre el desarrollo y rendimiento del cultivar Mex 69-290 (*Saccharum spp.*) se observaron diferencias significativas para el número de tallos por cepa, altura de tallo moledero, diámetro de tallo moledero, índice relativo de clorofila y rendimiento del cultivo.

Número de tallos por cepa: A los 3 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.006$, el mayor número de tallos por cepa se encontró en el Trat 3 con un promedio de 15.02 ± 0.76 tallos por cepa. A los 6 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.149$, el mayor número de tallos por cepa se encontró en el Trat 3 con un promedio de 11.47 ± 0.37 tallos por cepa. A los 9 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.018$, el mayor número de tallos por cepa se encontró en el Trat 1 con un promedio de 9.60 ± 0.34 tallos por cepa, seguido de los Trat 2 y 4 con un promedio de 8.95 ± 0.37 y 9.20 ± 0.39 tallos por cepa, respectivamente (Figura 1).

Nisi *et al.*, (2023) señalan que una combinación de fertilizantes orgánicos y niveles de nitrógeno puede tener interacciones positivas para el desarrollo y macollamiento de la planta. Por otro lado, para Kumar, *et al.*, (2024) un mejor sistema radicular contribuye a un mejor hinchamiento y brotación de las yemas de la caña.

En este estudio, el aumento de número de tallos por cepa podría deberse a la interacción de la fertilización mineral junto con la fertilización orgánica, brindando una mejor brotación y desarrollo de la caña. Otros estudios reportan resultados similares; de Oliveira *et al.*, (2023) mencionan que la caña de azúcar muestra una respuesta positiva en el incremento del número de macollos cuando se aplica nitrógeno orgánico. En otro estudio Mógor *et al.*, (2022) obtuvieron que, la inmersión de los propágulos en la suspensión de la biomasa de la microalga verde *Asterarcys quadricelulare* (CCAP 294/1) mejoró el porcentaje de brotación de yemas y promovió un crecimiento notable de los brotes.

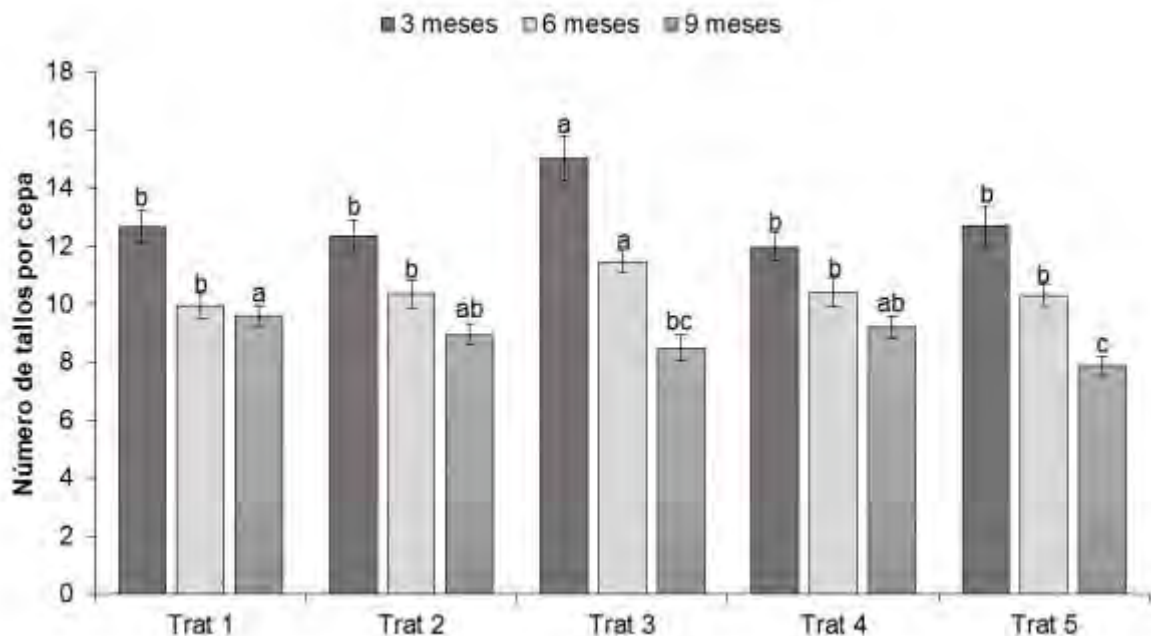


Figura 1. Tallos por cepa de caña de azúcar nutrida con la combinación de N mineral y composta a lo largo del ciclo de cultivo. Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0 kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94 kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las barras sobre las columnas representan el error estándar. Medias con diferente letra son significativamente diferentes.

Altura y diámetro de tallo moledero: A los 3 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.000$, la mayor altura de tallo se encontró en el Trat 3, con un promedio de 31.80 ± 0.60 cm de longitud. A los 6 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.138$, la mayor altura de tallo se encontró en el Trat 3 (con un promedio de 119.18 ± 1.69 cm de longitud, seguido de los Trat 5 y 2 con un promedio de 116.94 ± 1.89 y 115.55 ± 1.91 cm de longitud, respectivamente. A los 9 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.000$, la mayor longitud de tallo se encontró en los Trat 3 y 4 con un promedio 231.15 ± 2.85 y 235.48 ± 2.60 cm de longitud, respectivamente (Figura 2). Para la variable diámetro de tallo, a los 3 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.261$, los diámetros de mayor longitud se

encontraron en los Trat 4 y 1, con un promedio de 1.37 ± 0.37 y 1.35 ± 0.38 cm de longitud, respectivamente, seguidos de los Trat 2 y 3 con un promedio de 1.30 ± 0.32 y 1.33 ± 0.35 cm de longitud, respectivamente.

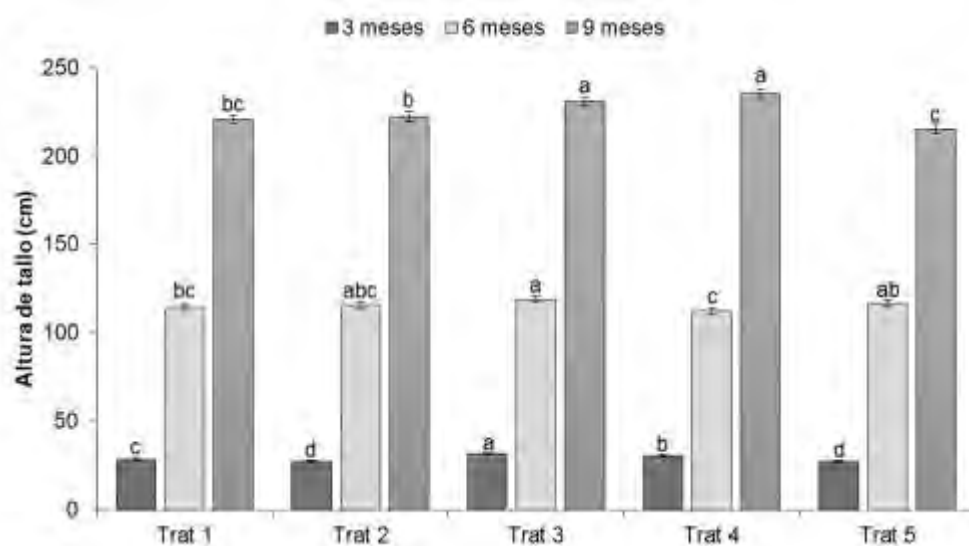


Figura 2. Altura de tallo de caña de azúcar nutrida con la combinación de N mineral y composta a lo largo del ciclo de cultivo. Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0 kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94 kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat. 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las barras sobre las columnas representan el error estándar. Medias con diferente letra son significativamente diferentes.

A los 6 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.004$, los diámetros de mayor longitud se presentaron en los Trat 1, 2, 3 y 5, con un promedio de diámetro de tallo de 2.71 ± 0.50 , 2.71 ± 0.50 , 2.71 ± 0.52 y 2.63 ± 0.52 cm de longitud, respectivamente. A los 9 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.000$, los diámetros de mayor longitud se presentaron en el Trat 3 con un promedio de 3.73 ± 0.30 cm de longitud. (Figura 3).

En este estudio se observó un incremento en la altura y diámetro del tallo moledero. El aumento de la altura y diámetro en caña de azúcar ha sido reportado por Mattos Abreu *et al.*, (2021); estos autores observaron que el crecimiento de las plántulas de caña de azúcar se vio

impactado por las dosis de composta y la inoculación de HMA. Wibisana *et al.*, (2020) encontraron que el uso de composta de cachaza a una dosis de 5 t/ha fue más eficiente en el crecimiento y rendimiento de la caña de azúcar, manifestado en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de tallos y longitud de entrenudos. Puspitasari *et al.*, (2022) mencionan, que la altura y el diámetro del tallo, así como el número de tallos, se correlacionaron con la productividad de la caña de azúcar y cuanto mayor sea el diámetro o tamaño del tallo, mayor será el proceso de absorción de nutrientes y la formación de la fotosíntesis.

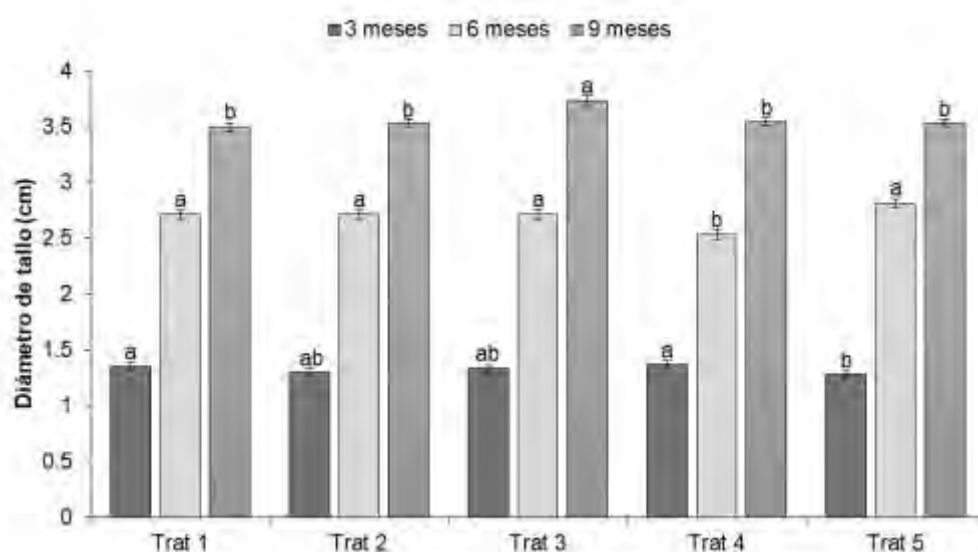


Figura 3. Diámetro de tallo de caña de azúcar nutrida con la combinación de N mineral y composta a lo largo del ciclo de cultivo. Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0 kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94 kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las barras sobre las columnas representan el error estándar. Medias con diferente letra son significativamente diferentes.

Por otro lado, Djajadi *et al.*, (2020) demostraron que la interacción de lombricomposta y fertilizante nitrogenado tuvo efectos significativos sobre el desarrollo del tallo de caña de azúcar sembrada en macetas con suelo salino después de 2, 3 y 4 meses. Ranjan *et al.*, (2020) mencionan que, el uso de biofertilizantes además de abonos orgánicos mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo determinando el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

Índice relativo de clorofila: A los 3 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.004$, el mayor índice relativo se encontró en el Trat 2, con un promedio de 39.53 ± 0.42 SPAD, seguido del Trat 3 con un promedio de 38.69 ± 0.46 SPAD. A los 6 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.001$, el mayor índice relativo se encontró en los Trat 1 y 2, con un promedio de 39.16 ± 0.56 y 39.38 ± 0.38 SPAD, respectivamente. A los 9 meses del desarrollo del cultivo se observó diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.095$, el mayor índice relativo se encontró en los Trat 2, 4 y 5 con un promedio de 39.00 ± 0.36 , 38.73 ± 0.36 y 38.80 ± 0.35 SPAD, respectivamente (Figura 4).

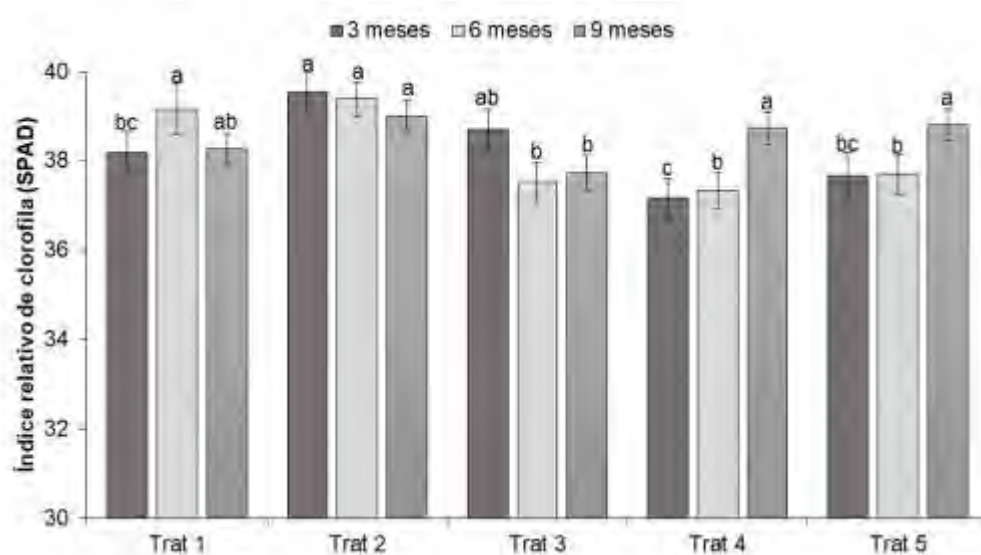


Figura 4. Índice relativo de clorofila de caña de azúcar nutrida con la combinación de N mineral y composta a lo largo del ciclo de cultivo. Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0 kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94 kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las barras sobre las columnas representan el error estándar. Medias con diferente letra son significativamente diferentes.

El aumento del índice relativo de clorofila podría estar asociado a una mayor cantidad de nitrógeno combinado, como se observa en los tratamientos dos y tres, mientras que en la etapa adulta otros tratamientos sobresalen, lo que podría estar relacionado a la edad de la planta.

Suplito *et al.*, (2020) que mencionan que una mayor aplicación de nitrógeno proporciona un mayor contenido de clorofila, además, que las plantas jóvenes asimilan mayores dosis de N que las más viejas. Mientras que, Abd *et al.*, (2023) mostraron que existe una diferencia significativa en el contenido de clorofila en las hojas por efecto de los niveles de biofertilizante, a lo que a ellos atribuyen que puede deberse a que el aumento del bioestimulador desempeña un papel en el aumento del procesamiento de nutrientes, incluidos el hierro y el biomanganeso, que se consideran elementos importantes en la molécula de clorofila de las hojas. En palma aceitera (*Elaeis Guineensis*), Ajeng *et al.*, (2020) obtuvieron que el tratamiento combinado de fertilizante químico con los biofertilizantes muestra una respuesta positiva sobre el contenido de clorofila de las plantas.

Rendimiento de campo: Los resultados de rendimiento se presentan diferencia estadística significativa con un valor de $p = 0.604$ se observó en la variable rendimiento de tallos molederos entre tratamientos. El Trat 2 mostró el mayor rendimiento con 114.95 ± 2.76 t/ha, seguido del Trat 3 con 114.10 ± 4.08 t/ha (Figura 5).

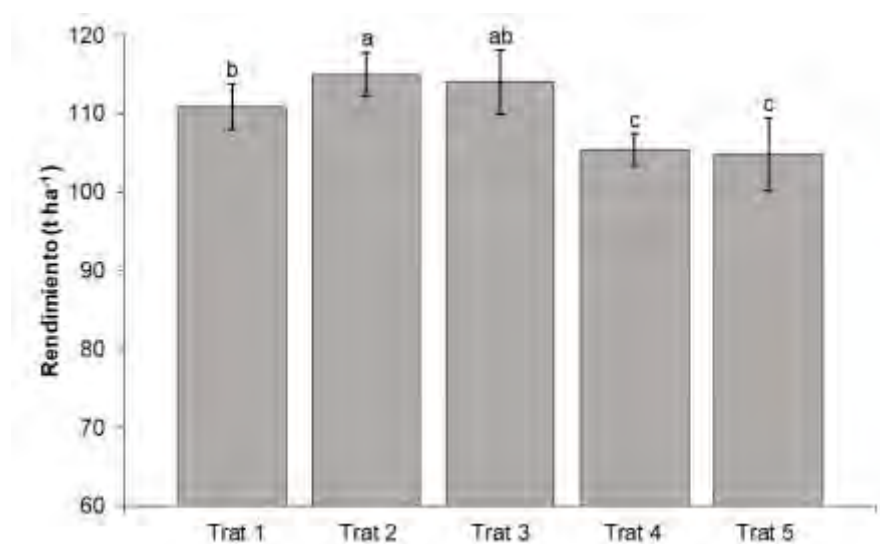


Figura 5. Rendimiento de campo de caña de azúcar (t/ha) nutrida con la combinación de N mineral y composta a lo largo del ciclo de cultivo. Trat 1) 375 kg N-mineral/ha + 0 kg composta/ha, Trat 2) 282 kg N-mineral/ha + 5 t composta/ha, Trat 3) 188kg N-mineral/ha + 10 t composta/ha, Trat 4) 94 kg N-mineral/ha + 15 t composta/ha y Trat 5) 0 kg N-mineral/ha + 20 t composta/ha. Las barras sobre las columnas representan el error estándar. Medias con diferente letra son significativamente diferentes.

En este estudio, el incremento del rendimiento podría haber sido por la aplicación de dosis de nitrógeno mineral junto con fertilizante orgánico. Al respecto, Sinha *et al.*, (2024) mencionan que la aplicación de NPK a través de fuentes orgánicas e inorgánicas junto con biofertilizantes resulta beneficiosa para obtener un mayor rendimiento de plantas. Por otra parte, dos Santos *et al.*, (2020) señalan que el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) es una alternativa prometedora en la producción de caña de azúcar para obtener rendimientos rentables. Al-Zubaidi *et al.*, (2020) demostraron que es viable reducir el 66% de la fertilización química y reemplazarla por biofertilizantes. Mahmud *et al.*, (2021) corroboran este dato, ya que menciona que el impacto de los biofertilizantes en la mejora del rendimiento oscila entre el 35% y el 65% aproximadamente.

Conclusiones

La combinación de N-mineral más composta mostraron efectos positivos en las variables fisiológicas evaluadas y en el rendimiento del cultivo. La disponibilidad de nitrógeno mineral incrementó el índice relativo de clorofila durante los primeros 6 meses del desarrollo del cultivo. La combinación de N-mineral más composta mejoró y la eficiencia en el uso del nitrógeno mineral lo cual se tradujo en mayor macollamiento, diámetro de tallo, altura de tallo y rendimiento de tallos molederos. La nutrición integral de N-mineral más composta, aunado a las a todas las labores de cultivo, podrían hacer que el cultivar estudiado alcance su potencial productivo.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la convocatoria ENASAS 2024-24 impartida por el Colegio de Postgraduados, clave del proyecto: CONV_ENASAS_2024_06.

Literatura citada

- Abd, H. A., Abbas, S. H. y Al-Zubaidy, S. A. A. H. 2023. Effect of different levels of bio fertilizer on growth and yield of sorghum genotypes. IOP Conference Series: Earth and Environmental. Science 1158(6): 062019.
- Ajeng, A. A., Abdullah, R., Malek, M. A., Chew, K. W., Ho, Y. C., Ling, T. C. *et al.* 2020. The effects of biofertilizers on growth, soil fertility, and nutrients uptake of oil palm (*Elaeis guineensis*) under greenhouse conditions. Processes 8(12):1681.
- Al-Zubaidi, M. S. K., Al-Zubaidi, N. A. J. y Al Mubarak, N. F. A. 2020. Effect of organic and biofertilizers on the vegetative traits of the sugarcane plant (*Saccharum officinarum* L.). Plant Archives 20(2):5653-5660.
- Bumandalai, O. y Tserennadmid, R. 2019. Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. International Journal of Aquatic Biology 7(2):95-99.
- de Mendonça, H. V., Martins, C. E., da Rocha, W. S. D., Borges, C. A. V., Ometto, J. P. H. B. y Otenio, M. H. 2018. Biofertilizer replace urea as a source of nitrogen for sugarcane production. Water, Air, & Soil Pollution 229(7):1-7.
- de Oliveira Junior, A. C., Silva dos Santos, L. N., Reis, M. N. O., Vitorino, L. C., Bessa, L. A., Teixeira, M. B. y Soares, F. A. L. 2023. Effect of Mineral and Organic Nitrogen Sources on Vegetative Development, Nutrition, and Yield of Sugarcane. Agronomy 13(6):1627.
- Dineshkumar, R., Subramanian, J., Gopalsamy, J., Jayasingam, P., Arumugam, A., Kannadasan, S., y Sampathkumar, P. 2019. The impact of using microalgae as biofertilizer in maize (*Zea mays* L.). Waste and Biomass Valorization 10:1101-1110.

- Djajadi, D., Syaputra, R., Hidayati, S. N. y Khairiyah, Y. 2020. Effect of vermicompost and nitrogen on N, K, Na uptakes and growth of sugarcane in saline soil. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* 42(1):110-119.
- dos Santos, R. M., Diaz, P. A. E., Lobo, L. L. B. y Rigobelo, E. C. 2020. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4:136.
- Junior, A. A. M. y de Carvalho Bueno, O. 2015. Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na ureia. *Energia na Agricultura* 30(4):442-447.
- Kumar, N., Sow, S., Rana, L., Kumar, V., Kumar, J., Pramanick, B. *et al.* 2024. Productivity, water use efficiency and soil properties of sugarcane as influenced by trash mulching and irrigation regimes under different planting systems in sandy loam soils. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8:1340551.
- Liu, N., Shao, C., Sun, H., Liu, Z., Guan, Y., Wu, L. *et al.* 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi biofertilizer improves American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) growth under the continuous cropping regime. *Geoderma* 363:114155.
- Mahato, S., Bhuju, S. y Shrestha, J. 2018. Effect of *Trichoderma viride* as biofertilizer on growth and yield of wheat. *Malays. J. Sustain. Agric.* 2(2):1-5.
- Mahmud, A. A., Upadhyay, S. K., Srivastava, A. K. y Bhojiya, A. A. 2021. Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. *Current Research in Environmental Sustainability* 3:100063.
- Mattos Abreu, G., Bobadilha, G. D. S., Guirardi, B. D., Abreu, P. M., de Souza Oliveira, N., Schiavo, J. A. *et al.* 2021. The influence of compost and arbuscular mycorrhizal fungi on sugarcane growth and nutrient uptake. *BioResources* 16(2):3005.

- Mógor, G., Mógor, Á. F., Lima, G. P. P., de Oliveira, R. A. y Bessalho Filho, J. C. 2022. Metabolic changes in sugarcane bud sprouting stimulated by microalga *Asterarcys quadricellulare*. *Sugar Tech* 24(3):930-940.
- Mustafa, G., Joyia, F. A., Anwar, S., Parvaiz, A. y Khan, M. S. 2018. Biotechnological interventions for the improvement of sugarcane crop and sugar production. p. 113-138. In IntechOpen (ed). *Sugarcane: Technology and Research*.
- Nisi, A., Charm, M., Bhatt, R. y Arora, S. 2023. Evaluation of the effect of different amounts of sugarcane waste compost on soil properties and sugarcane yield. *Journal of Soil and Water Conservation* 22(4):402-407.
- Puspitasari, A. R., Ariyani, D. y Putra, R. P. 2022. Agronomic Performance and Productivity of Plant-Cane Sugarcane Under The Application of Various Dosage of Biofertilizer and Inorganic Fertilizer. *Indonesian Sugar Research Journal* 2(2):56-66.
- Raghuwanshi, R. 2012. Opportunities and challenges to sustainable agriculture in India. *Nebio* 3(2):78-86.
- Ranjan, A., Jha, C. K. y Kumar, N. 2020. A review on effect of INM on sugarcane growth, yield and quality. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(1):2597-2605.
- Sentíes-Herrera, H. E., Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. C. 2017. The Mexican sugarcane production system: History, current status, and new trends. *Sugarcane: Production systems, uses and economic importance*:39-71.
- Sinha, S. K., Kumar, A. D., Kumari, A. y Singh, A. K. 2024. The Integrated Effect of Organic Manure, Biofertilizer and Inorganic Fertilizer on Soil Properties, Yield and Quality in Sugarcane Plant-ratoon System under Calcareous Soil of Indo-gangetic Plains of India. *Journal of Scientific Research and Reports* 30(5):193-206.

- Stamford, N. P., Simões Neto, D. E., Freitas, A. D. S. D., Oliveira, E. C. A., Oliveira, W. S. y Cruz, L. 2016. Rock biofertilizer and earthworm compost on sugarcane performance and soil attributes in two consecutive years. *Scientia Agricola* 73:29-33.
- Suplito, M. R., David, F. B. y Olalia, L. C. 2020. Relationship of vegetation indices and SPAD meter readings with sugarcane leaf nitrogen under Pampanga Mill District, Philippines condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 540(1):012016).
- Wangiyana, W., Aryana, I. G. P. M. y Dulur, N. W. D. 2021. Mycorrhiza biofertilizer and intercropping with soybean increase anthocyanin contents and yield of upland red rice under aerobic irrigation systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 637(1): 012087.
- Wibisana, D. L., Purwono, P. y Yahya, S. 2020. The application of filter cake compost to improve the efficiency of inorganic fertilizer in upland sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivation. *Planta Tropika* 8(2):93-102.
- Youssef, M. M. A. y Eissa, M. F. M. 2014. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes. A review. *Journal of Biotechnology and Pharmaceutical Research* 5(1): 1-6.

EFFECTO DEL PURÍN DE GALLINAZA SOBRE CRECIMIENTO Y CALIDAD DE *Morus alba* L. PARA FORRAJE

Miriam Belén Roquiz Ramirez²⁰, Marycruz Abato Zárate²⁰, Abel Rivas Contreras²¹,
Noel Reyes Pérez²⁰, Doris Guadalupe Castillo Rocha^{20*} y Luz Amelia Sánchez Landero²⁰

Resumen

El uso de abonos orgánicos es clave para una agricultura sustentable, mejorando la salud del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. El purín de gallinaza es un abono orgánico valioso debido a su alta concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar el purín de gallinaza y evaluar su efecto en diferentes concentraciones en el crecimiento y calidad de *Morus alba* L. para su uso como forraje. La investigación se llevó a cabo en una granja avícola integral sustentable “La Eterna Juventud” con un sistema de producción de *M. alba* L. (morera) para forraje verde y harina, utilizando purín de gallinaza como fertilizante orgánico. Se trabajó con seis productores del programa Escuelas de Campo en la Localidad de La Estanzuela, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz quienes consideran comercializar el purín como abono orgánico. Se evaluaron cuatro tratamientos de purín (0%, 5%, 10% y 15%) sobre el crecimiento de morera y las variables medidas fueron: incremento en altura, número de hojas, peso fresco y tamaño de las hojas. Para el análisis estadístico se usó la prueba de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95%; además se realizó el análisis bromatológico de la morera para conocer su calidad como forraje. El purín fue caracterizado mediante un análisis químico, tanto al término de su elaboración como un mes después, para verificar su estabilidad. Con las diferentes concentraciones de purín no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento. Sin embargo, en las variables bromatológicas, el tratamiento con 15% mostró un incremento significativo en el porcentaje proteico, mientras que el mejor porcentaje de materia seca y cenizas se obtuvo con el tratamiento 10% de purín. Los análisis del purín mostraron valores de 1900 mg/L de nitrógeno total, 645.1 mg/L de fósforo y 1100 mg/L de potasio en ambas fechas, con un pH de 5.66 (abril), 5.51 (mayo) y una conductividad eléctrica de 15.03 mS/cm (abril) y 18.58 mS/cm (mayo). Este estudio proporciona información útil sobre el concentrado de purín, que ayudará a los productores a realizar dosificaciones adecuadas en *M. alba* como forraje.

Palabras clave: sustentabilidad agrícola, calidad nutricional, gallinas

²⁰ Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa - Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: dcastillo@uv.mx

²¹ Granja la Eterna Juventud. La Estanzuela, Veracruz.

Introducción

Los abonos orgánicos han sido utilizados desde el inicio de la agricultura, destacando los residuos animales o vegetales (Bolívar, 2017, Delgado *et al.*, 2019). Los purines son abonos orgánicos y pueden ser la mezcla de excrementos sólidos y líquidos, aguas de limpieza de establos y restos de comida del ganado con distintos grados de dilución según el tratamiento que reciban en los pozos purineros, donde se acumulan y maduran para su mejor aprovechamiento (López *et al.*, 2013). Para el buen uso de estos purines se han desarrollado estudios para evaluar su potencial económico, de acuerdo con su contenido en nutrientes y la cantidad de estos elementos; en cuanto a su forma de disponibilidad para las plantas y también para la microflora de los suelos, siendo esta última responsable de los procesos biológicos que regulan toda la transformación de solubilización, movilización y almacenamiento de los macro y micronutrientes (Castro y Orozco, 2011). Entre los principales aportes de los purines está el contenido en nitrógeno que puede ser de 2 a 8%, niveles de 0.2 a 1% de fósforo y de 1 a 3% de potasio, todos ellos valores en base al peso seco de los purines (Demanet, 1995; Moreno, 2015). A pesar de ser antiguo el uso de los purines, en este siglo son una novedad ya que por muchos años se emplearon principalmente abonos inorgánicos para la producción de forrajes, pero actualmente se busca producir en forma sustentable y bajo un sistema de economía circular en las granjas avícolas. El presente trabajo, se desarrolló en una granja avícola que cuenta con producción de Morera (*Morus alba* L.) para forraje verde y concentrado por su contenido proteico y mineral, su digestibilidad y su palatabilidad (Castro y Orozco, 2011; Leyva, 2012; Vásquez y Maraví, 2017), en este cultivo se ha innovado la aplicación del purín de gallinaza como abono orgánico con la finalidad de aprovechar este material (Casas y Guerra, 2020) por lo anterior se planteó como objetivo caracterizar el purín de gallinaza y evaluar su efecto a diferentes concentraciones en el desarrollo y la calidad nutricional de *M. alba* con fines de forraje.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento fue desarrollado en la granja “La Eterna Juventud”, en la localidad de la Estanzuela, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. Ubicado en las coordenadas, 19°27'32" N y 96°51'37" W a 1,027 msnm. El clima es semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con una temperatura promedio de 25.2°C; la precipitación pluvial media anual es de 2,779.1 milímetros (INEGI, 2010). El suelo tiene un pH de 7, con un contenido de materia orgánica alto (4.9) y de textura Franco arcillo arenoso y una C.E. de 0.6 mS/cm.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se empleó morera blanca (*M. alba*) sembrada en traspatio desde hace seis años, fue obtenida en la Unidad de capacitación para el Desarrollo Rural # 2 (UNCADER), y se maneja con podas para su aprovechamiento.

Diseño y unidad experimental

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizó un área de 47.73 m², en un terreno de 4.30 m de ancho por 11.10 m de largo la plantación cuenta con 6 años de establecimiento. En la cual hubo 38 plantas con una distancia de siembra de 0.40 m entre plantas y 1 m entre hileras. La plantación cuenta con 6 años de establecimiento.

Concentrado de purín

El concentrado de purín fue preparado por los productores en el mes de abril con gallinaza de la granja agregando agua y jugo de limón (para disminuir olores). La mezcla se removió mañana y tarde durante 9 días y se dejó reposar el décimo día.

Tratamientos

Se evaluaron cuatro concentraciones de purín de gallinaza y cuatro repeticiones: Tratamiento 1 (T1) = Testigo, Tratamiento 2 (T2) = Purín al 5%, Tratamiento 3 (T3) = Purín al 10%, Tratamiento 4 (T4) = Purín al 15%.

Para evaluar el efecto del purín como abono sobre morera, al inicio del experimento las plantas se podaron de manera uniforme a 1.5 m de altura sobre el nivel del suelo. A los 30 días después de la poda de uniformidad se realizó una poda sanitaria por daño causado de necrosis que se presentó en este periodo, así mismo se cosechó una parte y se homogenizaron las plantas nuevamente, a una altura de 1.50. Se programaron las aplicaciones de los tratamientos de purín de gallinaza de forma foliar cada tercer día durante el ciclo del cultivo (91 días).

Para la aplicación de tratamientos se usaron aspersores manuales. La aplicación del purín se realizó durante el ciclo de cultivo primavera-verano 2023, en un periodo de 3 meses (abril, mayo, y junio).

Se evaluaron las siguientes variables de crecimiento: cada 15 días el Incremento en el número de hojas (conteo) y el incremento en altura de la planta con un flexómetro (cm). Por otro lado, cada mes fueron seleccionadas de manera aleatoria, tres hojas por tratamiento para medir el tamaño de hojas con regla (largo y ancho en cm) y peso fresco (g) con báscula digital multiusos marca Santul®.

Al final de experimento, para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de purín sobre la calidad del forraje se realizó el análisis bromatológico de la morera en fresco. Las muestras por tratamiento fueron enviadas Laboratorio de Agua-Suelo-Plantas (LASP) del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, obteniendo el porcentaje de proteína, materia seca y cenizas.

Para conocer las propiedades químicas del purín y caracterizarlo, se tomaron muestras a los 10 días posteriores a su elaboración y un mes después; las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelos del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) para que se realizaran los análisis químicos correspondientes.

Muestreos y cálculo de variables

Los muestreos para evaluar incremento en altura y número de hojas se realizaron cada 15 días, registrando el número de hojas nuevas y el incremento en altura de las plantas. Se obtuvieron los incrementos a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta x = x_{final} - x_{inicial}$$

Donde:

Δx = incremento de la variable (número de hojas/altura de la planta)

x_{final} = valor final de la variable (número de hojas/altura de la planta)

$x_{inicial}$ = valor inicial de la variable (número de hojas/altura de la planta)

Análisis estadístico

Los datos de las variables de crecimiento y calidad del forraje se analizaron considerando la dinámica de crecimiento a lo largo del tiempo y las diferencias observadas entre los tratamientos.

Para el análisis de los datos de la variable de crecimiento (altura de planta, incremento de hojas, tamaño y peso fresco) se aplicó un análisis no paramétrico ya que los datos no cumplieron los criterios de normalidad ni homocedasticidad de la varianza; lo anterior fue a través de la prueba de Kruskal Wallis a un nivel de confianza de 95%; para evaluar las diferencias entre tratamientos. El análisis se efectuó con el software estadístico MINITAB® Release 14.1.

Para evaluar la calidad del forraje y del purín se analizaron los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio.

Resultados y discusión

Efecto del purín en el crecimiento de *M. alba*

Los resultados del presente estudio indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento de *M. alba* para incremento en el número de hojas, tamaño de las hojas (largo y ancho), peso fresco de las hojas y altura de las plantas al aplicar diferentes concentraciones de purín de gallinaza (0%, 5%, 10%, y 15%), lo cual se puede apreciar en el Cuadro 1.

Gráficamente también se pudo observar que para todas las variables incremento en altura de las plantas, incremento en el número de hojas, largo, ancho y peso fresco de las hojas no existían diferencias significativas, aunque para el caso de la variable peso fresco aparentemente el tratamiento de purín al 5% (T2) fue el que obtuvo los mayores pesos, aunque no al 95% de confianza (Figura 1).

Cuadro 1. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para las variables altura de la planta y para las hojas (incremento, tamaño y peso fresco).

Variable	Mediana				P valor
	T1	T2	T3	T4	
Altura de la planta (cm)	12	7.5	15	10	0.179
Incremento de hojas	62.5	61.5	77	51	0.409
Largo de la hoja (cm)	17.4	17.3	19.3	19.15	0.186
Ancho de la hoja (cm)	12.3	12.8	15.1	13.95	0.268
Peso fresco (g)	3	4.45	4.15	3.5	0.054

T1= testigo; T2= purín al 5%; T3= purín al 10% y T4 = purín al 15%.

La falta de respuesta diferencial en las variables de crecimiento de las plantas a las diferentes concentraciones de purín podría deberse a las condiciones iniciales del suelo de la parcela experimental. Ya que el análisis del suelo indicó un buen contenido de nutrientes esenciales para el crecimiento de *M. alba* y en este sentido se sabe que la producción de cultivos está en función de factores como el suelo, el clima y el manejo agronómico (Alcantar-González *et al.*, 2016). Por otro lado, también el purín de gallinaza, aunque rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, puede no haber liberado estos nutrientes a una velocidad compatible con las necesidades inmediatas de las plantas durante el periodo de estudio. La mineralización de los nutrientes orgánicos en el purín puede ser lenta, especialmente si las condiciones ambientales (como la temperatura y la humedad) no son óptimas para la actividad microbiana responsable de la descomposición del material orgánico. Se sabe que los factores que determinan las tasas de mineralización son temperatura, relación C: N, pH del suelo, mineralogía de las arcillas, humedad, biología del suelo y manejo de los residuos (Martín y Rivera, 2004). Cabe señalar que en junio hubo lluvias constantes.

En un estudio con Morera donde se evaluó la fertilización orgánica con bioles y compost tampoco se observaron diferencias significativas para esta variable (Vásquez y Maraví, 2017).

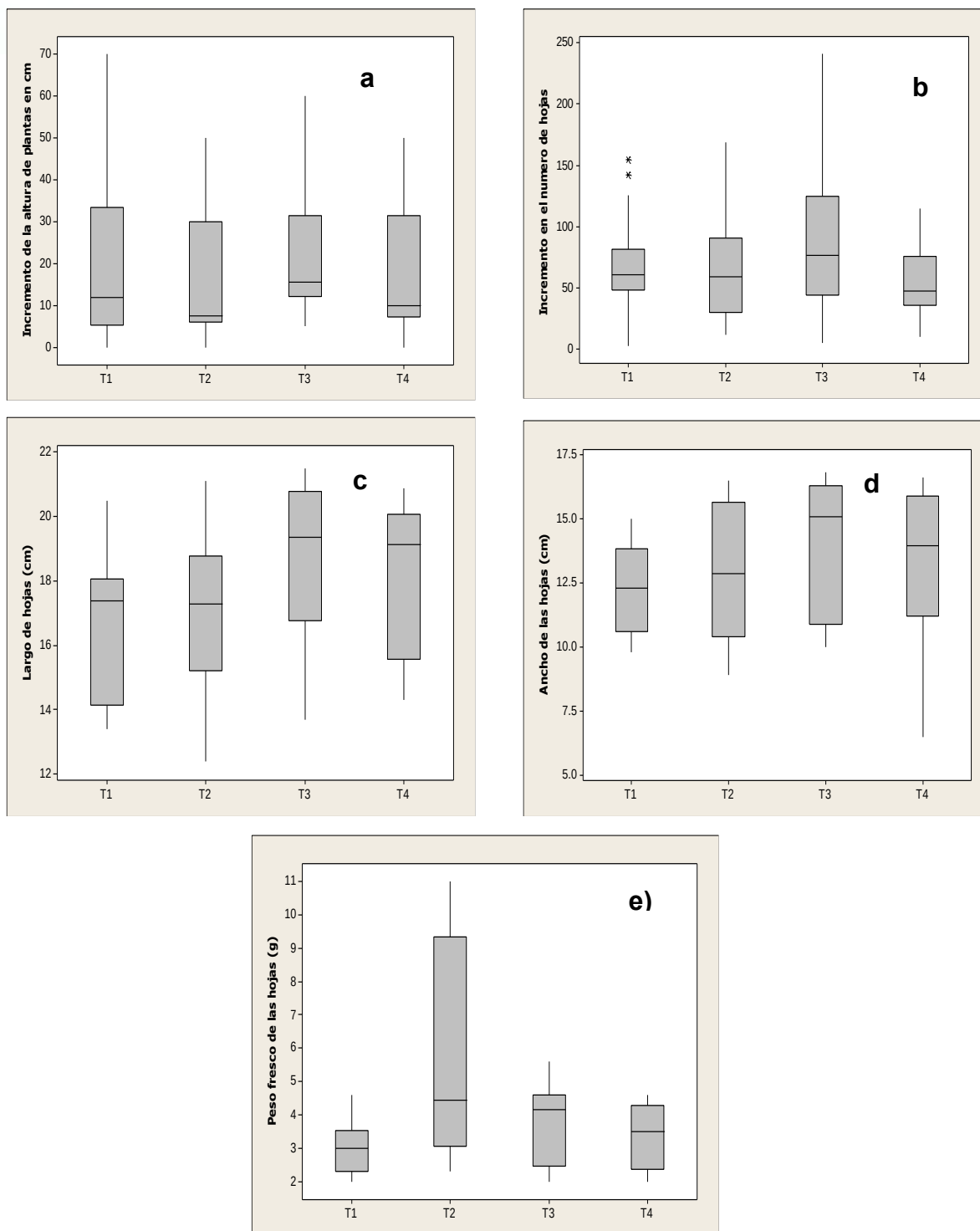


Figura 1. Variables incremento en altura de las plantas (a), incremento en el número (b), largo (c), ancho (d) y peso fresco de las hojas (e) para los tratamientos T1= purín al 0%; T2= purín al 5%, T3= purín al 10% y T4 = purín al 15%.

De manera similar, en otro estudio donde se evaluó el efecto de purín vacuno sobre el rendimiento del pasto Taiwán (*Penisetum purpureum* cv. Taiwán) y la calidad nutricional del forraje, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) para el porcentaje de proteína cruda (PC) donde los tratamientos con urea y purines presentaron la mayor concentración de PC en la planta entera, pero no existió diferencia significativa al evaluar el rendimiento (Rojas-Molina y Elizondo-Salazar, 2020) considerando los autores que la duración del ensayo pudo influir en los resultados obtenidos.

Caracterización del purín de gallinaza

El análisis químico del purín de gallinaza mostró una alta concentración de nutrientes esenciales. En ambos análisis (abril y mayo), se registraron valores de 1900 mg/L de nitrógeno total, 645.1 mg/L de fósforo y 1100 mg/L de potasio. El pH del purín se mantuvo ligeramente ácido (5.66 en abril y 5.51 en mayo), mientras que la conductividad eléctrica presentó un incremento de 15.03 mS/cm en abril a 18.58 mS/cm en mayo. Estos resultados indican que el purín de gallinaza conserva sus propiedades nutricionales a lo largo del tiempo, lo cual es benéfico para su uso como abono orgánico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis químicos del purín de gallinaza, realizado en laboratorio.

Purín	pH	Nitrógeno	Potasio	Sodio total	Calcio total	Magnesio
		total (N)	total (K)	(Na)	(Ca)	total (Mg)
Contenido en mg/L						
Lixiviado de purín (abril)	5.66	1900	1100	2600	1200	600
Lixiviado del purín (mayo)	5.51	1900	1100	2400	500	500
Purín	Cobre	Manganeso	Hierro	Zinc	Fósforo total (K)	Conductividad eléctrica (CE)
	(Cu)	(Mn)	(Fe)	(Zn)		
mg/L						mS/cm
Lixiviado de purín (abril)	1.63	7.39	65.48	3.9	645.125	15.03
Lixiviado del purín (mayo)	0.99	6.6	59.63	2.29	611.375	18.58

Los resultados de pH contrastan con los valores obtenidos por Blanco (2016), en muestras de purín porcino, que mostraron un pH básico de 8.38 en diciembre y 8.14 en abril. Este comportamiento ácido del purín de gallinaza puede influir en su interacción con el suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por lo anterior se recomienda diluir el concentrado, cabe señalar que el productor ha aplicado el producto desde hace seis años y el suelo no muestra problemas de acidez, el pH del suelo es neutro. Respecto a la conductividad eléctrica (CE), el purín de gallinaza presentó valores de 15.03 mS/cm en abril y 18.58 mS/cm en mayo. Estos valores son superiores a los reportados por Blanco (2016) para purín porcino, que presentó una CE de 12.78 mS/cm en diciembre y 9.63 mS/cm en abril. Sin embargo, son inferiores a los valores observados por Parera *et al.*, (2010) en purines de cerdo, que mostraron una CE promedio de 24.18 mS/cm. Aunque la CE del concentrado de purín de gallinaza es relativamente alta, no alcanza los niveles considerados fuertemente salinos, como el hidrolizado líquido de gallinaza reportado por Santander (2015), que presentó una CE de 26.9 mS/cm, además por eso se diluye el producto antes de aplicarlo como lo indican López *et al.*, 2013.

Análisis bromatológico

Los resultados del análisis bromatológico, mostraron diferencias entre los tratamientos aplicados con diferentes concentraciones de purín de gallinaza (0, 5, 10 y 15%).

El tratamiento con 10% de purín (T3) mostró el mayor porcentaje de materia seca en comparación con los otros tratamientos. Este resultado indica que la aplicación de purín al 10% es la más efectiva para mejorar el contenido de materia seca del forraje de *Morus alba*, lo cual es beneficioso para su conservación y almacenamiento.

Similar al porcentaje de materia seca, el tratamiento con 10% de purín (T3) también presentó el mayor porcentaje de cenizas, lo cual sugiere una mayor concentración de minerales en el forraje. En cuanto al contenido proteico, el tratamiento con 15% de purín (T4) fue el que mostró el mayor porcentaje de proteína mejorando con ello el valor nutricional de *M. alba* como forraje, lo anterior se puede ver en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de los análisis bromatológicos para las variables variables porcentaje proteico, cenizas y peso seco.

Tratamiento	% Peso seco	% Proteína	% Cenizas
1	22.16	22.00	17.30
2	20.56	22.78	17.74
3	22.74	21.83	19.57
4	21.77	23.78	17.26

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo reportado por Leyva (2012), quien indica que el contenido de proteína cruda en la morera varía entre el 15% y el 28%. Además, los valores de cenizas del purín de gallinaza fueron superiores, con un contenido del 19.5% en comparación con el 17% reportado dicho autor. De acuerdo con los requerimientos nutricionales de aves de corral establecidos por la FAO (2013), los resultados obtenidos en el análisis bromatológico de la morera en los cuatro tratamientos son adecuados para la alimentación de las gallinas. Esta adecuación es crucial para considerar la morera como una opción viable de forraje en la alimentación avícola. Al comparar la morera con otros forrajes, como el forraje verde hidropónico (FVH) de maíz descrito por Moyano y Sánchez (2012) en donde se reporta 11% de proteína y 2.8 de ceniza y el FVH de cebada y trigo expuesto por Amaguña (2012) con fertilización orgánica indica 17.51% y 18.23 de proteína respectivamente, observamos que la morera posee un mayor contenido de proteína.

Conclusiones

Con las diferentes concentraciones de purín de gallinaza 0%, 5%, 10% y 15% no hubo diferencias significativas en las variables de crecimiento. De acuerdo con el análisis bromatológico de la morera, se observó un incremento en el porcentaje proteico con el tratamiento de 15% de purín de gallinaza. En la morera (*M. alba*) el mejor porcentaje de materia seca y cenizas se obtuvo con el tratamiento de 10% de purín de gallinaza.

Literatura citada

- Amaguaña, B. F. M. 2012. Evaluación de los forrajes hidropónicos de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum vulgare* L.) en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis de Licenciatura. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. 90 p.
- Alcantar-González, G., Trejo-Téllez, L.I. y Gómez-Merino, F.C. 2016. Nutrición de cultivos 2a ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Blanco, R. L. 2016. Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Valencia. 94 p.
- Bolívar, P. H. M. 2017. Factibilidad de proyectos de inversión para plantas de biogás agroindustrial a pequeña escala usando como sustratos purines y chumberas [*Opuntia ficus indica* (L) Miller)]. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura España. 186 p.
- Casas, R. S., y Guerra, C. L. 2020. La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. Revista de Producción Animal 32(3):87-102.
- Castro, R. A. y Orozco, B.E. 2011. Cultivo de morera (*Morus* spp.) y su uso en la alimentación animal. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 45 p.
- Demagnet, R. 1995. Caracterización de purines para su potencial uso como fertilizante y mejorador de suelos. Agricultura Técnica 55(3-4):251-256.
- Delgado, A., M. M., Mendoza, L. K. L., González, M. I., Tadeo L., J. L., y Martín S. J. V. 2019. Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 35(4):965–977.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2013. Revisión del desarrollo avícola. p. 61-84
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). 2010. Compendio de información geográfica municipal. Emiliano Zapata Veracruz de Ignacio de la Llave. 10 p.
- Leyva, J. H. E. 2012. Moricultura. Manual para la producción y utilización forrajera. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 23 p.
- López, G. M. Y., Jiménez, A. L. y Moreno, V.A. 2013. Operaciones auxiliares de abonado y aplicación de tratamientos en cultivos agrícolas. Ediciones Paraninfo. España. 145 p.
- Martín, G. M. y Rivera, R. 2004. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. Cultivos Tropicales 25(3): 89-96. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217916013>. [consultado el 01 de mayo de 2024].
- Moreno, V. A. 2015. Actividades de riego, abonado y tratamientos en cultivos. Ediciones Paraninfo. España. 269 p.
- Moyano, H. L. F. y Sánchez, M. H. V. 2012. Comportamiento de la proteína de forraje verde hidropónico en función del tiempo de cosecha. Rev Sist Prod Agroecol. 3(2):36-45.
- Parera, P. J., Domingo O., F., Mallol, N.C. y Canut, T.N. 2010. Adaptación del uso de la conductividad eléctrica (CE) para determinar de forma rápida el contenido en nutrientes del purín porcino en Catalunya. En International Workshop on Anaerobic Digestion of Slaughterhouse Waste. Barcelona. P. 67-76.
- Rojas-Molina, L. y Elizondo-Salazar, J. A. 2020. Evaluación del efecto de los purines vacunos sobre la producción de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) en un suelo Andisol. Nutrición Animal Tropical 14(2):251-268.

- Santander, H. C. K. E. 2015. Desarrollo técnico de un hidrolizado líquido de gallinaza como fertilizante foliar. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 71 p.
- Vásquez, H. V., y Maraví, C. 2017. Efecto de fertilización orgánica (biol y compost) en el establecimiento de morera (*M. alba* L.). Revista de Investigación en Ciencia y Biotecnología Animal 1(1):33-39.

RESPUESTA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) AL NANOFERTILIZANTE “Nano-Gro™”, EN LA REGIÓN TROPICAL DE VERACRUZ

Andrés Vásquez Hernández^{22*}, Arturo Durán Prado²², Arturo Andrés Gómez²²,
Isaac Meneses Márquez²² y Héctor Cabrera Mireles²²

Resumen

Se realizó un experimento de invernadero para determinar el efecto en el desarrollo y rendimiento del frijol negro Comapa con el nanofertilizante mineral Nano-Gro™ aplicado a la semilla en presiembra y foliar en desarrollo de la planta. Se evaluaron ocho tratamientos incluido el testigo absoluto, para lo que se hicieron combinaciones del tratamiento típico de fertilización química para frijol (50-40 00 N-P₂O₅-K₂O) aplicado en una sola dosis. Los tratamientos de Nano-Gro™ se aplicaron a la semilla a la siembra y al follaje en desarrollo de planta. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Se estimó la altura de planta a la madurez fisiológica, días a la floración, biomasa de hoja recientemente madura, raíz y planta completa. Se estimó el rendimiento en número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso de grano. Se observó un efecto positivo de Nano-Gro™ sobre el desarrollo de raíz, con el más alto valor de materia seca de raíz. El T3 (aplicación de Nano-Gro™ a la semilla) y el T7 (aplicación de Nano-Gro a la semilla combinada con fertilización química (50-40-00) obtuvieron valores más altos. Se obtuvo una respuesta positiva de Nano-Gro™ sobre biomasa de hoja indicadora, biomasa de raíz, biomasa de planta completa y rendimiento de grano. Las variables altura de planta, número de vainas y grano por vaina no mostraron diferencia entre tratamientos ($P>0.05$). Se concluye que existe gran potencial de este tipo de productos que representan una alternativa ecológica contra el alto costo de los fertilizantes químicos provenientes de fuentes no renovables, además que contribuyen a prevenir el desabasto de estos insumos a futuro.

Palabras clave: fertilización química, frijol Comapa, invernadero tropical

Introducción

Tanto por su superficie sembrada como por la producción obtenida, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes en México. Se siembra en todas las regiones

²² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia: vasquez.andres@inifap.gob.mx

agrícolas del país y es componente fundamental de la dieta del mexicano. En el estado de Veracruz, el frijol se siembra principalmente durante el ciclo otoño-invierno, bajo condiciones de humedad residual, y en primavera-verano, bajo temporal (Ugalde *et al.*, 2011). En ambos sistemas, se obtienen bajos niveles de producción, con un rendimiento medio de 0.670 t/ha. La mayoría de los materiales que se siembran en el estado de Veracruz son criollos con bajo rendimiento. Como una opción para contribuir a aumentar la producción se generó la variedad Negro Comapa, la cual exhibe una alta productividad y una amplia adaptación en las diferentes áreas en que se produce frijol en Veracruz y en otros estados del país. López *et al.* (2010) mencionan que esta nueva variedad puede sembrarse durante todo el año, en verano (bajo condiciones de temporal), en otoño-invierno (con humedad residual) y en invierno-primavera (con riego), lo que garantizaría mayor abasto de frijol en el estado, con rendimiento promedio de 1090 kg/ha, el cual fue superior en 25.1, 37.4 y 59.8%, al rendimiento de las variedades comerciales Negro Tacaná, Negro Jamapa y Negro INIFAP, respectivamente.

Ayala *et al.* (2021) mencionan que, junto con el maíz, el frijol es un cultivo básico para la población mexicana y representa toda una tradición productiva y de consumo; cumple diversas funciones alimentarias y socioeconómicas que le han permitido trascender hasta la actualidad. Es un cultivo estratégico que ocupa el segundo lugar en superficie sembrada, sólo después del maíz. Durante el periodo 2014 a 2017, la superficie agrícola de frijol en el país fue de 1.69 millones de hectáreas, que representaron 11.1% del total nacional. En este mismo periodo, la producción anual promedio fue de 1.13 millones de toneladas, con un valor de \$12552 millones (SIAP, 2021).

Ávila *et al.* (2014) indican que, para una buena producción, los cultivos deben de extraer del suelo los nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio en mayores cantidades que otros elementos nutritivos como zinc, fierro, manganeso, molibdeno y boro. Para una buena producción, el frijol necesita absorber 100 kg/ha de N, 10 kg/ha de P y 80 kg/ha de K. En el sur del estado de Veracruz, para una buena producción en suelos con una fertilidad media se deben aplicar en presiembra 80 kg de Nitrógeno y 40 kg de P_2O_5 , tanto en O-I como P-V; sin embargo, para suelos con baja fertilidad se requiere 160-40-00, dos tercios a la siembra y un tercio antes del primer riego de auxilio (Padilla *et al.* 2008).

Vásquez *et al.* (2014) señalan que, para obtener una producción aceptable, desde un punto de vista económico, se debe considerar la fertilización de los cultivos. Las predicciones de FAO

(2009) indican que para el año 2050 la población mundial superará 9,100 millones de habitantes, lo que representa un incremento de 34% en tan solo 40 años, con un consumo global de cereales *per cápita* de 340 kg por persona al año. En consecuencia, se requerirá un total de 3,094 millones de toneladas por año para cubrir esa demanda, por lo que resulta necesario mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos, empleando técnicas que permitan practicar una agricultura productiva, pero también sostenible, en la que los fertilizantes se empleen de forma racional, con máxima eficiencia y respeto al medio ambiente (García-Serrano *et al.*, 2010), pues cuando no se aplican nutrientes, sean de origen orgánico o mineral, la fertilidad del suelo disminuye, y como consecuencia su capacidad para proporcionar buenas cosechas. Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos; sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes esenciales es escaso, el crecimiento de las plantas será limitado y los rendimientos de los cultivos resultarán reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando, ya que, con los fertilizantes, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse e incluso triplicarse. En las últimas décadas, las tasas de eficiencia de los tres principales elementos (N, P y K) han ido aumentando y se han situado entre el 50% y el 62% en promedio (FAO, 2022).

SAC (2022) menciona que frente a la enorme dependencia que hoy tiene el mundo de los fertilizantes de síntesis química, la FAO recomienda: “Fomentar una producción de fertilizantes más asequible y ecológica, basada en energías renovables; promover la producción de fertilizantes ecológicos, especialmente el amoníaco verde, en sustitución de las materias primas energéticas tradicionales, como el gas y el carbón, por la energía solar, la eólica y el hidrógeno. Lira *et al.* (2018) señalan que, con la nanotecnología, se abre un amplio abanico de oportunidades en la agricultura para producir agroproductos como nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoherbicidas y nanosensores, que permitirán incrementar el rendimiento de alimentos de manera sustentable y reduciendo el impacto ambiental. Al respecto ANFEE (2008) indica que cuando los fertilizantes se utilizan de forma racional -principio intensamente fomentado por la industria de fertilizantes-, sus efectos son favorables y esenciales para la fertilidad del suelo, para el rendimiento y calidad de las cosechas, para la salud humana, aportando los elementos esenciales al metabolismo, y el medio ambiente. En una agricultura

moderna, productiva y respetuosa en todas las condiciones medioambientales, no puede cuestionarse una aplicación adecuada de fertilizantes. Los fertilizantes son necesarios y gracias en parte a ellos se obtienen grandes beneficios para la producción alimenticia y la obtención de energías renovables. Sin los fertilizantes se tendrían que cultivar millones de hectáreas adicionales a nivel mundial para poder alimentar a una población en constante crecimiento.

La fertilización y la adecuada nutrición de los cultivos con los nutrientes esenciales que las plantas requieren es de importancia primordial, ya que en gran medida define el rendimiento y calidad de los productos. Saldívar (2019) menciona que existen diferentes tipos de nutrientes, abonos químicos, orgánicos y biofertilizantes, y que a través de la nanotecnología se desarrollan otro tipo de nutrientes, con lo que se podrá producir la cantidad y la calidad de alimentos suficientes para alimentar a una población mundial en rápido crecimiento. También menciona que la nanotecnología puede transformar algunos sectores de la agricultura, al proporcionar herramientas para la detección rápida de enfermedades en los cultivos, así como para mejorar la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes y crecer con mayor velocidad. Vázquez-Núñez (2023) señala que los pesticidas y fertilizantes son dos de los muchos productos con gran potencial cuando se producen a nivel nanométrico, ya que muestran gran eficiencia en la liberación dirigida y controlada de agroquímicos, lo que se traduce en una mayor efectividad biológica, al lograr aumentos en el rendimiento y productividad de los cultivos. Fernández-Luqueño *et al.* (2023) señalan que existen estrategias para garantizar la entrega y reducir las pérdidas de nutrientes móviles, mediante fertilizantes de liberación controlada y que los nanofertilizantes son nanomateriales que contienen nutrientes esenciales o elementos benéficos para los cultivos.

Echevarría (2019) indica que las nanotecnologías ocupan una posición destacada para la transformación de la agricultura y la producción de los alimentos y que el tamaño es un factor determinante en la interacción planta: nanomateriales (NMs), ya que esto determina la capacidad de los nanomateriales para penetrar las barreras biológicas de las plantas y, por ello, su efectividad como nanoportadores de estas sustancias; no obstante, las características de las barreras biológicas son genotipo-específicas y pueden variar por las condiciones de crecimiento, por lo que las nanotecnologías ocupan una posición destacada para la transformación de la agricultura y la producción de alimentos. Al respecto, Karny *et al.* (2018)

hacen hincapié en que la aplicación de la nanotecnología en la agricultura requiere atención especial, sobre todo en el diseño de nuevos nanotransportadores que maximicen la entrega de agentes activos como los fertilizantes. Zuverza *et al.* (2017) mencionan que, aunque las nanopartículas entre 1 y 100 nm se producen de manera natural, son las de origen sintético las que ocupan una posición central en estas aplicaciones de gran alcance, debido a su gran número de propiedades mecánicas, térmicas, fotoquímicas, eléctricas, fotocatalíticas, magnéticas y ópticas, como lo reportan Klaine *et al.* (2008) y Bhatt y Tripathi (2011). Dada la importancia actual de los nanoproductos, se realizó el presente estudio con el objetivo de determinar el efecto del nanofertilizante mineral Nano-Gro™ sobre el desarrollo y rendimiento del frijol al aplicarse a la semilla en la presiembra y de forma foliar.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se estableció en el ciclo invierno-primavera de 2018 en un invernadero tropical ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, en la Esmeralda, Municipio de Medellín, Veracruz, ubicado en el km 34.5 de la Carretera Federal Veracruz-Córdoba, en las coordenadas 18°56'09.96" de latitud norte y 96°11'42.32" de longitud oeste. El tipo de clima es Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (68.67%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (31.33%). El rango de temperatura va de 24 a 28°C y el rango de precipitación pluvial de 1100 a 1600 mm. El tipo de suelo dominante es el Vertisol (INEGI, 2010).

Especie evaluada y manejo del cultivo

El cultivo de prueba fue frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Negro Comapa, con hábito de crecimiento indeterminado y erecto; es una planta arbustiva tipo II, con guías medianas, grano negro, opaco y pequeño. La floración ocurre entre los 43 y 45 días en siembras de temporal y humedad residual, y llega a la madurez fisiológica entre los 70 y 75 días. La altura del dosel es de alrededor de 44 cm (López *et al.*, 2010). El cultivo se manejó en camas de siembra a doble hilera con una distancia de 0.60 m entre hileras, 0.40 m de separación entre matas y

1.60 m de separación entre centros de cama. Como parcela útil se consideraron los dos surcos de 2.0 m de largo, librando 0.50 m en cada cabecera para un total de ocho plantas por parcela útil. Se usó un sistema de acolchado plástico blanco/negro y cintilla de riego con emisores cada 0.30 m, con un gasto nominal de 1.1 L/hora. Un sensor de humedad, ajustado en un punto cercano al 30% de humedad disponible indicaba la marca de necesidad de riego. Los tratamientos con el Nanofertilizante se aplicaron en dos momentos: antes de la siembra y durante el desarrollo del cultivo.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con ocho tratamientos resultado de la combinación de la fertilización química y la aplicación del fertilizante inorgánico Nano-GroTM. y cuatro repeticiones, para un total de 32 unidades experimentales.

Tratamientos

Los ocho tratamientos aplicados se muestran en el Cuadro 1. Para la aplicación de Nano-GroTM. a la semilla se diluyó una cápsula de este producto en 5 L de agua destilada por cada 10 kilos de semilla, lo que equivale a tres cápsulas del producto en 15 L de agua para tratar 30 kilos de semilla por hectárea, que es la recomendación del fabricante. Se remojaron las semillas por 40 segundos, se dejaron reposar a la sombra hasta que secaron y se procedió a la siembra.

La aplicación foliar de Nano-GroTM se realizó en etapa vegetativa 2-4 v, antes de la floración, para lo que se preparó una solución disolviendo dos capsulas de Nano Gro en 20L de agua destilada, lo que corresponde a 10 cápsulas de Nano-GroTM en 100 L de agua por hectárea, que es la recomendación del fabricante. Con esto se realizó una sola aplicación foliar en las primeras horas de la mañana, asegurándose de cubrir por completo las plantas con esta solución. La fertilización química se aplicó mateada al suelo con mezcla de urea y fosfato diamónico, en una sola dosis, a los 7 días posteriores a la emergencia.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en la evaluación de Nano Gro™ en frijol negro Comapa en Veracruz.

No. trat.	Descripción	Aplicación a la semilla	Aplicación al suelo N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Aplicación foliar
1	Testigo	0	00-00-00	0
2	Foliar	0	00-00-00	Nano Gro™
3	Tratamiento a la semilla	Nano Gro™	00-00-00	0
4	Tratamiento a la semilla + foliar	Nano Gro™	00-00-00	Nano Gro™
5	Testigo F.Q. (50-40-00)	0	50-40-00	0
6	F.Q. + foliar (50-40-00)	0	50-40-00	Nano Gro™
7	F.Q. + Nano-gro a la semilla	Nano Gro™	50-40-00	0
8	F.Q. +Trat. a la semilla+ foliar	Nano Gro™	50-40-00	Nano Gro™

Muestreos y variables evaluadas

Biomasa de raíz: se estimó al inicio de la floración por muestreo de dos plantas por parcela, para un total de ocho plantas por tratamiento.

Altura de plantas a la madurez fisiológica: se midieron 20 plantas por repetición y tratamiento con una regla, desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Biomasa de hoja recientemente madura al inicio de floración, se extendieron 20 hojas recientemente maduras por repetición y tratamiento.

Materia seca de planta completa a la madurez fisiológica: se hizo el muestreo de plantas completas en 1.5 m lineales de dos surcos centrales, por tratamiento y repetición.

Rendimiento total de vainas: se pesaron las vainas de dos surcos centrales de 2.0 m de largo por repetición. Se estimó el total de plantas cosechadas para corregir por rendimiento de la población. Las muestras vegetales se secaron en estufa de tiro forzado a 72°C hasta obtener un peso constante.

Análisis estadístico

Se efectuó análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta consideradas. A las variables que mostraron significancia estadística, se les realizó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

para determinar los mejores tratamientos. Se utilizó el software Minitab 17 para los análisis estadísticos.

Resultados y discusión

Biomasa de raíz

La primera fase de evaluación fue la biomasa o peso de raíz completa, Se obtuvieron valores entre 0.21 y 0.41 g/planta (Cuadro 2). El peso más alto fue para T3 (0.41 g/planta) seguido por T7(0.39 g/planta) y T6 (0.35 g/planta). El análisis de varianza mostro diferencia significativa entre los tratamientos ($p>0.05$), aunque no hubo diferencia significativa con el tratamiento testigo 50-40-00.

Días a floración

Se obtuvieron valores de 45 a 47.75 días a la floración entre todos los tratamientos, con una diferencia de 2.75 días entre el tratamiento con más tiempo para floración T1 (Testigo) y T8 (fertilización química 50-40-00 + Nano-Gro™ semilla + foliar) que tuvo el menor tiempo. Para esta variable, el mejor tratamiento fue para el tratamiento con el menor tiempo a floración, el decir, el T8, seguido por T2 (Nano-Gro™ foliar), T5 (fertilización química) y T4 (Nano-Gro™ a la semilla + foliar). Aunque estadísticamente no hubo diferencia significativa entre este grupo de tratamientos (Clase C), si fueron superiores estadísticamente al testigo T1 por su menor tiempo a floración (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables de respuesta en la evaluación de Nano Gro™ en frijol negro Comapa en Veracruz.

Tratamiento	Peso de raíz (g/pl)	Días a floración	Biomasa hojas (g/pl)
T1	0.2050 ^D	47.75 ^A	0.18 ^C
T2	0.2050 ^D	45.25 ^C	0.20 ^{BC}
T3	0.4075 ^A	47.25 ^{AB}	0.38 ^A
T4	0.2500 ^{CD}	46.25 ^{BC}	0.27 ^{ABC}

Tratamiento	Peso de raíz (g/pl)	Días a floración	Biomasa hojas (g/pl)
T5	0.300 ^{BC}	45.50 ^C	0.28 ^{ABC}
T6	0.3225 ^{ABC}	47.50 ^{AB}	0.34 ^{AB}
T7	0.3900 ^{AB}	47.00 ^{AB}	0.34 ^{AB}
T8	0.3225 ^{ABC}	45 ^C	0.30 ^{ABC}

^AMedias con letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

El T3 con Nano-GroTM a la semilla tuvo el más alto peso de raíz, seguido por T7 a base de fertilización química y Nano-gro a la semilla, aunque fueron estadísticamente iguales a T6 y T8; el tratamiento más bajo fue el testigo absoluto, que fue superado en 49.69% por T3 (Cuadro 2).

Altura de plantas a la madurez fisiológica

Esta variable mostró valores de 2.44 a 2.68 m, lo cual es muy alto en comparación con la altura promedio de las plantas de frijol cultivadas a cielo abierto que es de 0.44 m (López *et al.*, 2010). Es posible que esto se deba a las condiciones más favorables para el buen desarrollo de las plantas que ofrece el invernadero. El análisis de varianza no mostró significancia entre tratamientos, lo que indica que no hubo efecto de Nano-GroTM sobre esta variable.

Biomasa de hoja al inicio de floración

Se obtuvieron valores promedio de 0.18 g (testigo) a 0.38 g/hoja (T3). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos. La prueba de Tukey para biomasa de hojas muestra como mejor a T3 (Nano-GroTM a la semilla), con una diferencia de 0.20 g/hoja sobre el testigo absoluto, lo que representa un incremento del 48%, seguido por T7 (Nano-GroTM a la semilla con fertilización química 50-40-00 con incremento de 0.16 g/hoja, lo que representa un 41.18% de incremento sobre el testigo. En esta misma clase están T6, T8, T5 y T4 combinados con fertilización química, sin diferencia estadística entre ellos por clase (Clase A) en la prueba de Tukey; los tratamientos más bajos fueron T1 (testigo, T2 (Nano-GroTM a la semilla y T4 (Nano-GroTM semilla + foliar), todos estos sin fertilización química.

Biomasa de plantas a la madurez fisiológica

Se obtuvieron valores de 95.32 g/planta para el Testigo a 239.10 g/planta para T7. El análisis de varianza para esta variable resultó altamente significativo, lo que indica que hubo respuesta en esta variable a los tratamientos aplicados. La prueba de Tukey para biomasa de planta (Cuadro 3) indica que el mejor tratamiento fue T7 (fertilización química 50-40-00 + Nano-Gro™ semilla) con 239.13 g/planta, resultan iguales estadísticamente los T3 (Nano Gro a la semilla), T6, T1 (testigo) y T8 (fertilización química 50-40-00 + Nano-Gro™ semilla + foliar). Aunque en este caso también T7 y T3 fueron los mejores en cuanto al valor más alto de biomasa.

Número de granos y vainas por planta

Se obtuvieron valores promedio de 4.6 a 5.9 granos por vaina, con el mayor valor para T2 (Nano-Gro™ foliar), T1 (Testigo absoluto) y T4, T6, sin una tendencia clara entre tratamientos, por lo que el análisis de varianza no fue estadísticamente significativo y se puede considerar que no hubo efecto de los tratamientos sobre esta variable. En cuanto al número de vainas por planta, se obtuvieron valores de 49.85 a 71 vainas por planta, obteniéndose el mayor número de vainas para T7 (fertilización química 50-40-00 + Nano-Gro™ semilla), aunque no hubo diferencia estadística entre los tratamientos, por lo que se considera no hubo efecto de los tratamientos sobre esta variable. Resulta notable que T7 mostró el valor más alto, como ha ocurrido con otras variables antes discutidas.

Cuadro 3. Variables de desarrollo y rendimiento en la evaluación de Nano Gro™ en frijol negro Comapa en Veracruz.

Tratamiento	Biomasa de tallo-hojas (g/pl)	Rendimiento de Grano (kg/ha, 14% humedad)
1	164.8 ^{ABC}	1531.9 ^{BC}
2	135.4 ^{BC}	1451.8 ^C
3	235.38 ^{AB}	2039.5 ^A
4	95.32 ^C	1923.9 ^{AB}
5	137.3 ^{BC}	1728.0 ^{ABC}
6	192.1 ^{ABC}	2013.0 ^A

Tratamiento	Biomasa de tallo-hojas (g/pl)	Rendimiento de Grano (kg/ha, 14% humedad)
7	239.13 ^A	2197.5 ^A
8	158.3 ^{ABC}	1825.8 ^{ABC}

^AMedias con letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

Rendimiento de grano

Se obtuvieron rendimientos de 1 451.8 a 2 119.7 kg/ha de grano, el cual se puede considerar alto para frijol negro en el trópico, que fue favorecido por el buen desarrollo de plantas en condiciones de invernadero. El análisis de varianza resultó altamente significativo entre tratamientos, aunque al comparar los rendimientos de grano mediante la prueba de Tukey (Cuadro 3), el rendimiento más alto se obtuvo con T7 (fertilización química 50-40-00+ Nano-GroTM semilla), seguido por T3 (Nano-GroTM a la semilla), y estos tratamientos en que se aplicó Nano-GroTM a la semilla tanto solo como combinado con fertilización química, también han sido los más altos con otras de las variables estudiadas en esta evaluación, aunque en este caso son estadísticamente iguales por clase al resto de los tratamientos (T6, T4, T8, T5), a excepción de T1 (Testigo) y T2 (Nano-GroTM foliar) que fueron los más bajos.

Conclusiones

Hubo efecto positivo de Nano-GroTM sobre el desarrollo de raíz cuando se combinó con fertilización química 50-40-00, al inducir a una mayor biomasa. No se observó efecto significativo sobre altura de planta, número de granos por vaina, ni número de vainas por planta. Los tratamientos en que se aplicó Nano-GroTM a la semilla combinado con fertilización química y Nano-GroTM a la semilla tuvieron mayor rendimiento de grano, aunque no hubo diferencia significativa con la fertilización química, 50-40-00. Los resultados muestran un gran potencial de este tipo de productos que representan una alternativa ecológica al gasto de nutrientes de fuentes no renovables, pero es necesario repetirlas con otros nanofertilizante para determinar en cuanto es posible reducir la fertilización química, sin efecto sobre el

rendimiento , por lo que es recomendable continuar con esta línea de investigación, ya que representa una alternativa viable de la fertilización inorgánica y el cuidado de los recursos naturales no renovables a futuro.

Literatura citada

ANFEE (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes). 2008. La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual productiva y sostenible. 4 pp. <http://www.anffe.com>noticias> [consultado el 17 de mayo de 2024].

Ávila M., J.A., J.M. Ávila S., F.J. Rivas S., y D. Martínez H. 2014. El cultivo del frijol. Sistemas de producción en el noroeste de México. Universidad de Sonora. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Agricultura y Ganadería.

Ayala G., A.V., I.C. Santiago E., J.A. Acosta G. y E. González P. 2021. Situación actual y perspectivas del frijol en México. p. 165-175 *In*: Ayala-Garay A.V., Acosta-Gallegos J.A. y Reyes-Muro Luis. El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. México, Libro Técnico No. 1.

Bhatt, I. and B.N. Tripathi, 2011. Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere* 82:308- 317.

Echevarría M., I. 2019. El tamaño sí importa: Los nanofertilizante en la era de la agricultura de precisión. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/ [consultado el 17 de mayo de 2024].

FAO. (Food and Agriculture Organization). 2009. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Roma. 12-13 de octubre de 2009. https://www.fao.org/docs/issues_papers_SP [consultado el 17 de mayo de 2024].

FAO (Food and Agriculture Organization). 2022. El Mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un Mercado en dificultades. Roma 2022. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/crops/article/2022/01/19/fertilizer-prices-continue-mostly> [Consultado el 17 de mayo de 2024].

Fernández-Luqueño, F., I. Vera-Reyes, y S. Loera-Serna. (2022). Presentación. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 16(30), 1e-7e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69784>.

García-Serrano, J. P., J.J. Lucena M., S. Ruano C. y M. Nogales G. 2010. Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España. Parte I. Gobierno de España. Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. 120 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal de 2010. Medellín. Veracruz de Ignacio de la Llave. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30105.pdf [Consultado el 17 de mayo de 2024].

Karny A., A. Zinger, A. Kajal, J. Shainsky-Roitman and A. Schroeder 2018. Therapeutic nanoparticles penetrate leaves and deliver nutrients to agricultural crops. *Scientific Reports* 8: 7589.

Klaine S.J., J.J. Alvarez P., G.E Batley., T.F. Fernandes, R.D. Handy, D.Y. Lyon, S. Mahendra, M.J. McLaughlin, and J.R. Lead. 2008. Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27(9):1825-1851.

- Lira, S., R. H., B. Méndez A., G. De los Santos V., & I. Vera R. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. Acta Universitaria, 28(2):9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>.
- López S., E., O.H. Tosquy V., E. Villar S., J.R. Rodríguez R., F.J. Ugalde A., A. Morales R. y J.A. Acosta G. 2010. Negro Comapa, nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(5):715-721.
- Padilla, Valenzuela I., R.A. Salinas P., J.A. Acosta G. 2008. Adaptación y Estabilidad del Rendimiento en genotipos de Frijol azufrado en el Sur de Sonora, México. Revista Fitotecnia Mexicana 31(3):225-233.
- SAC. Sociedad de Agricultores de Colombia SAC. 2022. Revista Nacional de Agricultura. Edición 1024, abril 2022. Colombia.
- Saldívar-Tanaka, L. 2019. Regulando la nanotecnología. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 12(22):1-21. <https://doi.org/10.22201/ciich.24485691e.2019.22.63140>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado. Otoño- invierno. 2021. México. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [Consultado el 17 de mayo de 2024].
- Ugalde, A.F.J., O.H. Tosquy V., E. López S., y N. Francisco N. 2011. Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México. Agronomía Mesoamericana 22(1):29-36.
- Vásquez H., A., R. Zetina L., e I. Meneses M. 2014. Extracciones nutrimentales en tres cultivos básicos en Veracruz, México. Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan 2(1):229-236.

Vázquez-Núñez, E. 2023. Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 16(30) e00061.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69704>.

Zuverza, M., N., D. Martínez F., D.W. Hernández V., J.A. Bonilla B., N., López M., M.L. Komárek *et al.* 2017. Exposure of engineered nanomaterials to plants: insights into the physiological and biochemical response-A review. Plant Physiology and Biochemistry 110:236-264.

DETERMINACIÓN DE ENFERMEDADES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE MANGO (*Mangifera indica* L.) DEL INIFAP EN VERACRUZ

Enrique Noé Becerra Leor^{23*}, Xóchitl Rosas González²³ y Valentín Alberto Esqueda Esquivel²³

Resumen

Se realizó la identificación de las enfermedades presentes entre 2017 y 2023 en los materiales del Banco de Germoplasma de mango del INIFAP en Veracruz, localizado en el Campo Experimental Cotaxtla. Para esto, se observaron los síntomas, se obtuvo material enfermo y se realizaron preparaciones temporales para buscar estructuras reproductivas y efectuar su identificación. De acuerdo con la información recabada, la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) es la enfermedad más común que afecta a los materiales del Banco de Germoplasma. Los materiales más afectados por la antracnosis fueron los de tipo Manila en general, mientras que Tommy Atkins, Edward, Carrie, Manila Rosa R, Ataulfo y July fueron moderadamente resistentes. En algunos años con condiciones de temperaturas de 20 a 25°C y de 60 a 90% de humedad relativa, el hongo *Oidium mangiferae*, causante de la cenicilla puede ocasionar severos daños, siendo los materiales más afectados: Rapoza, Momi-K, Paheri, Pope, Springfels, Ruby, Zill y Amini; en lo que se relaciona con la enfermedad muerte descendente (*Lasiodiplodia theobromae*), los materiales Kent y Manila fueron los que presentaron más daño; y en los materiales Manila y Fabián se detectó la enfermedad escoba de bruja (*Fusarium* spp.). Para la roña (*Elsinoe mangiferae*) sólo se presentó en Ataulfo y ocasionalmente en Manila. Las fumaginas (*Capnodium mangiferae* y *Meliola mangiferae*) no fueron un problema fuerte, ya que se pueden manejar controlando a los insectos que proveen de azúcares al hongo.

Palabras clave: antracnosis, cultivares, hongos fitopatógenos, identificación de enfermedades

Introducción

Los hongos que afectan el cultivo de mango en México pueden ocasionar reducción en el rendimiento, debido a la afectación de las flores y panículas (manchas, tizones o malformaciones), lo que ocasiona el secamiento, la caída de flores y la producción de frutos pequeños. También evitan su crecimiento y cuajado, y posteriormente reducen la calidad de

²³ Campo Experimental Cotaxtla. *becerra.noe@inifap.gob.mx

los frutos por las manchas y escoriaciones que ocasionan; en post cosecha ocasionan pudriciones y pérdida de fruta. Además, son los causantes de la muerte por pudrición de raíces o ramas y troncos del árbol y defoliación o afectación en la fotosíntesis, por manchas en las hojas (Ploetz y Freeman, 2009). De acuerdo con Allende *et al.* (2001), estos patógenos reducen de 30 a 60% la producción comercial de mango en México.

En 2023 se sembraron con mango 14,643 ha en el estado de Veracruz, con un rendimiento medio de 6.75 t/ha, aunque en algunos municipios se reportan producciones de 15 t/ha (SIAP, 2022). La mayor superficie la ocupa el cultivar Manila, el cual tiene el inconveniente de que presenta alternancia en la producción y es susceptible a diversas enfermedades (Mosqueda *et al.*, 1996). En la zona centro de Veracruz se reportan las siguientes enfermedades en plantaciones de mango: la antracnosis causada por *Colletotrichum gloesporioides* estuvo presente en un 20%, seguido de la cenicilla *Oidium mangiferae* con 17.5%, *Pestalotia mangiferae* con 15%, *Fusarium moniliforme* y *Botryodiplodia theobromae* con 12.5%, *Capnodium mangiferae* con 10%, *Meliola mangiferae* con 7.5% y *Phymatotrichum omnivorum* con 5% (Pacheco, 1987; Mosqueda *et al.*, 1996).

La antracnosis ocasiona pérdidas importantes, afecta las hojas jóvenes, las inflorescencias, los frutos y en algunas ocasiones, provoca muerte de árboles; sin embargo, las mayores pérdidas se dan al afectar frutos, ya sea en pre o post cosecha (Fitzell y Peak, 1984; Arauz, 2000; Ploetz y Freeman, 2009; Chowdappa y Mohan, 2012). Su distribución es mundial, ya que se presenta en todas las áreas donde se cultiva mango; aunque su importancia varía en cada país (Serra *et al.*, 2011). Esta enfermedad se reporta en los 26 estados productores de mango en México, siendo Tabasco, donde se han detectado ataques más severos y destructivos en las etapas de floración. Al comparar árboles con y sin aplicación de fungicidas, Becerra y Rosas (2002) determinaron que los árboles en los que se aplicaron fungicidas produjeron 50 a 61% más frutos que los que no recibieron la aplicación. La antracnosis puede dañar más del 60% de la fruta producida en mango (Arias y Carrizales, 2007; Bautista-Rosales *et al.*, 2013). En Australia, *C. acutatum* es la especie causante de la antracnosis del mango (Fitzell, 1979), mientras que en Colombia, Filipinas y Sudáfrica se reporta a *C. asianum* como el causante de la antracnosis (Sharma *et al.*, 2013; Gañán *et al.*, 2015; Álvarez *et al.*, 2020). Este patógeno puede atacar la mayoría de las partes de la planta; en las inflorescencias, el daño inicial se presenta como pequeñas lesiones de color café, que pueden crecer y unirse

hasta ocasionar la muerte del raquis y de las flores. En algunas inflorescencias tiernas, ocasiona un tizón que empieza en la punta y avanza hacia la base. En los bordes de las hojas tiernas, provoca también manchas grandes de color café-rojizo que avanzan hasta abarcar toda la hoja y secarlas completamente, siendo más afectado el follaje nuevo de marzo y abril; en plantas adultas, y a nivel de vivero, esto ocurre durante todo el año. Los principales daños se presentan en los frutos y consisten en una serie de manchas redondas de color café canela, que crecen y pueden unirse pudriendo el fruto. La mancha no solo ocurre en la cáscara, sino que penetra al fruto. En ocasiones, sobre estas manchas se observan pequeños puntos de color rosa, que corresponden a las fructificaciones del hongo (Becerra, 1995).

En Australia se menciona que las variedades Carrie, Tommy Atkins y Saigon son resistentes al hongo, mientras que en Filipinas se reportan como resistentes las variedades Palmer y Joe Welch, y en Hawaii se nombra a Paris, Fairchild y Rapoza, y en Florida a Zill (Nelson, 2008). Otra enfermedad importante en este cultivo es la cenicilla (*Oidium mangiferae*), la cual existe en muchos países comprendidos entre las latitudes de 40° al norte y sur del ecuador, algunos de ellos son: Pakistán, India, Sri Lanka, Nepal e Israel en Asia; Egipto, Etiopía, Kenia y Rhodesia en África; Estados Unidos, México, Perú y Brasil en América y Nueva Gales del Sur en Australia (Khalid y Alam, 2000). En Sudáfrica, las pérdidas que se reportan son de 80 a 90%. Aunque no se han evaluado sus daños en otros países, en ciertas temporadas puede ser una enfermedad muy destructiva (Prakash y Misra, 2001).

El daño principal de este hongo ocurre en las panículas durante la floración. Sobre estas se observa un polvo de color blanco, que seca las flores y origina bajo prendimiento de frutos, los cuales también pueden ser afectados presentándose sobre ellos el mismo polvillo blanco. Este patógeno también se puede presentar en el follaje tierno, afectando el envés de las hojas, y si el ataque es severo, provoca una distorsión de las hojas tanto a nivel de vivero como en plantaciones establecidas. Al avanzar la infección, las áreas cubiertas por el polvillo blanco se secan y puede ocasionar defoliación; también se reporta el daño en frutos tiernos. Debido a la presencia de escarificaciones, en algunos casos, los síntomas de esta enfermedad se confunden con los de la roña en el fruto. Las condiciones propicias para su desarrollo en la India son de medio ambiente seco y frío con humedad relativa de 90% y una temperatura entre 20° y 25°C (Nasir *et al*, 2014). En Michoacán, México, la mayor severidad se presenta con periodos de 22-60% de humedad relativa y temperaturas entre 13 y 20°C

(Guillen-Sánchez *et al.*, 2003). En Guerrero, México las condiciones de mayor severidad de la enfermedad se dan en temperaturas bajas por la noche (debajo de 20°C) y diurnas de 30°C con humedad relativa de 90% (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2018). Las variedades Zill y Kent son muy susceptibles, en tanto que Haden, Carrie y Keitt son moderadamente susceptibles y Tommy Atkins, Kensington y Sensation son ligeramente susceptibles (Nelson, 2008; Becerra y Rosas, 2002).

La enfermedad escoba de bruja se reportó primero en India por Watten en 1891, y posteriormente por Burns en 1910; posteriormente se detectó su presencia en Egipto, Estados Unidos, México y Brasil. En India, los daños por esta enfermedad pueden variar del 50 al 80%, y en casos severos, las pérdidas pueden ser totales. En un estudio realizado en ese mismo país, se determinó que la enfermedad es más prevalente en plantas jóvenes de 4 a 8 años (91%) que en plantas adultas (9%) (Singh *et al.*, 1961). En Sudáfrica, se presenta en el 73% de las huertas, con severidad de 1 a 70% (Kumar *et al.*, 1993). En México se reportó en 1979 en el estado de Morelos; también se ha identificado a *F. oxysporum* y *F. moniliforme* (sin. *F. verticillioides*) asociados con el ácaro *Aceria mangiferae* (Vega y Miranda, 1993). Posteriormente, se le ha detectado en Sinaloa, Colima, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Michoacán y Guerrero, siendo el principal problema fitopatológico en las últimas dos entidades. En Michoacán se presenta con una incidencia promedio de 47% en el Valle de Apatzingán (Vega y Miranda, 1993). En México se ha asociado a *F. oxysporum* y *F. subglutinans* como los agentes causales de la malformación de mango en Michoacán, Morelos y Guerrero. En Colima, Guerrero, Michoacán, Morelos y Jalisco, se ha reportado una nueva especie, que se ha clasificado como *F. mexicanum* (Rodríguez-Alvarado *et al.*, 2013).

Estos patógenos pueden presentarse tanto en las puntas de las ramas como en las inflorescencias; en el primer caso, se ocasiona una reducción de los entrenudos y del área foliar, se detiene el crecimiento por pérdida de la dominancia apical y se deforma la parte afectada. El síntoma de las inflorescencias puede ser de dos tipos: el primero es la reducción de la longitud del eje primario y de los ejes secundarios de la panícula, apareciendo las flores como en grupos o racimos que cambian de hermafroditas a masculinas, no producen frutos y si se forman no cuajan y caen, quedando las masas negras de flores hasta la próxima temporada; el segundo tipo se observa solo en los brotes vegetativos y consiste en la deformación de los tejidos, formando un cáncer (Díaz, 1979; Kumar *et al.*, 1993).

La enfermedad muerte descendente causada por *Lasiodiplodia theobromae* se reporta en Indonesia, India, Puerto Rico, El Salvador y México; al parecer es un patógeno poco agresivo, pero algunas condiciones edáficas o ambientales (pedregosidad, presencia de tepetate, suelos pobres en materia orgánica, sequía, precipitaciones bajas) pueden predisponer a los árboles a su ataque. En el Salvador se informa de un 10% de muerte de árboles en una sola plantación (Acuña y Waite, 1977).

En Michoacán, ataca el cultivar Diplomático; también se le reporta en Nayarit y Sinaloa. Se presentan síntomas graduales, comenzando con un secamiento de las ramas terminales de los árboles que avanzan de la punta hacia la base de la rama; las hojas secas caen y el secamiento puede presentarse sólo en un lado del árbol, pero con el tiempo se pudre todo. Al raspar la corteza seca, se puede determinar el avance del hongo por la presencia de una coloración oscura, casi negra debajo de la corteza. El secamiento avanza de las ramas hacia el tronco principal y en este momento ocurre la muerte del árbol; la pudrición no afecta las raíces. En algunos casos, se reporta un exudado de goma, característico de la enfermedad en el tronco o las ramas. Este hongo también puede ocasionar la pudrición de frutos al afectar el pecíolo. En Veracruz, la enfermedad se presenta bajo las mismas condiciones, con la agravante de que en el período de lluvias los árboles no se recuperan, sino que el patógeno avanza más lento, sin poderse observar alguna recuperación. Las variedades que se reportan afectadas por esta enfermedad son Jackeline, Kent, Irwin, Haden, Ciruelo y Manila (Becerra, 1995). La roña causada por *Elsinoe mangiferae* ataca a las hojas, flores, frutos y ramitas. En los estados tempranos la infección es similar a la antracnosis, excepto por la coloración de las manchas que en el primer caso son de color oscuro y en el segundo café. Las lesiones en los frutos se cubren de un tejido con aspecto de corcho. La distorsión de las hojas es particularmente severa en los viveros. La roña del mango usualmente no es importante en las plantaciones comerciales, porque los programas de prevención de la antracnosis también la controlan. Las infecciones en los viveros pueden prevenirse con aplicaciones de cobre neutro en las hojas (Crane y Balerdi, 2018; SENASICA, 2019).

Las fumaginas están presentes en todos los países productores de mango, ya que interfieren con el proceso de fotosíntesis, inhiben el intercambio gaseoso y la transpiración al obstruir los estomas, por lo cual las infestaciones severas retardan el crecimiento y la floración, reducen el potencial productivo de la planta y demeritan la estética del fruto (Mata y Mosqueda, 1995).

Se han descrito muchos géneros y especies de este grupo de patógenos, pero los dos principales agentes causales son *Capnodium mangiferae* y *Meliola mangifera*. *Capnodium mangiferae* se encuentra como una capa superficial con apariencia de tizne sobre el haz de las hojas, pecíolos y frutos, con una consistencia granular, que al frotarla se desprende fácilmente. *Meliola mangiferae* se presenta como manchas negras circulares en ambos lados de la hoja, observándose dos tipos de estructuras, unas granulares y otras con apariencia de cerdas (Prakash y Misra 2001; Becerra y Rosas, 2002). Estos hongos dañan indirectamente las partes vegetativas (hojas, brotes y frutos) donde se encuentran, ya que en la mayoría de los casos están superficialmente adheridos, pero interfieren con la fotosíntesis y pueden ocluir los estomas; al manchar los frutos, éstos pierden calidad. En Malasia al daño causado por este hongo se le nombra mildiú negro (Mata y Mosqueda, 1995). La determinación de la susceptibilidad o tolerancia de materiales de mango a enfermedades causadas por hongos es de vital importancia para su recomendación, para su uso en una región determinada. Debido a la necesidad de contar con esta información, el objetivo de este trabajo fue identificar los mejores cultivares y materiales del Banco de Germoplasma (BG) de mango del INIFAP en Veracruz, con base en su susceptibilidad y tolerancia a hongos fitopatógenos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se efectuó en el Campo Experimental Cotaxtla, localizado en el km 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba en el municipio de Medellín, Veracruz, a 18°55' 56.7" de latitud norte, 96°11' 32.4" de latitud oeste y 17 m de altitud. El clima de la región es Aw0, con temperatura media anual de 25°C, temperatura mínima de 19.1°C en enero y temperatura máxima de 31°C en mayo. La precipitación anual es de 1,360 mm. El suelo que predomina es de origen aluvial, de textura migajón-arcillosa, tipo vertisol, y pH ligeramente ácido. El BG fue establecido en 1973, con una distancia de plantación de 12 x 12 m en el sistema tresbolillo. Cuenta con 55 materiales en número variable (uno a cinco árboles por material).

Especie evaluada y manejo del cultivo

De 2017 a 2023 se determinó la presencia de enfermedades fungosas. Durante enero y febrero de cada año se realizaron muestreos en floración, en marzo y abril la ocurrencia en brotes vegetativos nuevos y de mayo a septiembre la presentación en frutos, para obtener muestras con síntomas de enfermedades (i.e. manchas, pudriciones, tizones). Para la identificación de hongos se utilizaron claves y descripciones de los géneros de hongos presentes (Barnett y Hunter, 1972; Romero, 1988). Se registraron síntomas en hojas e inflorescencias con presencia de manchas o tizones, mientras que en frutos se obtuvieron manchas y en ramas y troncos, pudriciones. Se observaron las muestras en un microscopio estereoscópico Zeiss modelo Discovery V8, para detectar estructuras y colocarlas en una preparación semipermanente con lactofenol y observarlas al microscopio compuesto Olympus modelo SZX 10, para identificar estructuras y por medio de claves taxonómicas e ilustraciones identificar los agentes causales y determinar su género. En caso de no observar estructuras, las muestras de las partes dañadas se colocaron en cámara húmeda, para inducir el desarrollo de las estructuras asexuales y una vez ocurrido esto se realizaron preparaciones temporales, para su determinación taxonómica.

Tratamientos

Los materiales y accesiones con que cuenta el BG se anotan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variedades o materiales presentes en el Banco de Germoplasma de mango del INIFAP en Veracruz.

Rapoza ²	Man Act 18 ¹	Manila ²	Las Maravillas ¹
Tailandia ²	Man Jal 20 ¹	Man Tol 30 ¹	Ruby ²
Brooks ²	Irwin ²	Kent ²	Chausa ²
Manila Rosa V ¹	Momi-K ²	Pope ²	Cambodiana ²
Palmer ²	Man Tol 25 ¹	Mellaco ²	Amini ²
Manila Rosa R ¹	N/1 ²	Tzune ²	Fabian ¹
Haden ²	Diplomático ¹	Davis Haden ²	Ataulfo ¹
Zill ²	Tommy Atkins ²	Lucio II ¹	Manzanillo Nuñez ¹

Springfels ²	Florigon ²	Kensington ²	Thomas ¹
Joe Welch ²	Edward ²	Early Gold ²	Osteen ²
Sin semilla ¹	Carrie ²	Man Act 5 ¹	13-1 ²
Sensation ²	Man Tol 5 ¹	Irwin Rojo ¹	Gomera ²
FC-2 ²	Paheri ²	Carabao ²	July ²
Esmeralda ¹	Keitt ²	Man Act 13 ¹	

¹Materiales mexicanos; ²materiales introducidos.

Resultados y discusión

Se determinó que la enfermedad con mayor impacto fue la antracnosis causada por el hongo *C. gloesporioides*, ya que fue detectada en la mayoría de los materiales evaluados tanto en hojas, inflorescencias, frutos pequeños (tamaño perdigón) y en post-cosecha (Cuadro 2).

Otra enfermedad que sólo es ocasional, pero que cuando ocurre causa mucho daño, es la cenicilla provocada por *O. mangiferae*, la cual se presenta en inflorescencias de enero a marzo y en brotes vegetativos en marzo y abril. La escoba de bruja (*Fusarium* spp.) sólo estuvo presente en los materiales Manila, Haden y Fabián, aunque con baja incidencia. La roña causada por *E. mangiferae* sólo se detectó en los materiales Ataulfo y Fabián, siendo más importante en el primero. La muerte descendente (*L. theobromae*) se observó en los materiales Tailandia, Manila Rosa V, Springfels, Man Jal 20, Florigon, Man Tol 5, Kent, Tzune, Lucio II, Early Gold, Carabao. Man Act 13 y Ruby; esta enfermedad se asocia con áreas de suelo pobre y de escasa precipitación pluvial (Acuña y Waite, 1977).

La antracnosis se observó como un tizón de color café en hojas (Figura 1a), en la flor como manchas de color café y necrosis de la flor (Figura 1b), y como manchas de color café en frutos a nivel de post-cosecha (Figura 1c). La cenicilla se manifestó en follaje tierno, como manchas de polvillo blanco sobre el envés de las hojas (Figura 1d), que llegan a deformar a ésta y ocasionar su caída; además, el daño más importante se presenta en las inflorescencias, como polvillo blanco (Figura 1e), que las seca y ocasiona su caída. La escoba de bruja se presenta en los brotes vegetativos como una especie de hipertrofia (repollos) (Figura 1f) y en las inflorescencias causa un agrandamiento de las flores, que no cuajan ningún fruto (Figura 1 g).

La muerte descendente ocasiona un amarillamiento del follaje con caída posterior del mismo (Figura 1h), iniciando siempre en las ramas terminales y descendiendo sobre el tronco; en ocasiones también ocasiona canchales de color café, que gotean goma en ramas y troncos (Figura 1i).

Cuadro 2. Presencia de enfermedades en las variedades y materiales de mango del Banco de Germoplasma del INIFAP en Veracruz.

Rapoza (a, c)	Man Act 18 (a, c)	Manila (a, c, e)	Las Maravillas (c)
Tailandia (a, m)	Man Jal 20 (a, m)	Man Tol 30 (a, c)	Ruby (a, c, m)
Brooks (f)	Irwin (a, c)	Kent (m)	Chausa (a, c)
Manila Rosa V (c, m)	Momi-K (c)	Pope (a, c)	Cambodiana (c)
Palmer (a, c, f)	Man Tol 25 (a)	Mellaco	Amini (a, c)
Manila Rosa R (a, c)	N/1 (a, c)	Tzune (c, m)	Fabian (a, f, r)
Haden (a, c)	Diplomático (c)	Davis Haden (c)	Ataulfo (a, f, r)
Zill (c)	Tommy Atkins (a)	Lucio II (m)	Manzanillo Nuñez (a)
Springfels (a, c, f, m)	Florigon (m)	Kensington (a, c)	Thomas (a, f)
Joe Welch (a, c)	Edward (a, c)	Early Gold (a, c, m)	Osteen (a, f)
Sin semilla (a, c)	Carrie (a)	Man Act 5 (a)	13-1 (a, f)
Sensation (a)	Man Tol 5 (a, c, m)	Irwin Rojo (a)	Gomera (a, f)
FC-2 (a, f)	Paheri (a, c)	Carabao (a, c, m)	July (a, f)
Esmeralda (a, c, f)	Keitt (c, f)	Man Act 13 (a, m)	

a = antracnosis; c = cenicilla; m = muerte descendente; e = escoba de bruja; f = fumagina; r = roña.

Las fumaginas se presentaron en dos formas: como manchas irregulares de color negro sobre el envés de las hojas (*M. mangiferae*), o como una especie de tizne de color negro sobre hojas y frutos (*C. mangiferae*) (Figuras 1k y 1l). En un trabajo previo en que se caracterizaron materiales de mango de este BG, se determinó que, por sus características morfológicas y rendimiento, los cultivares Chausa, Sensation, FC-2 (introducidos) y Esmeralda y Manila Rosa R (nacionales) pueden ser considerados como alternativas para substituir al cultivar Manila en Veracruz (Becerra *et al.*, 2020).

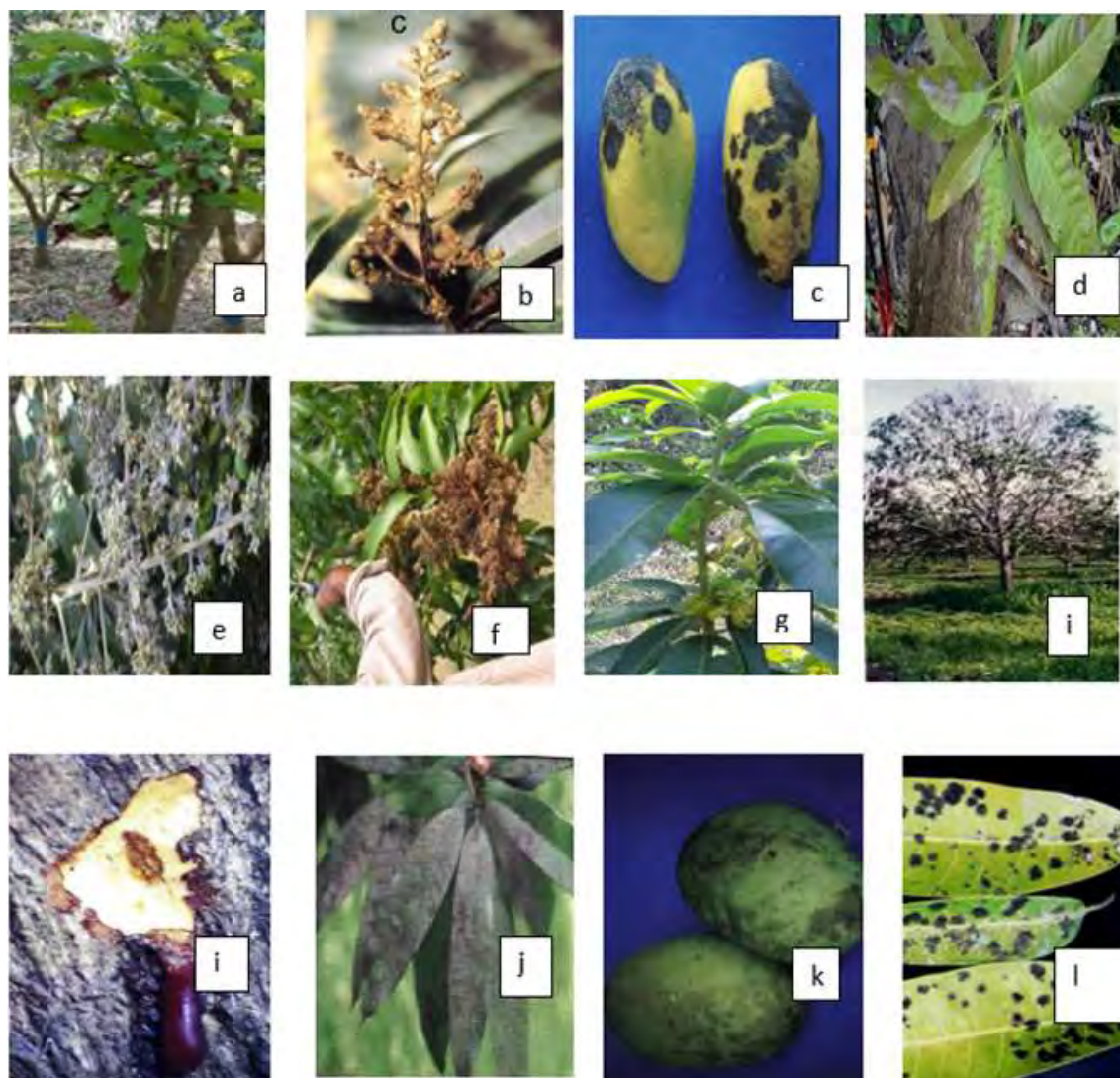


Figura 1. Síntomas de enfermedades en materiales de mango antracnosis (a, b, c), cenicilla (d, e), escoba de bruja (f, g), muerte descendente (h, i), y fumaginas (j, k, l).

Conclusiones

Los materiales Chausa, Sensation, FC-2, Manila Rosa R y Esmeralda presentes en el Banco de Germoplasma de mango del INIFAP, presentan buena tolerancia a antracnosis y cenicilla, consideradas las principales enfermedades del cultivo de mango en Veracruz.

Literatura citada

- Acuña O., H. E. and H. B. Waite. 1977. La muerte regresiva del mango (*Mangifera indica* L.) en el Salvador. Proceedings of the Tropical Region. American Society of Horticultural Science 21:15-16.
- Allende, R., C. Juárez, R. García, A. Carrillo, M. Patiño, y E. Galindo. 2001. *Rhodotorula minuta*, agente de control biológico potencial contra *Colletotrichum gloeosporioides* en mango. Brazilian Phytopathology 26 (supplement):461-462.
- Álvarez L., V., Y. Hattori, C. C. Deocaris, P. C. Mapanao, A. B. Bautista, J. B. Cano M., K. Naito, S. Kitabata, K. Motohashi, and C. Nakashima 2020. *Colletotrichum asianum* causes anthracnose in Philippine mango cv. Carabao. Australasian Plant Disease Notes 15:13.
- Arauz, L. F. 2000. Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. Plant Disease 84:600-611.
- Arias, B. y L. Carrizales. 2007. Control químico de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.) en pre y postcosecha en el municipio de Cedeño, estado de Monagas Venezuela. Bioagro 19:19-25.
- Barnett, H. L. and B. B. Hunter. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. 3rd. ed. Burgess Publishing Company. Minneapolis, MN, USA. 241 p.
- Bautista-Rosales, P. U., M., Calderón-Santoyo, R., Servín-Villegas, N. A. Ochoa-Álvarez, and J. A. Ragazzo-Sánchez. 2013. Action mechanisms of the yeast *Meyerozyma caribbica* for the control of the pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* in mangoes. Biological Control 65:293-301.

- Becerra L., E. N. 1995. Enfermedades del cultivo del mango. p. 83-101. *In*: Mata, B. I. y Mosqueda, V. R. La Producción de Mango en México. UTHEA. México, D. F.
- Becerra L., E.N. y X. Rosas G. 2002. Enfermedades fungosas del cultivo de mango (*Mangifera indica*) en México. Memorias Foro Estatal de Mango. El Rosario, Sinaloa 9 p.
- Becerra L., E. N., X. Rosas G, y V. A. Esqueda E. 2020. Caracterización de accesiones de mango (*Mangifera indica* L.) del Banco de Germoplasma del INIFAP en Veracruz. p. 119-128. *In*: 3er. Congreso Universitario de Ciencias Agroalimentarias. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México., México.
- Chowdappa, P. and K. S. P. Mohan. 2012. Existence of two genetically distinct populations of *Colletotrichum gloeosporioides* Penz in mango from India. Pest Management in Horticultural Ecosystems 18(2):161-170.
- Crane, J. H. and C. F. Balerdi. 2018. El mango en Florida. IFAS Florida, HS1032. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5Carchived%5CHS%5CHS276%5CHS276-472920.pdf> [Consultado el 4 de enero de 2022].
- Fitzell, R. D. 1979. *Colletotrichum acutatum* as a cause of anthracnose of mango in New South Wales. Plant Disease Reports 63:1067-1070.
- Fitzell, R. D. and C. M. Peak. 1984. The epidemiology of anthracnose disease of mango; inoculum sources, spore production and dispersal. Annals of Applied Biology 104:53-59.
- Gañán, L., E. Álvarez, y J. Castaño-Zapata. 2015. Identificación genética de aislamientos de *Colletotrichum* spp. causantes de antracnosis en frutos de aguacate, banano, mango y tomate de árbol. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 39(152):339-347.

- Khalid, P. A. and S.S. Alam. 2000. Powder mildew of mango a review. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 3. (7): 1119-1122.
- Kumar, J., U.S. Singh and S.P.S. Beniwal, 1993. Mango malformation: One hundred years of research. *Annual Review of Phytopathology* 3:217–32.
- Mata B., I. y R. Mosqueda V. 1995. La Producción de mango en México. UTHEA. México, D. F. 159 p.
- Mosqueda V., R., F. De los Santos, E. N. Becerra L., H. Cabrera M., D.A. Ortega Z. y A.L. Del Ángel P. 1996. Manual para cultivar mango en la planicie costera del Golfo de México. Folleto Técnico No. 15. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 130 p.
- Nelson, S. C. 2008. Mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). PD-48. University of Hawaii at Manoa. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Cooperative Extension Service. Honolulu, HW, USA. 9 p.
- Pacheco G., J. E. 1987. Identificación de los principales hongos presentes en el cultivo de mango manila *Mangifera indica* L., en cinco municipios productores del estado de Veracruz. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, 90 p.
- Pérez-Rodríguez, A., J.A. Mora-Aguilera, A. C. de León-García, J.S. Sandoval I., E. Hernández-Castro, y A. Vásquez-López. 2018. Respuesta de diez cultivares de mango amarillo al daño por cenicilla (*Erysiphe quercicola*) en México revista mexicana de Fitopatología 36(2):196-214.
- Ploetz, R. C. and S. Freeman. 2009. Foliar, floral and soilborne diseases. p. 231-302. *In*: Litz, R. E. (ed.). *The Mango. Botany, Production and Uses*. 2nd ed. CAB International. Wallingford, UK.

- Prakash, O. and A.K. Misra. 2001. Diseases of mango and their management. In: Diseases of Fruits and Vegetables and their Management (pp. 47-72). Kalyani Publishers, Ludhiana. Punjab. India.
- Rodríguez-Alvarado, G., S. Fernández-Pavía, G. Otero-Colina, R. C. Ploetz, T. Aoki, K. O'Donnell, M. Maymon, and S. Freeman. 2013. Identification and characterization of *Fusarium mexicanum* causing mango malformation disease in Mexico. *Acta Horticulturae* 992:377-384.
- Romero C., S. 1988. Hongos fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México., México. 347 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2019. Guía de síntomas y daños de la roña del mango (*Elsinoë mangiferae*). [https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Vigilancia%20pasiva/Guias%20de%20síntomas/Ro%C3%B1a%20del%20mango%20\(Elsinoe%20mangiferae\).pdf](https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Vigilancia%20pasiva/Guias%20de%20síntomas/Ro%C3%B1a%20del%20mango%20(Elsinoe%20mangiferae).pdf) [consultado el 29 de septiembre de 2022].
- Serra, I. M. R. S., S. B. Coelho, R. M. G. Ferraz, G. V. V. Montarroyos A. and D. S. Silva. 2011. Phenotypic and pathogenic diversity in *Colletotrichum*, causal agent of anthracnose in mango and identification of species. *Summa Phytopathologica* 37(1):42-51.
- Sharma, G., M. Gryzenhout, K. D. Hyde, A. K. Pinnaka, and B. D. Shenoy, 2013. First report of *Colletotrichum asianum* causing mango anthracnose in South Africa. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-08-13-0837-PDN> [consultado el 29 de septiembre de 2022].
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Avance de siembras y cosechas. Mango Veracruz. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ [consultado el 4 de julio de 2022].

Singh, L.B., S.M. Singh, and A.S. Nirwan, (1961). Studies on mango malformation. Review-Symptoms, extent, intensity and cause. Horticultural Advance, 5:197-217.

Vega, P. A. y S. M. Miranda. 1993. Distribución, incidencia y severidad de la escoba de bruja del mango (*Mangifera indica* L.) en el Valle de Apatzingán, Michoacan. Revista Mexicana de Fitopatología 11:1-4.

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE CAFÉ VERDE EXTRAÍDOS POR MICROONDAS Y ULTRASONIDO

Erick Xavier Escobar Hernández²⁴, Minerva Rosas Morales^{24*} y Gabriel Ríos Cortes²⁵

Resumen

El café verde o café oro es la semilla de cafeto sin tostar, recientemente este producto ha tomado relevancia debido a que contiene compuestos como ácido clorogénico, el cual puede aportar beneficios al consumidor; una de las propiedades que se destaca de este compuesto es su potencial antioxidante. La recuperación de este compuesto suele realizarse por metodologías tradicionales que implican una gran demanda de tiempo y una cantidad considerable de solventes. Actualmente, existen opciones para recuperar compuestos como la extracción asistida por ultrasonido (EAU) y la extracción asistida por microondas (EAM), técnicas consideradas no convencionales y basadas en fenómenos físicos que permiten recuperar compuestos de manera más eficiente, reducen significativamente el uso de solventes y el tiempo de operación, resultando en un proceso sostenible. Además, ambas técnicas permiten preservar la integridad del compuesto. El objetivo de este proyecto fue determinar compuestos fenólicos en muestras de café verde utilizando métodos no convencionales para su recuperación. Se realizó la extracción de compuestos con actividad antioxidante de café verde a partir de muestras obtenidas de la sierra nor-oriental del estado de Puebla, México. Para la recuperación de compuestos fenólicos se utilizaron dos metodologías consideradas no convencionales. Extracción asistida por microondas y ultrasonido. Para la EAM se realizaron experimentos bajo los siguientes parámetros: tiempo: 5 y 10 min, temperatura: 70 y 90°C, solventes: Et:H₂O 80:20 y H₂O 100%. En la EAU se utilizaron como variables el tiempo: 5 y 10 min y solventes: Et:H₂O 80:20 y H₂O 100%. Después de su obtención, los extractos se sometieron a análisis de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, se determinó la actividad antioxidante por DPPH. El contenido de fenoles fue mayor en las muestras extraídas por EAM respecto a la EAU. No se identificaron diferencias entre ambos métodos con respecto a la actividad antioxidante.

Palabras clave: compuestos fenólicos, extracción, DPPH

²⁴ Instituto Politécnico Nacional, Centro de investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México.

²⁵ Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Ingeniería Química. *Autor de correspondencia: mrosasmo@ipn.mx

Introducción

El café se considera una de las bebidas más consumidas e importantes a nivel mundial, esta bebida ha tomado relevancia, no solo por su sabor y aroma (González-Vázquez *et al.*, 2023), sino también por las propiedades que la bebida puede aportar al consumidor; una de la más destacables, es su actividad antioxidante. El café contiene una gran cantidad de compuestos, los cuales son responsables de las propiedades benéficas, dentro de los más relevantes se encuentran compuestos fenólicos, como el ácido clorogénico y alcaloides, como la cafeína. Ambos compuestos están en la bebida y en el grano verde. En el grano verde, el contenido del ácido clorogénico se encuentra entre 3.5 y 14%, dependiendo de la variedad (Pimpley *et al.*, 2020), mientras que, la cafeína está presente entre 0.8 y 1.55% (Wale *et al.*, 2024). Recientemente el grano verde de café ha sido foco de estudio debido a su potencial nutricional. Actualmente los métodos para la recuperación de compuestos bioactivos que se utilizan son métodos convencionales, como la extracción soxhlet. Éstos presentan algunas desventajas, como tiempos largos de extracción, alto consumo de energía y grandes cantidades necesarias de solvente (Usman *et al.*, 2022).

En este trabajo se evalúa la implementación de dos técnicas consideradas como novedosas para recuperación de compuestos, que han surgido como métodos prometedores y eficientes: la extracción asistida por microondas (EAM) y la extracción asistida por ultrasonido (EAU). Estas técnicas ofrecen ventajas significativas en términos de rapidez, eficiencia y selectividad en la extracción de los compuestos deseados del café verde, en comparación con métodos convencionales.

La extracción asistida por microondas implica la aplicación de radiación electromagnética de microondas para calentar selectivamente el solvente y el material de muestra, facilitando la liberación de los compuestos deseados (Bitwell *et al.*, 2023). Por otro lado, la extracción asistida por ultrasonido se fundamenta en el fenómeno de cavitación, que consiste en la formación de burbujas o cavidades en un líquido, que ocurre cuando se reduce la presión local hasta el punto de vaporizarse. Estas burbujas pueden colapsar violentamente y generar ondas de choque, lo que puede causar daño a las superficies sólidas cercanas (Kumar *et al.*, 2021).

Materiales y métodos

Recuperación de muestras

Durante la cosecha diciembre-abril 2023-2024 se recolectaron seis muestras de café verde de la zona nor-oriental de Puebla, proporcionadas por la cooperativa “Directo al origen”, ubicada en Totutla en el municipio de Huitzilan de Serdán, Puebla, México. Las muestras se almacenaron en oscuridad y al vacío para mantener la integridad de las semillas.

Diseño experimental

Se usó un diseño factorial. Para la EAM se utilizaron como factores el tiempo, la temperatura y el solvente, mientras que, para la EAU sólo se tomaron en cuenta el tiempo y el solvente.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza en el programa Origin PRO-2021® y para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, se utilizó la prueba Tukey ($p < 0.05$).

Extracción asistida por microondas

La extracción de café verde mediante microondas se realizó usando un reactor de microondas Anton Paar Monowave™ 300 (Figura 1).



Figura 2. Reactor de microondas Anton Paar Monowave™ 300. Recuperado de: www.anton-paar.com

Las variables del experimento incluyeron temperatura, tiempo y tipo de solvente. Se eligieron temperaturas de 70 y 90°C, tiempos de 5 y 10 min y los solventes utilizados fueron agua y etanol al 80%. La potencia se mantuvo constante en 850W.

Extracción asistida por ultrasonido

La recuperación de compuestos con actividad antioxidante se realizó utilizando un procesador ultrasónico de 500W Cole-Parmer®. Se mantuvieron constantes la amplitud 50% y los intervalos de emisión de ultrasonido 1 s. Se utilizaron como factores, el solvente agua:etanol 80% y el tiempo, el cual se determinó en 5 y 10 min. Para la extracción se pesaron 2 g de cada una de las muestras y se le añadieron 20 mL de solvente, se sometieron a sonicación durante el tiempo indicado en el experimento.



Figura 3. Procesador ultrasónico de 500W Cole-Parmer®. Recuperado de: www.coleparmer.com

Determinación de la actividad antioxidante

La capacidad antioxidante se evaluó mediante el método DPPH, siguiendo la metodología descrita por Masek et al. (2020) con algunas modificaciones. Inicialmente, se pesaron 3.9 mg de reactivo DPPH y se colocaron en un matraz aforado ámbar, al cual se le añadieron 100 mL de una solución de metanol:agua al 80%. La mezcla se colocó en un baño ultrasónico durante 20 min para homogenizar la solución.

Una vez preparada la solución, se mezcló el reactivo con cada una de las muestras. Se tomaron 450 μL de la solución de DPPH y se colocaron en tubos Eppendorf de 1.5 mL, luego se añadieron 50 μL de cada muestra y se dejaron reposar en oscuridad a 37°C durante 30 min. Después del tiempo de incubación, se tomaron 200 μL de la mezcla de reacción y se colocaron en una placa de 96 pocillos por triplicado para su lectura en un espectrofotómetro a 517 nm. Se utilizó metanol al 80% como blanco y 200 μL de reactivo DPPH como control. Finalmente, la capacidad antioxidante se determinó utilizando la fórmula correspondiente.

$$\% \text{ de actividad antioxidante} = \frac{\text{Abs del control} - \text{Abs de la muestra}}{\text{Abs control}} * 100$$

Determinación de fenoles totales

La concentración de fenoles totales se determinó utilizando el método Folin-Ciocalteu. Se preparó el reactivo Folin-Ciocalteu en una proporción 1:1 con agua; por otra parte, se hizo una solución de hidróxido de sodio a concentración 0.35M. Se hizo una curva de calibración usando ácido gálico, a concentraciones de 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4 y 2 mg/L. Para la reacción, se mezclaron 100 μL de Folin con 100 μL de cada muestra y se dejaron reposar durante 8 min a temperatura ambiente. Después, se añadieron 200 μL de NaOH 0.35M y la mezcla se dejó reposar otros 10 min. Finalmente, las muestras se colocaron en una placa de 96 pocillos y se leyeron en un espectrofotómetro a 760 nm. Como control, se usaron 100 μL de Folin, 100 μL de agua y 200 μL de NaOH 0.35M.

Resultados y discusión

Actividad antioxidante

En el Cuadro 1 se muestra la actividad antioxidante de los lotes tratados por el método EAM. De acuerdo con los resultados no se observó una variación en el porcentaje de actividad antioxidante entre todos los lotes analizados; estos datos coinciden con lo descrito por Upadhyay *et al.* (2012), quienes realizaron extracciones con una metodología similar a la implementada en este estudio, donde se encontró una actividad antioxidante de entre 34 y 80%.

Al analizar de forma individual cada lote se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$); sin embargo, en la mayoría de los lotes analizados, el tratamiento que mostró mayor actividad antioxidante fue 7010ET.

Cuadro 1. Actividad antioxidante en muestras de EAM (%).

Tratamiento	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	TEMIMIL	MAC
90 10 ET	84.53 a	86.05 a	85.54a	84.16 a	76.54 ab	81.118 a
90 10 AG	60.20 c	35.07 d	86.20a	81.77 a	44.44 bc	83.079 a
90 5 ET	82.28 a	84.96 a	83.07a	85.25 a	85.76 a	82.570 a
90 5 AG	86.20 a	74.58 b	71.02 ab	38.70 a	83.87 a	82.352 a
70 10 ET	86.85 a	85.69 a	86.78a	86.41a	21.27 c	78.068 a
70 10 AG	85.76 a	46.33 c	17.21c	39.07b	23.09 c	12.926 b
70 5 ET	86.05 a	87.29 a	86.63a	41.10b	82.64 a	83.442 a
70 5 AG	72.11 b	83.87 a	53.08b	86.27b	31.08 c	35.729 b

Letras diferentes en la misma columna indica diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

En el Cuadro 2 se observa el porcentaje de actividad antioxidante en los lotes tratados por el método de EAU. De acuerdo con los resultados, no se observaron diferencias en la actividad antioxidante al comparar de forma global los lotes; adicionalmente, estos datos concuerdan con lo descrito por Priftis et al. (2015), quienes mencionan que los extractos obtenidos bajo la misma metodología tuvieron un porcentaje de actividad antioxidante de alrededor de 85%, similar a los resultados obtenidos en este estudio.

Cuadro 2. Capacidad antioxidante en muestras de EAU (%).

Tratamiento	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	TEMIMIL	MAC
10 ET	82.57 a	86.12a	86.20 a	86.27 a	85.76 a	86.49 a
10 AG	79.30 a	34.05b	85.62 a	86.20 a	73.12 a	73.92 b
5 ET	67.97 b	86.41a	79.52 b	74.43 b	86.27 a	86.27 a
5 AG	86.85 a	58.60c	76.76 b	74.94 b	74.29 a	74.80 b

Letras diferentes en la misma columna indica diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Al comparar cada uno de los lotes de forma individual respecto a los tratamientos, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$): sin embargo, en la mayoría de los lotes analizados el tratamiento que mostró mejor actividad antioxidante fue 10ET.

Contenido de fenoles totales

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del contenido de fenoles totales de los lotes tratados por EAM. Al analizar los resultados por lote respecto al tratamiento, se encontró que en el LOTE 1, LOTE 3 y TEMIMIL no hubo diferencias significativas. Mientras que en el resto de los lotes sí se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Contenido de fenoles totales en muestras de EAM (mg equivalentes GAE/mL).

Tratamiento	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	TEMIMIL	MAC
90 10 ET	14.75a	15.40b	21.26 a	16.35b	22.55a	18.16abcd
90 10 AG	22.53 a	22.35ab	25.29 a	26.49a	26.37a	23.90abc
90 5 ET	20.65a	1.30c	18.20 a	23.62ab	18.78a	16.23cd
90 5 AG	23.46a	25.93a	29.59 a	27.29a	24.68a	22.95abc
70 10 ET	16.48 a	21.68 ab	19.20 a	16.61b	15.35a	14.87d
70 10 AG	21.52 a	16.48 ab	26.17a	24.01ab	24.56a	23.23abc
70 5 ET	19.75 a	17.55 ab	20.37 a	24.55 ab	15.55a	16.655cd
70 5 AG	22.81 a	17.78 ab	24.98 a	24.91ab	17.66a	24.828a

Letras diferentes en la misma columna indica diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

La mayor cantidad de compuestos fenólicos totales se recuperó cuando se aplicó el tratamiento 905AG, ya que la mayoría de los lotes presentaron concentraciones similares al aplicarles el mismo tratamiento. Lo anterior indica que el tratamiento 905AG es una buena opción para aplicarse en futuros experimentos. Adicionalmente, los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por Alnsour *et al.* (2022), quienes encontraron que extractos de café verde obtenidos de diferentes regiones del mundo presentaron contenido de fenoles totales similares a los obtenidos en este estudio.

En el Cuadro 4 se observan los resultados de los lotes tratados por EAU. Al analizar los resultados por lote respecto al tratamiento, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$)

en cada uno de ellos. La mayor cantidad de compuestos fenólicos totales recuperados se encontró en el LOTE 1, LOTE 2, TEMIMIL y MAC cuando fueron sometidos al tratamiento 10AG. Adicionalmente, los resultados obtenidos son similares al estudio reportado por Wen *et al.* (2019), donde se utilizó EAU para la recuperación de compuestos fenólicos.

Cuadro 4. Contenido de fenoles totales (mg equivalentes GAE/mL).

Tratamiento	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	TEMIMIL	MAC
10 ET	10.85ab	10.35 ab	8.58b	7.39c	10.62b	11.17b
10 AG	15.46a	14.59 a	8.24b	9.19bc	17.59a	18.40a
5 ET	9.33b	8.10b	15.08a	12.08ab	9.22b	10.81b
5 AG	10.84ab	10.13ab	13.35ab	16.24a	12.11b	12.93b

Letras diferentes en la misma columna indica diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Conclusiones

1. De acuerdo con los resultados obtenidos para ambos métodos de extracción se puede concluir que en el caso de la actividad antioxidante no existe diferencia significativa en los tratamientos aplicados, ya que, el porcentaje de actividad antioxidante comparada con la literatura los resultados son similares por lo cual sería conveniente la aplicación de cualquiera de los tratamientos. 2. En el caso de fenoles totales se observa que las muestras tratadas con microondas permiten recuperar mayor cantidad de compuestos de interés que las muestras tratadas con ultrasonido. Sin embargo, en ambos casos se sugiere el uso en futuros experimentos de los tratamientos 905AG y 10AG respectivamente, debido a que en ellos se observó que la cantidad de compuestos recuperados fue muy similar para todas las muestras analizadas.

Literatura citada

- Alnsour, L., R. Issa, S. Awwad, D. Albals and I. Al-Momani. 2022. Quantification of total phenols and antioxidants in coffee samples of different origins and evaluation of the effect of degree of roasting on their levels. *Molecules* 27:1591.
- Bitwell, C., S. S. Indra, C. Luke and M. K. Kakoma. 2023. A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Sci. Afr.* 19:e01585.
- González-Vázquez, B. M., M. Rosas-Morales, D. C. Hernández y A. M. Ríos-Cortés. 2023. Aprovechamiento del bagazo de café, una alternativa para enriquecer alimentos a partir de residuos. *RD-ICUAP* 9(26):136-146.
- Kumar, K., S. Srivastav and V. S. Sharanagat. 2021. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrason. Sonochem.* 70:105325.
- Masek, A., M. Latos-Brozio, J. Kałużna-Czaplińska, A. Rosiak and E. Chrzescijanska. 2020. Antioxidant properties of green coffee extract. *Forests* 11:557.
- Pimpley, V., S. Patil, K. Srinivasan, N. Desai and P. S. Murthy. 2020. The chemistry of chlorogenic acid from green coffee and its role in attenuation of obesity and diabetes. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 50(10):969-978.
- Priftis, A., D. Stagos, K. Konstantinopoulos, C. Tsitsimpikou, D. A. Spandidos, A. M. Tsatsakis et al. 2015. Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Mol. Med. Rep.* 12(5):7293-7302.
- Upadhyay, R., K. Ramalakshmi and L. J. M. Rao. 2012. Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans. *Food Chem.* 130(1):184-188.

- Usman, I., M. Hussain, A. Imran, M. Afzaal, F. Saeed, M. Javed et al. 2022. Traditional and innovative approaches for the extraction of bioactive compounds. *Int. J. Food Prop.* 25(1):1215-1233.
- Wale, K., K. Tolessa, M. Atlabachew, B. Mehari, M. Alemayehu, D. A. Mengistu et al. 2024. Level of caffeine, trigonelline and chlorogenic acids in green coffee (*Coffea arabica* L.) beans from Amhara region, Ethiopia. *J. Agr. Food Res.* 16:101082.
- Wen, L., Z. Zhang, D. Rai, D.-W. Sun and B. K. Tiwari. 2019. Ultrasound-assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from coffee silverskin: Impact on phenolic content, antioxidant activity, and morphological characteristics. *J. Food Process Eng.* 42(6):e13191.

CINÉTICA DE VOLATILIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO EN SUELOS ALCALINOS A TRAVÉS DE UN GRADIENTE DE ARCILLA

Alejandro Pérez Rosales^{26*}, Edwin Javier Barrios Gómez²⁶, Sandra Eloísa Rangel Estrada²⁶,
Marian Guadalupe Hernández Arenas²⁶ y Jaime Canul Ku²⁶

Resumen

El nitrógeno disponible para las plantas es el elemento con mayor limitación en los suelos, por lo que se ha incrementado el uso de fertilizantes nitrogenados; sin embargo, su eficiencia de recuperación es menor al 50%. Entre el 10 y el 60% del N utilizado como amonio en la agricultura se pierde por volatilización como resultado de la adsorción del amonio en los coloides, y es altamente sensible a $\text{pH} > 7$, y al tipo y cantidad de las arcillas. El objetivo de esta investigación fue estimar la tasa de volatilización de amoniaco a través de un gradiente de arcilla con niveles crecientes de amonio en suelos alcalinos. Se incubaron muestras de 25 g de suelo del ex-lago de Texcoco a temperatura ambiente por tres días, con secado al aire, tamizado en malla 10 y mezcla con bentonita para simular contenidos de arcilla de 17.5%, 22.5% y 32.5%. La mezcla se depositó en un recipiente plástico con sello hermético, con 12.5 ml de una solución de sulfato de amonio a concentraciones de: 150, 300, 450, 600 y 750 mg N/kg de suelo. El amoniaco se recuperó con una solución de ácido bórico e indicadores y se determinó por volumetría con ácido sulfúrico 0.005 N. El experimento se hizo por triplicado con un diseño complementario al azar con los factores concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$ y contenido de arcilla del suelo. Se realizó análisis de regresión lineal simple, análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey, utilizando el software SAS OnDemand for Academics. La volatilización de NH_3 presenta una tendencia lineal al incrementar los niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ ($P < 0.01$), independiente del contenido de arcilla. La tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ osciló de 0.02 a 0.03 mg por mg de N aplicado por kilogramo de suelo. Se encontraron diferencias en el contenido de arcillas, dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ y su interacción ($P < 0.01$), y en el contenido de arcilla sobre la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P < 0.05$). Al incrementarse el contenido de arcilla en el suelo disminuye la volatilización y la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$.

Palabras clave: textura, amonio, alcalino, capacidad de intercambio catiónico

²⁶ Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia: fitotecn@hotmail.com

Introducción

El nitrógeno (N) disponible para las plantas es el elemento con mayor limitación en el suelo (Martínez-Dalmau *et al.*, 2021), por ello el uso de los fertilizantes nitrogenados a nivel mundial se ha incrementado anualmente cerca del 1.4% durante la última década, sin embargo, su eficiencia de recuperación es menor al 50% (Panday *et al.*, 2020; Mahmud *et al.*, 2021). Aproximadamente el 80% del N utilizado en la agricultura se pierde por lixiviación, escorrentía y emisiones gaseosas, siendo el óxido nitroso ($\text{N}_2\text{O-N}$) y el amoníaco ($\text{NH}_3\text{-N}$), los gases que predominan con 4 Tg N/año y 12 Tg N/año, respectivamente (Krol *et al.*, 2020). La volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ representa del 10 al 60% del total del N aplicado como fertilizante amoniacal y ocurre unos días después de su aplicación (Chu *et al.*, 2020).

La volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ es el resultado de la adsorción del amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) en los coloides y su interacción con las propiedades físicas y químicas del suelo (Wang *et al.*, 2023). Es altamente sensible a pH y a la concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$. Los incrementos de pH promueven la formación de $\text{NH}_3\text{-N}$ (Shi *et al.*, 2024), es decir, a $\text{pH} > 7$ la formación de $\text{NH}_3\text{-N}$ aumenta a causa de la alta concentración del radical oxidrilo (OH^-) que reacciona con el $\text{NH}_4\text{-N}$ (Skorupka y Nosalewicz, 2021). Esta dependencia entre el pH y el equilibrio del $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3\text{-N}$ (Pelster *et al.*, 2019), incrementa exponencialmente la formación de $\text{NH}_3\text{-N}$ (Ohnemus *et al.*, 2021). En suelos calcáreos las pérdidas son de 50% (Powlson y Dawson, 2021).

Las arcillas, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), la textura, la materia orgánica (Cassity-Duffey *et al.*, 2020), y la capacidad de amortiguamiento del suelo, determinan la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$, ya que se correlacionan con mayores tasas de adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$. Los suelos arcillosos presentan una menor volatilización que los arenosos (Pelster *et al.*, 2019; Mazloomi y Jalali, 2019), es decir, la cantidad de N que se pierde por volatilización está significativamente influida por la textura del suelo, siendo mayor en suelos de textura gruesa, que en textura fina (Al-Badrani *et al.*, 2023). La adsorción y desorción del $\text{NH}_4\text{-N}$ en el suelo es altamente dependiente del tipo y cantidad de arcillas; estos minerales con reactividad química, se agrupan de acuerdo con sus capas de tetraedros de silicio y octaedros de aluminio (1:1 y 2:1). Las arcillas del tipo 2:1, presentan alta C.I.C. y mayor superficie específica, en relación con las arcillas 1:1, permitiendo una mayor adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ (350 a 3800 kg/ha en los primeros 30 cm de profundidad), siendo las vermiculitas, ilitas y esmécticas las que

predominan en estos suelos (Kome *et al.*, 2019). Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue estimar la tasa de volatilización de amoníaco a través de un gradiente de arcilla con niveles crecientes de amonio en suelos alcalinos.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, en el laboratorio de análisis químico de suelos del Departamento de Suelos. Para estimar la tasa de volatilización se realizaron incubaciones de suelo secado al aire y tamizado a malla 10. A fin de incrementar el contenido de arcilla en las muestras de suelo, se adicionaron concentraciones crecientes de bentonita, debido a que este mineral es una arcilla expandible del grupo de las montmorillonitas, lo que le permite presentar una gran afinidad y capacidad de adsorción de cationes, cuyas características son: pH_{10:1}: 9.42, C. E. _{10:1}: 1.36 dS/m, CIC: 63.23 meq/100 g S, carbonatos: 1.5 mmol/L, bicarbonatos: 82.49 mmol/L y arcilla: 95.84%. La adición de este mineral permitió simular contenidos de arcilla de 17.5%, 22.5% y 32.5%. Las muestras de suelo se obtuvieron del ex-lago de Texcoco con 12.5% de arcilla, pH: 9.6, C.E. 389 μ S/cm y fósforo: 32.0 mg/kg, C.I.C.: 8.78 Cmol/kg S y carbono orgánico soluble: 1.60 g/kg. Una vez mezclada la muestra y la bentonita se pesaron 25 gramos, se depositaron en un recipiente plástico de sello hermético, al que se le adicionó 12.5 mL de una solución de sulfato de amonio, que para el experimento se consideró el 50% (W/V). Se utilizó sulfato de amonio en las siguientes concentraciones 150, 300, 450, 600 y 750 mg N/kg de suelo). La cuantificación del amoníaco recuperado consistió en utilizar un recipiente de 100 mL con una solución de 50 mL de ácido bórico (20 g/L) mezclada con los indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo, el cual se depositó al interior del recipiente hermético junto a la muestra de suelo tratada con la solución de sulfato de amonio. Finalmente, el recipiente se selló herméticamente y se dejó incubar a temperatura ambiente durante tres días. La determinación del amoníaco recuperado en la solución de ácido bórico se determinó por volumetría, se ajustó la concentración de ácido sulfúrico a 0.005 N. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con dos factores (concentración de NH₄-N y contenido de arcilla del suelo) y tres replicas. El análisis de la tasa de volatilización se realizó por regresión lineal simple. Las dosis de NH₄-N se

analizaron para cada nivel de arcilla y través de regresión lineal se obtuvo la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$; posteriormente, estas tasas de volatilización se graficaron en cada nivel de arcilla, a fin de evaluar la influencia del contenido de arcilla sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ al NH_3 recuperado. Se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey, utilizando el software SAS OnDemand for Academics.

Resultados y discusión

Efecto del contenido de arcilla del suelo y las dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$

De acuerdo con el análisis de varianza de regresión para los cinco niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ en cada nivel de arcilla, se encontró que el comportamiento de la volatilización de NH_3 presenta una tendencia lineal proporcional con el incremento de los niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ aplicado ($P < 0.01$) (Cuadro 1), debido a que existe una correlación positiva entre las emisiones de $\text{NH}_3\text{-N}$ y la concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$ (Li *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la regresión lineal para cuatro contenidos de arcilla del suelo y cinco dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$.

FV	GL	Suma de cuadrados			
		12.5	17.5	22.5	32.5
		Arcilla (%)			
Reg	1	500.89**	430.56**	331.95**	282.87**
Error	13	0.48	0.57	0.61	0.69
Total	14				

FV: Fuente de variación; GL: Grados de Libertad; ** $P < 0.01$.

Existe una tendencia lineal entre la concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$ aplicado y la cantidad de $\text{NH}_3\text{-N}$ recuperado, independiente del contenido de arcilla, dado que este comportamiento lineal se presenta en cada nivel de arcilla evaluado. La tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ osciló de 0.02 a 0.03 mg por mg de N aplicado por kilogramo de suelo, con coeficientes de correlación

superiores al 97% (Figura 1). Minato *et al.* (2020) mencionan que la volatilización acumulada de $\text{NH}_3\text{-N}$, presenta una tendencia sigmoïdal con incrementos graduales, cuya primera etapa tiene una alta tasa de emisión de $\text{NH}_3\text{-N}$, que alcanza su máximo 72 h después de la aplicación ($0.4 \text{ kg/ha/día N-NH}_3$), siendo constante durante los primeros 5 días.

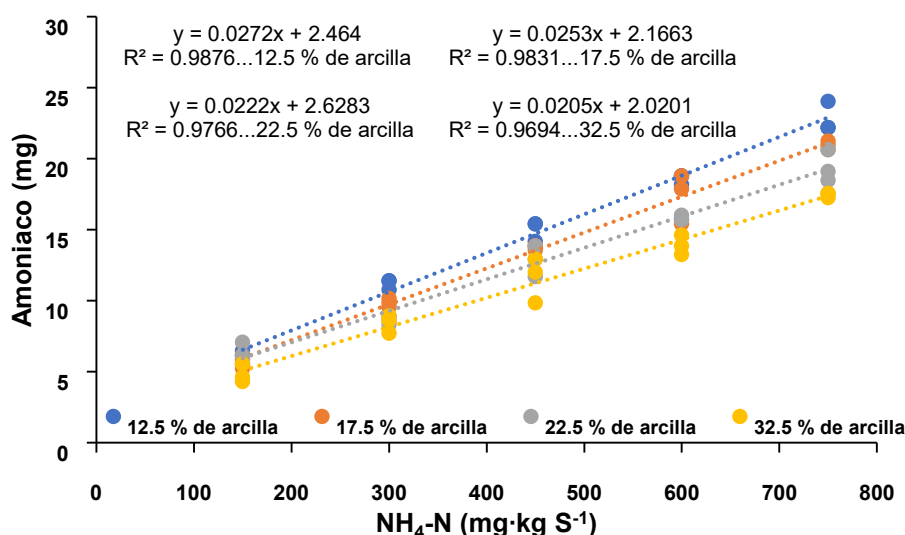


Figura 1. Modelos de regresión lineal para cinco niveles de concentración de amonio y de cuatro concentraciones de arcilla del suelo sobre la volatilización de amoniaco.

Las pérdidas de $\text{NH}_3\text{-N}$ registradas durante la incubación con las diferentes dosis de N (150, 300, 450, 600, 750 mg/kg S), sugieren que este elemento bajo las condiciones del experimento ocurre inmediatamente después de aplicación, y que en sus primeras etapas el suelo no tiene la capacidad de absorber el $\text{NH}_4\text{-N}$ en las arcillas. Dari y Rogers (2022), encontraron que la máxima volatilización ocurre entre 4 y 8 días después de la aplicación (8 al 11% del N total aplicado); estas emisiones son originadas por la reactividad del $\text{NH}_4\text{-N}$ con el contenido OH^- presente en el suelo, es decir, el proceso de volatilización después de la aplicación es mayoritariamente químico dado que a medida que el pH se incrementa de 6 a 10 se incrementan los sitios de unión aniónica que reaccionan con el $\text{NH}_4\text{-N}$, reduciendo la concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$ y a la vez su capacidad para ser adsorbido por las arcillas del suelo. En el análisis de varianza para el contenido de arcillas, dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ y la interacción contenido de arcillas y dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$, se encontraron diferencias altamente significativas

(Cuadro 2). Corrêa *et al.* (2021) indican que el incremento en las dosis de N, incrementan linealmente la volatilización y que ello es independiente de la fuente amoniacal. En el contenido de arcilla se aprecia una mayor adsorción del $\text{NH}_4\text{-N}$ conforme se incrementa el contenido, dado que existe una correlación negativa entre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ y el contenido de arcilla del suelo y la C.I.C. (Chuong *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Análisis de varianza del efecto de cuatro contenidos de arcilla del suelo y cinco dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$.

FV	GL	SC (mg de NH_3)	F _c
Contenido de arcilla en el suelo (A)	3	98.99	53.73**
Dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ (B)	4	1528.12	622.03**
AB	12	23.042	3.13**
Error	40	24.57	
Total		1674.722	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de Libertad; SC: Suma de cuadrados; ** $P < 0.01$.

La volatilización de NH_3 es una reacción química regida por el pH del suelo, sin embargo, se ha encontrado que el contenido de arcilla en el suelo tiende a disminuirla, dado que en suelos alcalinos y con altos niveles de arcilla o con valores elevados de C.I.C, el amonio aplicado es sorbido por los sitios de intercambio de estas arcillas (Wester-Larsen *et al.*, 2022). Con la comparación múltiple de medias, se determinó que, al incrementarse el contenido de arcilla en el suelo, se disminuye la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$; así mismo, se encontraron diferencias estadísticas para cada nivel evaluado (Cuadro 3), al incrementarse el contenido de arcilla en el suelo, se incrementan los sitios de intercambio catiónico, y aumenta la capacidad del suelo para absorber el $\text{NH}_4\text{-N}$. Foereid *et al.* (2019) señalan que la aplicación de 10 t/ha zeolita aumenta la adsorción de NH_4 , y no limita su disponibilidad al cultivo. En cada nivel de las dosis aplicadas de $\text{NH}_4\text{-N}$ se presentaron diferencias estadísticas sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$. La dosis de 750 mg $\text{NH}_4\text{-N/kg}$ S, genera la mayor cantidad de $\text{NH}_3\text{-N}$ volatilizado; de igual forma existe una relación proporcional entre las dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ aplicado y $\text{NH}_3\text{-N}$ generado (Cuadro 4), lo que concuerda con Wang *et al.* (2021), quienes mencionan que la volatilización

de $\text{NH}_3\text{-N}$ (4.3 mg, 5.27 mg y 6.32 mg) aumenta gradualmente a medida que se incrementa la dosis de N aplicado (26.6 mg, 48.3 mg y 69.0 mg).

Cuadro 3. Efecto del contenido de arcilla del suelo del sobre y los niveles de sulfato de amonio sobre la volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$.

Contenido de arcilla del suelo (g/kg S)	NH_3 (mg)	Dosis de $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg S)	NH_3 (mg)
125.0	17.7333 a*	750	20.1417 a*
175.0	13.5467 b	600	16.4167 b
225.0	12.6067 c	450	13.3083 c
325.0	11.2267 d	300	9.5167 d
DMS	0.767	150	5.7583 e
		DMS	0.9138.

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$).

Efecto del contenido de arcilla del suelo sobre la tasa volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$

Al graficar las tasas de volatilización (27.2, 25.3, 22.2, 20.5 $\mu\text{g NH}_3/\text{mg NH}_4\text{-N/kg S}$) con el contenido de arcilla (125, 175, 225, 325 g/kg S), se aprecia que conforme se incrementa el contenido de arcilla del suelo existe una ligera disminución en la velocidad de volatilización, lo que aparentemente indica que para el intervalo de estudio existe una tendencia asintótica (Figura 2). Esta volatilización se relaciona negativamente con la C.I.C. y el contenido de arcilla, cuya tendencia se ajusta a un modelo de regresión exponencial (Hearn *et al.*, 2023). Esta reacción se debe a que la bentonita es una arcilla 2:1, con una fuerte capacidad de adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ (19.01 mg $\text{NH}_4\text{-N/g}$ de arcilla) y alta C.I.C. (40-130 Cmol/kg). La adsorción del $\text{NH}_4\text{-N}$ en el suelo adicionado con bentonita se debe a su interacción electrostática con las cargas negativas de su superficie, originadas por sustitución isomórfica (Han *et al.*, 2021). Mazloomi y Jalali (2019) mencionan que existe una relación entre el $\text{NH}_4\text{-N}$ adsorbido y la concentración de $\text{NH}_4\text{-N}$ aplicado en suelos tratados con vermiculita, donde la capacidad de adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ en el suelo con 0% de vermiculita es de 285 mg/kg, incrementa 10.5%, 14% y 24.6%, con la adición del 2%, 4% y 8%, respectivamente, esto indica que la capacidad de adsorción del suelo depende directamente de la arcilla, la cual puede interpretarse a través de la C.I.C.

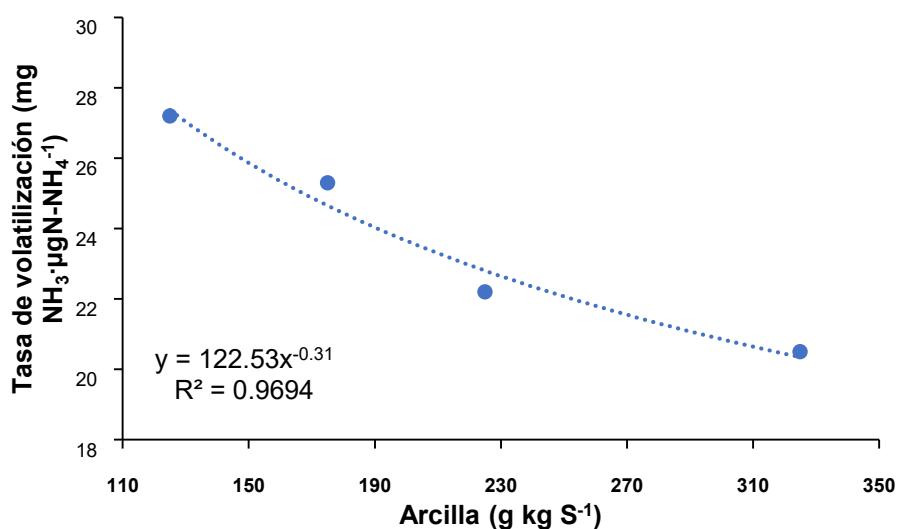


Figura 2. Efecto del contenido de arcilla del suelo sobre la tasa de volatilización de amoníaco.

El análisis de varianza encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de arcilla sobre las tasas de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$. Estos resultados sugieren que, a mayor contenido de arcilla, la velocidad de volatilización de amoníaco tiende a disminuir; sin embargo, estas pérdidas no se detienen en su totalidad (Cuadro 4), debido a que la capacidad de adsorción de la bentonita se comporta de acuerdo con la isoterma de Langmuir (Zaini *et al.*, 2021). De igual forma, Linggi *et al.* (2020), menciona que la adsorción de amonio en diferentes suelos y arcillas como la bentonita se explica con un modelo no lineal.

Cuadro 4. Análisis de varianza del efecto del contenido de arcilla del suelo sobre las tasas de volatilización de amonio con tres días de incubación con sulfato de amonio.

FV	GL	SC (Tasa de volatilización)	F _c
Tratamientos	3	83.03	12.26**
Error	8	18.07	
Total	11	101.10	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de Libertad; SC: Suma de Cuadrados; ** $P < 0.01$.

Se encontraron diferencias significativas en el efecto del contenido de arcilla del suelo sobre la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$, donde el suelo con la menor cantidad de arcilla (125.0 g/kg S) presenta la mayor tasa de volatilización (27.2409 $\mu\text{g NH}_3/\text{mg NH}_4\text{-N/kg S}$) (Cuadro 5). La disminución de la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$ es producto de la adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ en los sitios de intercambio, lo que evita que reaccione con los OH^- , presentes en la solución del suelo, debido a que la bentonita posee una amplia superficie específica, una alta C.I.C., una fuerte capacidad de adsorción de cationes (Barakan y Aghazadeh., 2020), así como las cargas negativas generadas por sustitución isomórfica, las cuales no son afectadas por el pH (Jolin *et al.*, 2020).

Cuadro 5. Efecto del contenido de arcilla del suelo y sobre la tasa de volatilización de $\text{NH}_3\text{-N}$.

Contenido de arcilla (g/kg S)	Tasa de volatilización ($\mu\text{g NH}_3/\text{mg NH}_4\text{-N/kg S}$)
125.0	27.2409 a*
175.0	25.2560 ab
225.0	22.1760 bc
325.0	20.4711 c

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$). DMS= 3.9292

Conclusiones

Las pérdidas de amoníaco se presentan inmediatamente después de la aplicación de sulfato de amonio, independiente del contenido de arcilla presente en el suelo. La volatilización de amónico es directamente proporcional a la cantidad de amonio aplicado. Existen diferencias significativas en la cantidad de amoníaco producido con el incremento en el contenido de arcilla del suelo y las dosis de amonio. El contenido de arcilla del suelo tiene una influencia en la reducción de la velocidad de volatilización de amonio, es decir, a mayor contenido de arcilla en el suelo la tasa de volatilización de amonio se reduce, debido al aumento en los sitios de intercambio iónico, absorbiendo el amonio presente en solución. Dado que la volatilización de

amoníaco se presenta en suelos alcalinos y se acentúa en suelos arenosos, por lo que, el uso de fuentes amoniacales bajo estas condiciones debe ser limitado y acompañado de aplicaciones de mejoradores de suelo (carbono orgánico, fracciones de carbono recalcitrante, acidificantes de suelo), que incrementen los sitios de intercambio, a fin de aumentar la adsorción de amonio en el suelo.

Literatura citada

- Al-Badrani, W. A. A., F. A. Hassan and M. A. Harbawi. 2023. Effect of agricultural sulfur and poultry manure on ammonia volatilization from urea fertilizer in two different soil textures. *International Journal of Agricultural and Statistics Sciences* 19((Supl.):1153-1159. <https://doi.org/10.59467/ijass.2023.19.1153>.
- Barakan, S. and V. Aghazadeh. 2020. The advantages of clay mineral modification methods for enhancing adsorption efficiency in wastewater treatment: a review. *Environmental Science and Pollution Research International* 28(3):2572-2599. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10985-9> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Cassity-Duffey, K., M. L. Cabrera, D. A. Franklin, J. W. Gaskin and D. E. Kissel. 2020. Effect of soil texture on nitrogen mineralization from organic fertilizers in four common southeastern soils. *Soil Science Society of America Journal* 84(2):534-542. <https://doi.org/10.1002/saj2.20039> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Chu, Q., S. Xu, L. Xue, Y. Liu, Y. Feng, S. Yu *et al.* 2020. Bentonite hydrochar composites mitigate ammonia volatilization from paddy soil and improve nitrogen use efficiency. *Science of the total Environment* 718:137301. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137301>

- Chuong, T., R. E. Plant and B. A. Linquist. 2020. Fertilizer source and placement influence ammonia volatilization losses from water-seeded rice systems. *Soil Science Society of America Journal* 84(3):784-797. <https://doi.org/10.1002/saj2.20074> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Corrêa, D. C. D. C., A. D. Cardoso S., M. R. Ferreira, D. Siniscalchi, P. H. Gonçalves, R. N. Lumasini *et al.* 2021. Ammonia volatilization, forage accumulation, and nutritive value of marandu palisade grass pastures in different N sources and doses. *Atmosphere* 12(9): 1179. <https://doi.org/10.3390/atmos12091179> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Dari, B., and C. W. Rogers. 2021. Ammonia volatilization from fertilizer sources on a loam soil in Idaho. *Agrosystems, Geosciences and Environment* 4(3). <https://doi.org/10.1002/agg2.20192>
- Foereid, B., E. Alvarenga, J. Szocs and M. Makádi. 2019. Ammonium sorbed to zeolite is partly available to wheat in the first growth cycle. *Agronomy* 9(3):122. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030122> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Han, B., C. Butterfly, W. Zhang, J. He and D. Chen. 2021. Adsorbent materials for ammonium and ammonia removal: A review. *Journal of Cleaner Production* 283:124611. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124611> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Hearn, L., L. Barton, G. Schwenke and D. V. Murphy. 2023. Ammonia volatilisation losses from urea applied to acidic cropping soils is regulated by pH buffering capacity. *Soil Research* 61(7):685-696. <https://doi.org/10.1071/sr23044> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Jolin, W. C., A. Richard, D. Vasudevan, J. A. Gascón and A. A. MacKay. 2020. Aluminosilicate mineralogy and the sorption of organic cations: interplay between electrostatic barriers and compound structural features. *Environmental Science and Technology* 54(3):1623-1633. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06121> [consultado el 28 de mayo de 2024].

- Kome, G. K., R. K. Enang, F. O. Tabi and B. P. K. Yerima. 2019. Influence of clay minerals on some soil fertility attributes: A review. *Open Journal of Soil Science* 09(09):155-188. <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.99010> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Krol, D. J., P. J. Forrester, D. Wall, G. J. Lanigan, J. Sanz-Gomez and K. G. Richards. 2020. Nitrogen fertilisers with urease inhibitors reduce nitrous oxide and ammonia losses, while retaining yield in temperate grassland. *Science of the Total Environment* 725:138329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138329> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Li, Y., J. Xu, S. Liu, Z. Qi, A. Li, Q. Wei, *et al.* 2020. Salinity-induced concomitant increases in soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission. *Geoderma* 361:114053. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114053> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Linggi, L., M. Berlin, M. Mallik, S. Roy, N. Natarajan and M. Vasudevan. 2020. Feasibility investigation of adsorptive removal of NH_4^+ and NO_3^- species from clayey aquifer using special soils. *Environment, Development and Sustainability* 23(5):6749-6768. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00889-6>.
- Mahmud, K., D. Panday, A. Mergoum, and A. Missaoui. 2021. Nitrogen losses and potential mitigation strategies for a sustainable agroecosystem. *Sustainability* 13(4):2400. <https://doi.org/10.3390/su13042400> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Martínez-Dalmau, J., J. Berbel and R. Ordóñez-Fernández. 2021. Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability* 13(10): 5625. <https://doi.org/10.3390/su13105625> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Mazloomi, F. and M. Jalali. 2019. Effects of vermiculite, nanoclay and zeolite on ammonium transport through saturated sandy loam soil: Column experiments and modeling approaches. *Catena* 176:170-180. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.014> [consultado el 28 de mayo de 2024].

- Minato, E. A., B. M. A. R. Cassim, M. R. Besen, F. L. Mazzi, T. T. Inoue and M. A. Batista. 2020. Controlled-release nitrogen fertilizers: characterization, ammonia volatilization, and effects on second-season corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 44. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190108> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Ohnemus, T., O. Spott and E. Thiel. 2021. Spatial distribution of urea induced ammonia loss potentials of German cropland soils. *Geoderma* 394:115025. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115025> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Panday, D., M. M. Mikha, H. P. Collins, V. L. Jin, M. Kaiser, J. Cooper *et al.* 2020. Optimum rates of surface-applied coal char decreased soil ammonia volatilization loss. *Journal of Environmental Quality* 49(2):256–267. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20023> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Pelster, D. E., D. Watt, I. B. Strachan, P. Rochette, N. Bertrand and M. H. Chantigny. (2019). Effects of initial soil moisture, clod size, and clay content on ammonia volatilization after subsurface band application of urea. *Journal of Environmental Quality* 48(3):549-558. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.09.0344> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Powlson, D. S., and C. Dawson. 2021. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. *Soil Use and Management* 38(1):622-634. <https://doi.org/10.1111/sum.12733> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Shi, Z., D. She, Y. Pan and Y. Xia. 2024. Promotion effects of salt-alkali on ammonia volatilization in a coastal soil. *Pedosphere* 34(1):191-199. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.09.004> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Skorupka, M. and A. Nosalewicz, 2021. Ammonia volatilization from fertilizer urea-a new challenge for agriculture and industry in view of growing global demand for food and energy crops. *Agriculture* 11(9):822. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090822> [consultado el 28 de mayo de 2024].

- Wang, X., H. Zhu, B. Yan, L. Chen, B. Shutes, M. Wang *et al.* 2023. Ammonia volatilization, greenhouse gas emissions and microbiological mechanisms following the application of nitrogen fertilizers in a saline-alkali paddy ecosystem. *Geoderma* 433:116460. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116460> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Wang, Y., M. Li and H. Yan. 2021. Ammonia volatilization from urea in alfalfa field with different nitrogen application rates, methods and timing. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 312:107344. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107344> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Wester-Larsen, L., D. S. Müller-Stöver, T. Salo and L. S. Jensen. 2022. Potential ammonia volatilization from 39 different novel biobased fertilizers on the European market – A laboratory study using 5 European soils. *Journal of Environmental Management* 323:116249. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116249> [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Zaini, N. S. M., I. W. Lenggoro, M. N. Naim, Y. Norihiro, H. C. Man, N. F. A. Bakar *et al.* 2021. Adsorptive capacity of spray-dried pH-treated bentonite and kaolin powders for ammonium removal. *Advanced Powder Technology* 32(6):1833-1843. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.02.036> [consultado el 28 de mayo de 2024].

CALIDAD DE LA PANELA PRODUCIDA EN CINCO TRAPICHES DEL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Guadalupe Miramón Martínez²⁷, Nadia G. Sánchez Coello²⁷, Olivia Márquez Fernández²⁷, Yajaira Baeza Guzmán²⁷ y Alejandro Quirino Villarreal^{27*}

Resumen

En México, el piloncillo (panela) se ha fabricado en la región centro del estado de Veracruz desde el año 1519. Sin embargo, no se ha podido llegar a exportaciones debido a la falta de regulación de normas de calidad del producto. Este estudio se enfoca en analizar la calidad de la panela, el manejo de los residuos generados y el uso de equipo de protección personal en cinco trapiches ubicados en el centro del estado de Veracruz. Las pruebas de calidad se realizaron siguiendo el procedimiento establecido por algunas normas: NMX-F-274-1984, NMX-F-596-SCFI-2015, Norma de Codex para panela CL 2011/25-CS (2012), NMX-F-317-S-1978; evaluando los parámetros de categoría, color, grados Brix, dureza, % de humedad y pH. El equipo de protección personal y manejo de residuos fueron obtenidos mediante la aplicación de una encuesta. Obteniendo que la mayoría de los trapicheros emplean procesos de producción moderadamente adecuado siendo un proceso regular debido a que no tienen normas que rijan la inocuidad y calidad de la panela, así mismo existe una ausencia de equipo de protección personal, no tienen ningún manejo de residuos y los desechos se depositan en fosas u otro espacio destinado para estos. De los parámetros de calidad evaluados cuatro están dentro de los parámetros regidos por las NMX y dos demuestran deficiencias de estos. Se registran dos categorías para la panela (la mayoría catalogada como de segunda y tercera) con coloraciones amarilla, café o negra, duras y con pH ácidos. Los valores de grados Brix y el porcentaje de humedad son inferiores a lo establecido por la NOM por lo que no se contemplaron como un criterio de calidad. La elaboración de la panela en los trapiches se realiza de manera artesanal, teniendo carencia de procesos tecnificados. No se tiene una capacitación sobre el uso del equipo de protección personal, existe un conocimiento nulo sobre el manejo de los residuos generados por la producción de panela.

Palabras clave: piloncillo, Equipo de Protección Persona (EPP), residuos

²⁷ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Circuito Aguirre Beltrán, s/n, Zona Universitaria, C. P. 91000. Xalapa, Veracruz. *Autor por correspondencia: e-mail: quirino@uv.mx. Mesa agrícola.

Introducción

La panela, también conocida como piloncillo, ha estado presente en la región central de Veracruz desde la introducción del cultivo de caña de azúcar en año 1519, cuando se estableció el primer trapiche. Desde entonces, su producción se ha extendido a otras regiones, convirtiéndose en un elemento fundamental de la gastronomía y cultura mexicanas (Cabrera, 2017). La panela, por su estrecha relación con nuestra alimentación, merece un manejo cuidadoso. Un mal manejo en su producción puede traer serias consecuencias para la salud (Gutiérrez *et al.*, 2018). En el estado de Veracruz se estima que existen alrededor de 400 trapiches en operación, tienen importancia económica dentro de las zonas cañeras sin embargo trabajan con bajos niveles tecnológicos. La transformación que sufre la caña de azúcar para obtener el piloncillo tiene efectos negativos sobre el recurso natural del suelo y agua, dado que en el proceso se emplean productos que pueden dañar al medio ambiente y salud humana (Martínez y Rivera, s/a).

La calidad de la panela depende de diversos factores, como la calidad de la caña de azúcar utilizada, el proceso de elaboración y las condiciones de almacenamiento. Un piloncillo de buena calidad se caracteriza por su color ámbar claro, su sabor dulce y su aroma distintivo. La panela veracruzana, en particular, es reconocida por su alta calidad, destacando por su color ámbar claro, sabor dulce intenso y aroma característico (Galicia *et al.*, 2017). La producción de piloncillo en Veracruz se divide en tres etapas principales: 1. Extracción del néctar: el jugo concentrado de la caña se obtiene mediante su molienda, ya sea de forma manual, utilizando un trapiche, o mecánica con una centrífuga; 2. Evaporación del néctar: el jugo se calienta hasta evaporar el agua y concentrar el azúcar en un tacho de evaporación y, 3. Moldeo del piloncillo: el jugo concentrado se vierte en moldes para darle la forma final a la panela (Reyes, 2019).

El proceso de obtención del piloncillo genera residuos como el bagazo, la vinaza y la cachaza. Si estos desechos no se manejan adecuadamente, pueden contaminar el suelo y el agua. La implementación de prácticas de manejo de residuos puede contribuir a disminuir el impacto ambiental de la industria panelera en Veracruz y garantizar su sustentabilidad.

El uso de equipo de protección personal (EPP) durante la producción de panela es crucial para prevenir accidentes y enfermedades laborales. Los trabajadores de este sector están expuestos a diversos riesgos, como lesiones físicas por el uso de maquinaria, enfermedades

respiratorias por la inhalación de polvo o vapores, y enfermedades cutáneas por contacto con sustancias químicas. El uso adecuado de EPP ayuda a proteger a los trabajadores de estos riesgos, garantizando su seguridad y salud (Flores, 2012).

De estos procesos no se conoce si cumplen con las regulaciones establecidas por las NOM y NMX involucradas para el bienestar humano (Quezada, 2007). También se desconoce el tratamiento o destino de los residuos generados por esta pequeña industria (Aguilar, 2008). En el análisis realizado, se detecta que en los trapiches de la zona centro de Veracruz puede variar el proceso para la obtención de la panela, así como las técnicas empleadas durante la producción y los residuos generados, que podrían tener un impacto ambiental significativo. Además, se observa un uso limitado de equipo de protección personal, lo que pone en riesgo al personal a cargo. Por ello, se espera analizar la calidad de las panelas basándose en las normas: NOM, NMX-F-274-1984, NMX-F-596-SCFI-2015, Norma de Codex para panela CL 2011/25-CS (2012) y NMX-F-317-S-1978.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en cinco trapiches del centro del estado de Veracruz, las muestras se procesaron en el Laboratorio de Genética de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana de la Región Xalapa.

Variables evaluadas

Se realizaron pruebas de parámetros de calidad (dureza, pH, color, grados Brix, categoría, % de humedad) a las muestras colectadas (panelas) obtenidas de los cinco trapiches seleccionados. Adicional a ello se evaluó el sistema de producción de la panela, así como el manejo de residuos generados por la industria panelera y la utilización de equipo de protección personal en cada trapiche.

Muestreo

Se llevó a cabo un muestreo por conveniencia, en el que se entrevistó únicamente a los trapicheros que aceptaron participar en el proyecto. El estudio incluyó cinco trapiches ubicados en tres municipios del centro del estado de Veracruz.

Análisis estadístico

Se realizaron procesos descriptivos para las variables de proceso de producción y color. Para las variables de dureza, grados Brix, pH, colorimetría del producto los análisis se basaron en las Normas Oficiales Mexicanas: NMX-F-274-1984, NMX-F-596-SCFI-2015, Norma de Codex para panela CL 2011/25-CS (2012), NMX-F-317-S-1978n.

Variables evaluadas

Par la medición de pH y grados Brix fue necesario hacer una suspensión de la panela con agua destilada estéril macerado con un mortero en una proporción 1:1(Quirino, 2024). Posterior a ello a la solución se le midió el pH con un potenciómetro marca HANNA 2210 y grados Brix con un refractómetro digital portátil PAL1 ATAGO 3810 PAL-1. La dureza (lb) con un penetrómetro Qa SUPPLIES mod. FT 011 y la categoría se midió por colorimetría basada en el abanico colorimétrico para panela (Fig. 1).

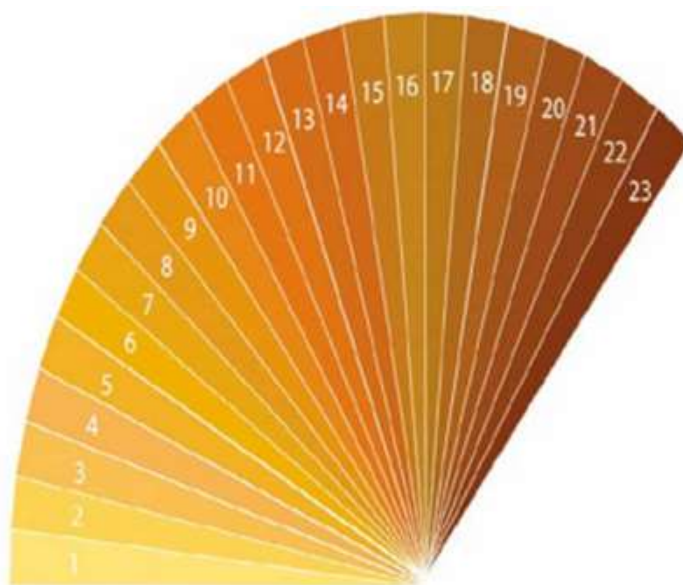


Figura 1. Abanico colorimétrico para panela. Fuente: Galicia et al., (2017).

El porcentaje de humedad se calculó utilizando la fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso fresco de la muestra}}{\text{peso seco de la muestra}} \times 100$$

Resultados y discusión

La mayoría de los trapicheros cuentan con más de 15 años de producir y conocer el proceso de obtención de la panela. Solo en un predio se identificó que el proceso de producción es reciente (7 meses). Considerando esto, los productores deducen que el proceso que emplean es entre moderadamente adecuado y adecuado siendo un proceso regular. Los cinco trapiches coincidieron en no conocer ninguna Norma Oficial Mexicana (NOM) o Norma Mexicana (NMX) relacionada con su proceso de producción, indicando que se trata de un proceso artesanal. La producción en estos trapiches varía considerablemente: algunos operan a gran escala, alcanzando hasta 80 toneladas por temporada; otros tienen una producción moderada de 50 toneladas. Un trapichero mencionó que su producción es intermedia, sin proporcionar el tonelaje exacto, mientras que otro reportó una producción de entre 60 y 80 toneladas por temporada. Finalmente, otro trapichero señaló que produce 2 toneladas por semana, lo que se traduce en una producción anual de aproximadamente 104 toneladas.

De acuerdo a lo expresado por los entrevistados, hasta el momento no se han presentado accidentes en cuatro de los trapiches visitados. A excepción del quinto trapiche donde reportan dos accidentes, uno de los accidentes fue por descuido de la persona que opera el trapiche y que resultó en la pérdida de una extremidad; además de ocurrir un incendio en el lugar de trabajo. El 50% de los trabajadores de los trapiches mencionan conocer los riesgos por no usar equipo de protección personal (Figura 2).

El manejo de residuos generados por la producción de panela es nulo y por consiguiente nunca han realizado un análisis de residuos ni del agua que se desecha en fincas y/o fosas, por lo que no se tiene conocimiento si los residuos o agua depositada llegan a causar algún tipo de daño en el suelo, a los cultivos o la salud humana.

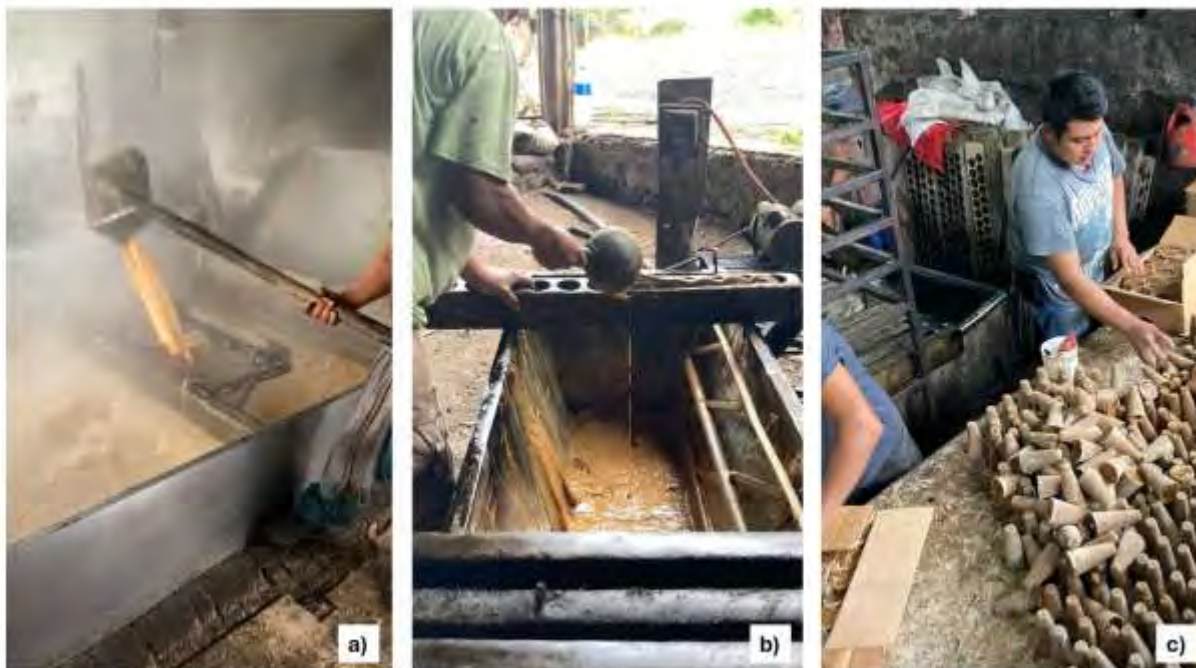


Figura 2. Ausencia de equipo de protección personal en el proceso de a) clarificado, b) llenado y moldeo y c) empaquetamiento de panela en el centro del estado de Veracruz.

Proceso de producción de la panela en el centro de Veracruz

Se observó que los procesos de producción de panela en el centro de Veracruz son en general similares, aunque presentan pequeñas variaciones en los ingredientes empleados para cuajar la panela. El 10% de los trapiches no utilizan aditivos, otro 10% emplea cebo de vaca y el 30% utiliza aceite vegetal comestible. Además, el proceso de molido varía según la capacidad del trapiche, y también se observa diferencia en el tipo de batidora utilizada durante el proceso de batido. Sin embargo, en los aspectos relacionados con el moldeo, enfriamiento, almacenamiento y comercialización no se identificaron variaciones (Cuadro 1).

Dentro del rubro ambiental, se identificó el uso de plásticos para encender los hornos que va desde el uso de llantas, bolsa de plástico y gasolina, lo que conlleva que, en el momento de la combustión, se liberen ciertas partículas que contaminan el aire y pueden generar también a una contaminación del producto.

Se identificó de la misma manera que el uso de equipo de protección personal en los trapiches es rústico, usando pañuelos para cubrirse la cara durante el encendido de las hornillas y uso de mandiles de tela mientras se manipula la panela líquida.

Cuadro 1. Cuadro comparativo del proceso de producción de la panela en los cinco trapiches del centro del estado de Veracruz.

NÚMERO DE TRAPICHE	MOLIENDA	COCCIÓN Y BATIDO	MOLDEO Y ENFRIAMIENTO	ALMACENAMIENTO	COMERCIALIZACIÓN
1	20 cañas.	Recipientes de acero inoxidable con batidora mecanizada	Moldes de madera (12 cavidades).	Caja de cartón (60 pzas)	Guadalajara, Querétaro, México y Puebla.
2	6-8 cañas.	Recipientes de acero inoxidable con Batidora artesanal	Moldes de madera (12 cavidades).	Caja de cartón (60 pzas)	En comunidad.
3	10 cañas.	Recipientes de acero inoxidable con batidora mecanizada	Moldes de madera (12 cavidades).	Caja de cartón (60 pzas)	Diferentes puntos del estado de Veracruz.
4	10 cañas.	Recipientes de acero inoxidable con batidora tecnificada	Moldes de madera (12 cavidades).	Caja de cartón (60 pzas)	Diferentes puntos del estado de Veracruz.
5	10-15 cañas.	Recipientes de acero inoxidable con batidora eléctrica	Moldes de madera (12 cavidades).	Caja de cartón (60 pzas)	Diferentes puntos de la región.

Calidad de las panelas

Los valores de pH registrados tienen gran similitud, Quezada (2007) menciona que, para tener una panela de calidad con color natural y dureza óptima, el pH debe ser cercano a 5.7, por lo que en las panelas analizadas cumplen el requisito al estar en ese rango (Cuadro 2).

Los resultados de dureza son similares a los reportados por Solís *et al.*, 2006. La dureza de la panela describe la calidad del producto y debe ser tal que al intentar romperla no se parta o desmorone, o que al chocar entre ellas el sonido sea de masa sólida y compacta y sin burbujas de aire (Cuadro 2 y Figura 2).

De acuerdo con la tipificación de color, solo el trapiche 4 elabora panela de primera, los trapiches 2, 3 y 5 panela de segunda y el trapiche 1 elabora panela de tercera. La panela puede presentar diferentes colores, según la zona panelera, o por efecto de la incorporación o no de clarificantes (Quezada, 2007) (Figura 3).

Cuadro 2. Evaluación de parámetros de calidad de la panela de los cinco trapiches del centro del estado de Veracruz.

Variable	Predio 1	Predio 2	Predio 3	Predio 4	Predio 5
pH	5.7	5.9	5.6	5.6	6.0
Dureza (lbf)	10.8	30	9.5	9.4	11
Categoría	Tercera	Segunda	Segunda	Primera	Segunda
Color	negra	café	café	amarilla	café
Humedad (%)	0.529	0.534	1.159	0.900	4.924
Grados Brix	43.9	31.4	30.6	31.4	29.4



Figura 2. Panelas producidas en el centro del estado de Veracruz. Foto: Miramón, 2024.

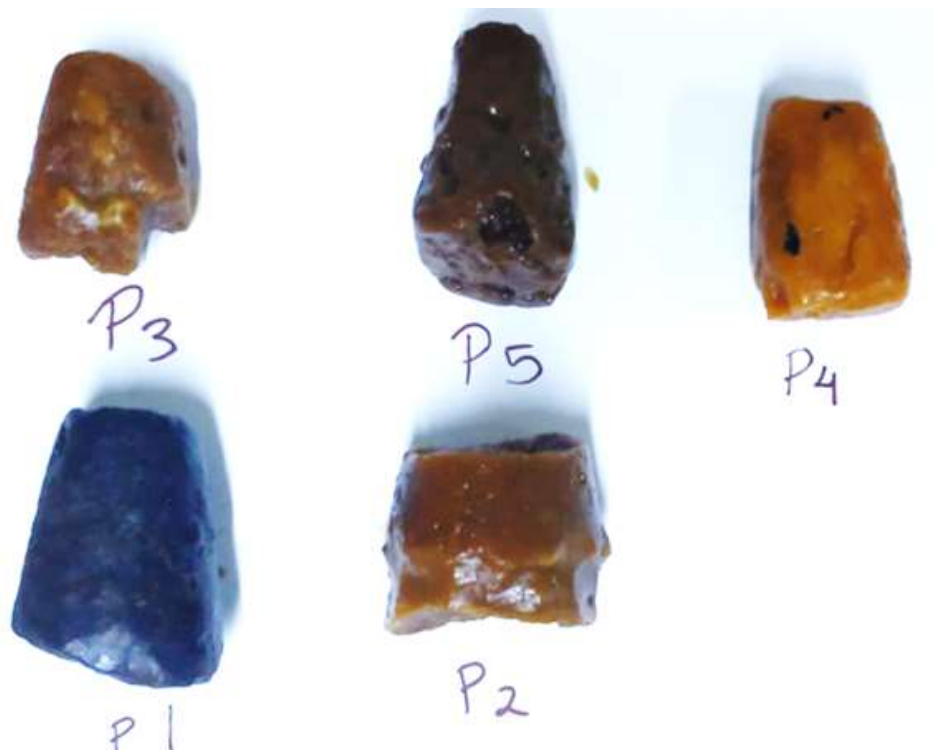


Figura 3. Colores presentes en los cinco trapiches muestreados en el centro del estado de Veracruz. Foto: Miramón, 2024.

La humedad promedio de las panelas fue de 1.6% comparando estos valores con la NMX-F-596-SCFI-2015 el porcentaje de humedad en panela está entre el 4 y 7%, mientras que la Norma Obligatoria Nicaragüense (2011) para panela, y panela granulada que en el apartado cinco para consumo humano registra 10% de humedad fracción en masa como valor máximo, mientras que el Anteproyecto de la Norma de Codex para panela CL 2011/25-CS (2012) y la Norma Técnica Colombiana (2009) establecen un valor máximo en humedad de 9% fracción en masa. Tomando en cuenta lo anterior, los resultados obtenidos están por debajo de los valores establecidos en la normas y se calificaría como una característica de buena calidad, atribuyendo otras propiedades a las panelas favoreciendo el consumo humano (Cuadro 2).

Los valores de los grados Brix obtenidos en este estudio son de $23 \pm 44^\circ\text{Brix}$ siendo inferiores a los reportados por Quezada (2007), que indica que una buena panela debe tener una concentración de 90° a 92°Brix , mientras la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA, 1999) indica que la concentración debe estar entre $88-94^\circ\text{Brix}$.

Sin embargo, no existe una norma nacional o internacional que haga mención al contenido de sólidos solubles que deba tener las panelas para el consumo humano.

Es necesario tomar en cuenta que valores altos de grados Brix indican un mayor contenido de azúcares y mejor calidad del producto y menor contenido de humedad (Andrade, 2008).

En este caso podemos observar que los porcentajes de humedad no superan el 5% por lo que se considera bajo y sería un valor adicional indicativo de que la calidad de la panela es buena.

Conclusiones

Se pudieron observar ligeras modificaciones en el proceso de producción de la panela en los trapiches muestreados del centro del estado de Veracruz. En la producción artesanal de panela, la falta de medidas de salubridad es un desafío que afecta, tanto la calidad como la seguridad del producto. Por lo tanto, es fundamental implementar normas que regulen y garanticen la calidad durante todo el proceso de producción. Los valores obtenidos en las variables de pH y dureza se encontraron dentro de los parámetros de calidad registrados en las Normas Oficiales Mexicanas. Los grados Brix obtenidos en las muestras fueron inferiores a los parámetros de calidad establecidos en las normas de referencia, por lo que, se calificaría como característica nula de calidad. El porcentaje de humedad en el producto muestreado, se encontró dentro del rango permisible según las normas establecidas, por lo que se consideraría una característica de calidad del producto. Ninguno de los cinco trapiches visitados, hace un manejo de los residuos del proceso productivo de la panela, por lo que se considera necesario desarrollar una estrategia para su aprovechamiento. Así mismo se observó que no se utiliza equipo de protección personal en ningún momento del proceso de producción, lo cual aumenta el riesgo laboral de los trabajadores comprometiendo su vida y la inocuidad del producto.

Literatura citada

Aguilar, R. N. 2008. Diversificación productiva de la industria azucarera. *Tesis de licenciatura*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

- Andrade, M. 2008. Evaluación de la funcionalidad de panelas artesanales como antioxidante y fuente de minerales. Tesis de licenciatura. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela. pp. 31-46.
- Benavides, L. 1993. Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Lima; CEPIS; 40 p. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil147069>.
- Baca, M., Pacheco, A., Quintero, P., Piza, P. J., Fabián, C. 2003. El sistema agroindustrial localizado de piloncillo en la Huasteca Potosina. Revista Análisis del Medio Rural Latinoamericano 41:137-156.
- Cabrera, J. 2017. El piloncillo: Origen, características y proceso de elaboración p 13-28. *In*: A. L. Tecnoalimentaria (ed.), Agroindustria de la panela: Aspectos técnicos, económicos y sociales Ciudad de México: INIFAP-CIAT.
- Castells, X. E. 2012. Generalidades, conceptos y origen de los residuos: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos.
- CORPOICA. 1999. La tecnología del cultivo de caña panelera. Programa de Región Agrícola. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Florencia, Colombia. 19 p.
- Cubillos Rodríguez, M. C., Rozo Rodríguez, D. 2009. El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad. Revista de la Universidad de la Salle 48:80-99.
- Del Moral Julio, B. 2010. El sistema agroindustrial localizado de Piloncillo en la Huasteca Potosina. Biblat. <https://biblat.unam.mx/es/revista/textual-chapingo/articulo/el-sistemaagroindustrial-localizado-de-piloncillo-en-la-huasteca-potosina>.

- Fernández, D. A., Adriazola, S. G., Mamani, F. E., Panca, P. H. 2018. Manejo de residuos sanitarios: un programa educativo del conocimiento a la práctica. Revista de Investigaciones Altoandinas 20(3):315-324. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.395>.
- Flores, K. 2012. Importancia del uso de elementos de protección personal.
- Galicia Romero, M. 2017. Ventaja competitiva y rentabilidad de la producción de panela en la región de Huatusco, Veracruz. Agroproductividad 10 (11): 29-34.
- Gonzalez, M. A. 2013. La inocuidad en el Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional: análisis orientado a la valoración del concepto. Diaeta 31(145):15-21.
- Gutiérrez, R. M., Ortega-Pérez, R., Pérez-Varela, R. 2018. Physicochemical and microbiological quality of panela (unrefined cane sugar) in Mexico. Food Control 89:235-241.
- Hernández-Cázares, A., Galicia-Romero, M., Debernardi de la Vequia, H., Velasco-Velasco, J., Hidalgo-Contreras, J. V. 2018. Evaluación de la Calidad e Inocuidad de la Panela de Veracruz, México. Agroproductividad 10(11). Recuperado a partir de <https://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/68>.
- Martínez, H. C., Rivera, N. A. 2018. Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de la producción de piloncillo en la región centro de Veracruz. Medio ambiente, sustentabilidad y vulnerabilidad social 32:2-677.
- NMX-F-084-2003. Industria Azucarera. Especificaciones. Azúcar (sacarosa). <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-084-2003.pdf>.
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F317-S-1978.pdf>.

NTON. 03 098-11 (Norma Obligatoria Nicaragüense). 2011. Panela (tapa dulce) y panela granulada (Dulce granulado). Compendio de normas técnicas que aplican al procesamiento del dulce de panela. 8-18.:
<https://www.yumpu.com/es/document/view/43531647/compendio-de-normas-tacnicas-paraprocesar-dulce-pymerural/3>.

Quezada, M. W. 2007. Guía técnica de agroindustria panelera. Ibarra. Ecuador.

Quirino V, A. 2024. Comunicación personal. Diluciones de sustancias.

Reyes, A. 2019. Elaboración de piloncillo (panela) artesanal. En: A. Vargas (Ed.), Manual de agroindustria rural (pp. 201-212). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Solís Pacheco, J. R., Pérez Martínes, F., Orozco Ávila, I., Flores Montaña, J. L., Ramírez Romo, E., Hernández Rosales, A., et al. 2006. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. e-Gnosis [online] 4:8.

Useda, M. E. G., Guzmán, J. D. E. 2015. Eficiencia técnica de la producción de panela. Revista de Tecnología 14(1):107-116.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE UCHUVA COMO FRUTA FRESCA Y EN PROCESADOS ALIMENTARIOS

Guadalupe Mora Baez^{28*}, Lucia Torres Rueda²⁸, Gabriela Ortiz Bonilla²⁸,
Marco Antonio Castelán Salazar²⁸ y Antonio Morgado González²⁸

Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es un cultivo herbáceo de la familia solanácea, originario de la región andina y utilizada fundamentalmente por sus frutos comestibles, los cuales son una baya habitualmente de color amarillo completamente recubierta por el cáliz, es considerada como Golden Berries o frutilla de oro. Los principales países productores son Perú, Colombia, Ecuador, Bolivia y Sudáfrica. En México aún existe escases de información acerca del manejo agronómico y comercialización, lo que limita su producción y consumo. Por anterior, es necesario difundir el potencial que esta frutilla representa y generar un diagnóstico sobre la aceptación y consumo. La zona de estudio fue el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, México, se eligieron a productores locales como población objetivo, se determinó el tamaño de la muestra y se les aplicó una encuesta semi estructurada a 150 personas en donde se abarcaron aspectos generales sobre el conocimiento de esta frutilla y al mismo tiempo se realizaron pruebas sensoriales, misma que fue interpretada de acuerdo con una escala hedónica, durante la aplicación de la encuesta se ofrecieron pruebas de frutilla y mermelada artesanal provenientes de plantas establecidas en el área de invernadero dentro de las instalaciones del TecNM: Campus Tlatlauquitepec, la mermelada fue de elaboración propia. Los datos obtenidos fueron interpretados en cuadros y gráficas. Con base en los resultados obtenidos se observó que Golden Berries tiene un nivel de aceptación excelente ya que del total de entrevistados el 93% la consumiría como frutilla en fresco y mermelada artesanal, del mismo modo fue considerada con un sabor dentro del rango de bueno a excelente (15.3% y 83.3%, respectivamente). De manera general, la población estudiada tiene un hábito de consumo por frutas con propiedades antioxidantes y estaría dispuesto a pagar más de \$70.00 (setenta pesos mexicanos) por unidad de mermelada.

Palabras clave: producción, comercialización, frutilla

²⁸ Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, TecNM; Campus Tlatlauquitepec. *Autor de correspondencia: guadalupe.mora@tlatlauquitepec.tecnm.mx

Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es un cultivo herbáceo de la familia solanácea, originario de la región andina y utilizada fundamentalmente por sus frutos comestibles, los cuales son una baya jugosa, redondeada, habitualmente de color amarillo, completamente recubierta por el cáliz acrescente, por las características que posee es considerada como Golden Berries (Flores *et al.*, 2000).

Los principales países que producen esta solanácea son Australia, Colombia, India, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica, Zimbabue y Ecuador, y como consumidores destacan Alemania, Brasil, Canadá, España, Bélgica, Francia, Holanda, Inglaterra, Italia y Estados Unidos (Fischer *et al.*, 2014). Se consume principalmente como fruta en fresco y se le atribuyen propiedades nutraceuticas por su alto contenido de vitamina C y otros compuestos antioxidantes (Gutiérrez *et al.*, 2007).

En la actualidad su cultivo experimenta una considerable expansión (Bonilla *et al.*, 2008), sin embargo, a pesar de ser un cultivo adaptable a climas diversos y tener una prolongada producción de frutos y alto potencial económico, en México no se produce de manera intensiva o extensiva con fines comerciales, debido a la falta de información sobre su cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2018). Como consecuencia del desconocimiento sobre los procesos de producción de la uchuva, en México no se consume, sin embargo, de manera general la tendencia de consumo per cápita de frutas es de 98 kg al año (Espinosa-Rodríguez *et al.*, 2020). La producción de frutas todo el año es imprescindible, de manera interna, así como para exportaciones.

En este sentido, la producción de frutas constituye una alternativa económicamente viable para los sistemas familiares de producción agrícola, sobre todo, de cultivos como la uchuva (Moreno-Miranda *et al.*, 2019). Sumado a esto, y como es de esperarse, una de las principales incógnitas que genera la producción de todo cultivo nuevo ya sea originario de México o introducido, es la comercialización, que representa el resultado final de toda actividad económica. A pesar de que la uchuva es un fruto exótico con un mercado internacional en crecimiento, la comercialización y el mercadeo son los problemas más importantes que el productor enfrenta, regidos por la oferta y demanda (Coral *et al.*, 2012), ante las tendencias económicas actuales, retos y oportunidades que se presenten (Núñez y Monsalve, 2012). Bajo

el contexto anterior el presente proyecto tiene como objetivo determinar la aceptación de Golden Berries bajo dos presentaciones de consumo, fruta fresca y mermelada, con la finalidad de ofrecer una alternativa de consumo en la dieta mexicana.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el municipio de Tlatlauquitepec localizado en la región de Teziutlán, Puebla, México con un total de 55 576 habitantes, de las cuales el 47% son hombres y el 52.10% mujeres (INEGI, 2020). Los sectores económicos que se desarrollan pertenecen a actividades agrícolas, comercio por menor, industrias manufactureras y otros servicios.

El proyecto consistió en la difusión de Golden Berries en dos presentaciones, mermelada y fruta para consumo en fresco, con la finalidad de identificar su nivel de aceptación a través de un estudio de mercado.

Modelo de investigación

El modelo de investigación empleado fue descriptivo con muestreo probabilístico. Para la recolección de la información se utilizó una encuesta semi estructurada, diseñada con preguntas filtro, abiertas y de selección múltiple dividida en sección 1: conocimiento general de uchuva, sección 2: aceptación fruta fresca, sección 3: aceptación en mermelada y finalmente, sección 4: aspecto económico (Figura 1). La aplicación de encuestas se realizó en comunicación personal.

La población objetivo de este estudio se localizó en el área semi-urbana central del municipio con productores agrícolas bajo el contexto familiar, para lo cual, se tomó como base hogares en donde el número de integrantes de la familia es en promedio de tres a cuatro personas. Como población total se contó con 750 personas.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE UCHUVA COMO FRUTA FRESCA Y EN PROCESADOS ALIMENTARIOS			
Encuesta semi estructurada			
Datos generales del entrevistado:			
Nombre:		Edad:	
Municipio/Comunidad:		Ocupación:	
Sección 1: Conocimiento general de uchuva			
1. ¿Alguna vez ha escuchado hablar de la uchuva o Golden Berries?			
a) No	b) Si	No lo recuerdo	
2. ¿Estaría interesado/a en conocer y degustar esta fruta?			
a) No	b) Si	No lo recuerdo	
Fase 2: Aceptación de fruta			
3. De acuerdo al sabor de la fruta, que calificación le daría, si 1= pésimo, 2= Malo, 3= regular, 4= bueno y 5= Excelente			
Respuesta=			
4. ¿Le gustaría consumir fruta de uchuva o Golden Berries bajo esta presentación (clamshell)?			
a) No	b) Si		
5. ¿Le gustaría consumir frutas con propiedades antioxidantes?			
a) No	b) Si		
6. ¿Con que frecuencia consume frutas con propiedades nutraceuticas-antioxidantes?			
a) Una vez a la semana	b) Una vez cada 15 días	c) una vez al mes	d) No consume
Fase 3: Aceptación en mermelada			
7. ¿Le gustaría degustar una mermelada de uchuva o Golden Berries?			
No		b) Si	
8. De acuerdo al sabor de la mermelada, que calificación le daría, si 1= pésimo, 2= Malo, 3= regular, 4= bueno y 5= Excelente			
R=			
Fase 4: Aspecto económico			
9. ¿Con que frecuencia consume mermelada?			
a) Una vez a la semana	b) Una vez al mes	c) Una vez cada tres meses	d) No consume

Figura 1. Encuesta para conocer la aceptación de Golden Berries en dos presentaciones, como fruta para consumo en fresco y en mermelada con bajo aporte calórico. Población objetivo

Cálculo de la muestra

Se utilizó la fórmula propuesta por (Munuera y Rodríguez, 2020) para poblaciones finitas con un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

$$n = \frac{NZ^2pq}{(1 - 1)e^2 + Z^2pq}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N=Población objetivo

Z = valor de la tabla normal estándar correspondiente al área bajo la curva

p = Probabilidad de que un suceso ocurra (generalmente un 50 %)

q = Probabilidad de que un suceso no ocurra (generalmente un 50 %)

e = Error permisible

De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó una muestra de 150 personas a encuestar. Del mismo modo, para la evaluación sensorial se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (Cuadro 1), que permitió conocer la percepción respecto a sabor y calidad de la mermelada, y al mismo tiempo de fruta fresca (Argote *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Escala hedónica para la evaluación sensorial de mermelada de Golden Berries y fruta para consumo en fresco.

Valor puntual en la escala	
1	Pésimo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Excelente

Los datos obtenidos fueron analizados para la realización de descripción en cuadros y gráficas dividida en fases tal y como se estructuró la encuesta.

Resultados y discusión

Con base en las respuestas obtenidas por las personas entrevistadas, se observa en la Figura 2 el diagnóstico sobre el nivel de conocimiento de uchuva. De las 150 personas entrevistadas el 100% no conocen esta fruta, sin embargo, el 86.6% tiene interés en conocer y consumir esta fruta, sin diferencia entre la presentación como fruta en fresco y/o mermelada. Sumado a esto, el 93.3% mostró interés en consumir frutas con propiedades antioxidantes. Estos resultados son similares a los reportados por García *et al.* (2013), quienes mencionan que la tendencia a consumir alimentos con antioxidantes ha estado en aumento, principalmente con fines de cuidado de salud y prevención de enfermedades degenerativas.



Figura 2. Diagnóstico inicial sobre el nivel de conocimiento de uchuva en población entrevistada.

Lo anterior se sustenta a través de la indagación en donde el 73.3% mencionan que por lo menos una vez al mes consumen alguna fruta con propiedades antioxidantes (Figura 3), lo anterior sugiere que en la actualidad la comunidad humana ha generado una tendencia en el aumento de consumo de alimentos con antioxidantes con la finalidad de cuidar la salud y prevenir aparición temprana de edad avanzada (Coronado *et al.*, 2015).

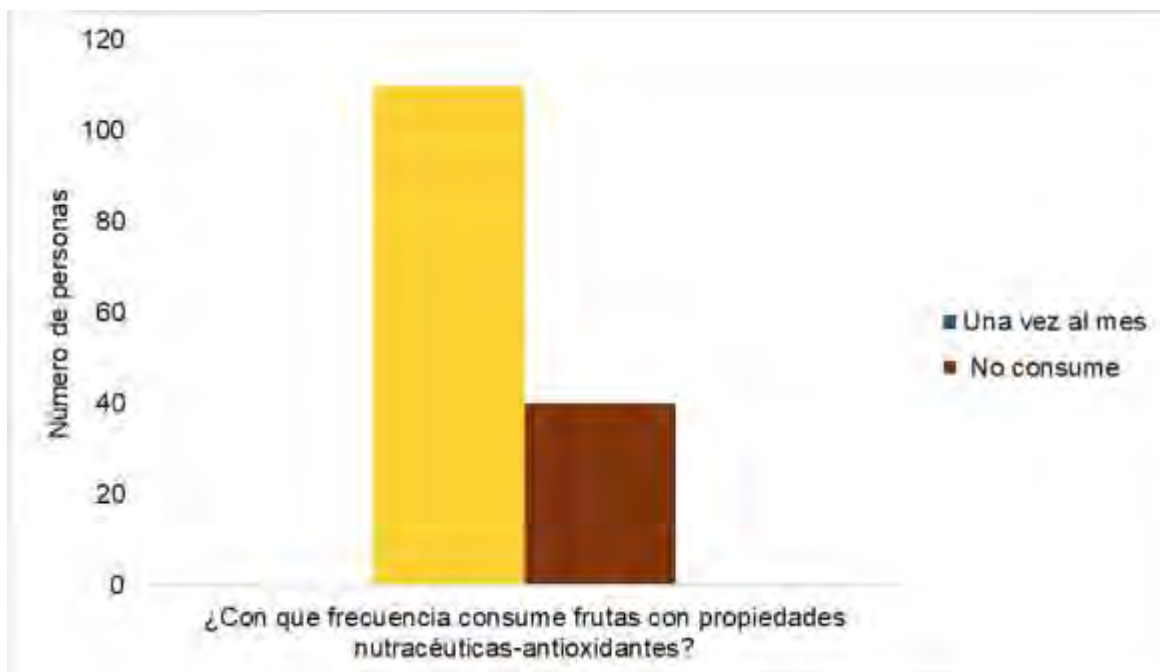


Figura 3. Frecuencia de consumo de frutas con propiedades antioxidantes.

Respecto a la disponibilidad de degustar mermelada de uchuva, el 100% de la población entrevistada reportó una respuesta favorable. Sumado a esto, el 83.5% consume este tipo de productos alimenticios por lo menos una vez al mes, este resultado permite generar una proyección de consumo. De acuerdo con Jordán *et al.* (2009) cuando se desea comercializar un producto el porcentaje de aceptación debe corresponder por lo menos al 60% y en este caso el reportado es superior. Por otro lado, la población objetivo tiene preferencias significativas respecto a la presentación en frasco de vidrio siendo superior al 100% en comparación a plástico, lo cual coincide con la tendencia reportada por Perea y Villafuerte (2023) en donde reporta que el 88% de los encuestados prefieren consumir mermelada en envase de vidrio.

Respecto al precio dispuesto a pagar por la adquisición de una mermelada de uchuva, se puede observar, que el 86.7% podría pagar más de \$70.00 por unidad y la mayoría de las personas realizan la compra de este tipo de productos en pequeñas tiendas, mientras que en tiendas departamentales solo el 60% (Figura 4), lo anterior podría representar una oportunidad de comercialización latente (Jiménez *et al.*, 2018).

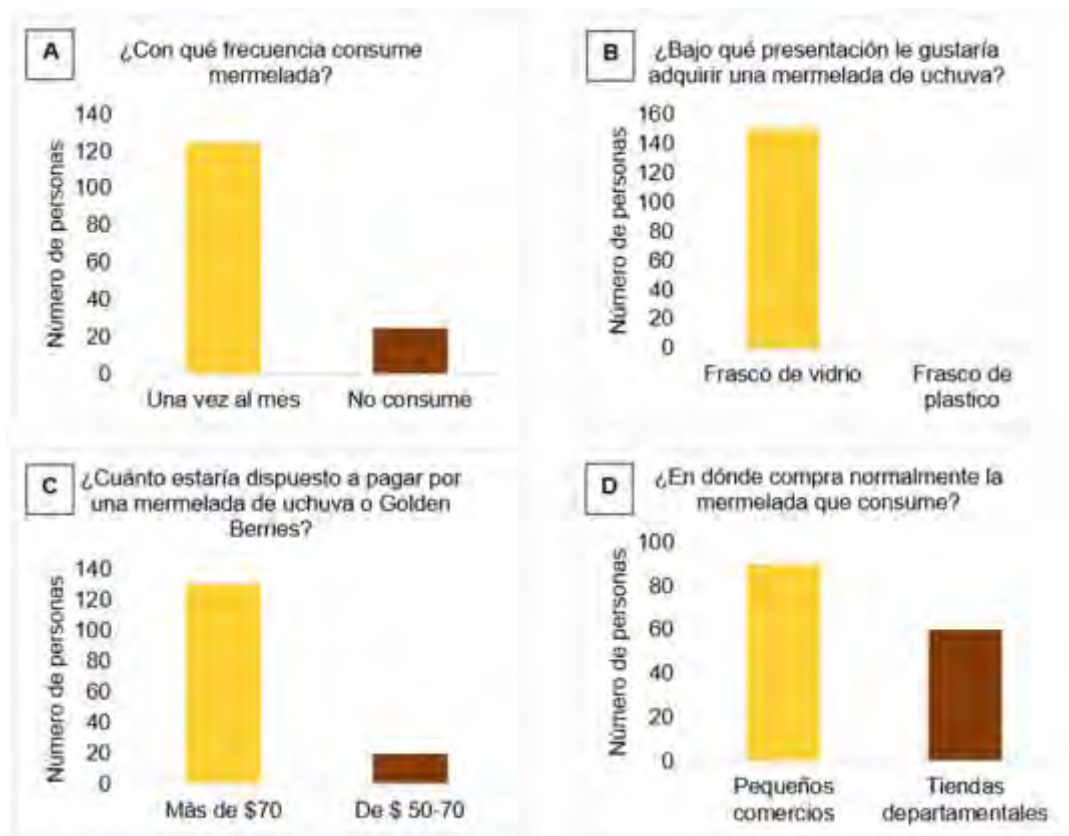


Figura 4. Diagnóstico sobre la aceptación de mermelada elaborada con fruta de uchuva. A) Frecuencia de consumo, B) Presentación deseable de mermelada de uchuva, C) Rangos de precio a pagar en pesos y D) Lugar frecuente de adquisición de mermeladas.

Como parte de las pruebas sensoriales, se ofreció a la población encuestada fruta fresca de uchuva para conocer su opinión acerca del sabor y con base en la escala hedónica se puede observar en la Figura 5 que el 83.3% de la población la considera como excelente, mientras que un 15.3% buena y únicamente el 1.4% regular. Del mismo modo es importante señalar que ninguna persona reportó el sabor como pésimo o malo. Lo anterior coincide con Herrera *et al.* (2012) quienes evaluaron características sensoriales de uchuva provenientes de tres regiones de Colombia.

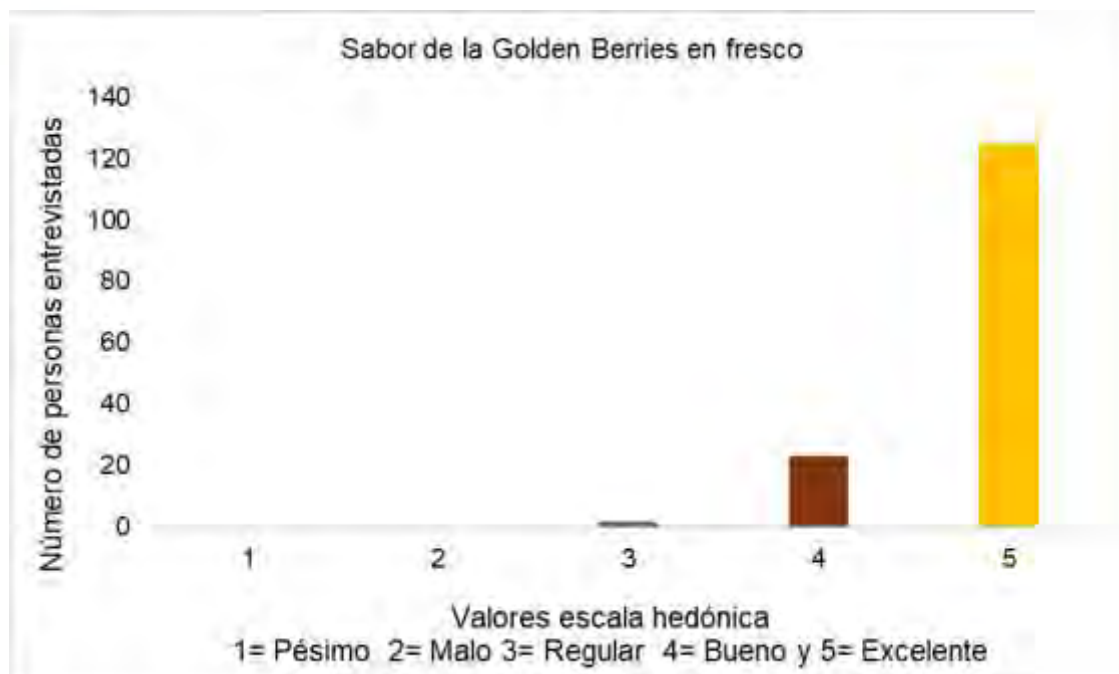


Figura 5. Respuesta de 150 encuestados sobre la variable sabor de Golden Berries en consumo en fresco, de acuerdo con valores de escala hedónica.

Finalmente, respecto a las características de sabor y consistencia de la presentación en mermelada se puede observar en la Figura 6 que el 93.3% la consideran excelente, mientras que únicamente el 6.7% consideran el sabor como bueno. Es relevante notar que nadie describió el sabor del producto en las categorías pésimo, malo o regular. Estos resultados permiten considerar viable la producción y comercialización de este producto ya que de acuerdo con More y León (2022), los productos alimenticios que tienen un nivel de aceptación de bueno a excelente tienen mayor éxito al ser colocados en los mercados.

Para la variable consistencia de la mermelada la tendencia es similar a la reportada anteriormente ya que sólo se categorizó entre buena y excelente con valores del 33.3 y 66.7% respectivamente (Figura 6). La consistencia de la mermelada por naturaleza de la fruta contiene alto número de semillas lo cual podría influir en la opinión de la población estudiada (Márquez *et al.*, 2009).



Figura 6. Respuesta de encuestados sobre el sabor y consistencia de mermelada de Golden Berries de acuerdo con escala hedónica.

Conclusiones

El cultivo de uchuva se dio a conocer a través de degustaciones en fruta fresca y en mermelada, el nivel de aceptación fue de bueno a excelente en ambas presentaciones lo anterior da pauta para generar un paquete tecnológico que permita la producción comercial de esta fruta.

Literatura citada

Aguilar-Carpio, C., P. Juárez-López, I. H. Campos-Aguilar, I. Alía-Tejagal, M. Sandoval-Villa y V. López-Martínez. 2018. Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. Revista Chapingo. Serie horticultura, 24(3):191-202.

- Argote, F., H. Villada y H. Argote. 2009. Investigación de mercado sobre el grado de aceptación de la carne de cuy (*Cavia Porcellus*) en presentaciones de ahumado, croquetas y apanado en la ciudad de Pasto. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 7(1):55-66.
- Bonilla, B. M. L., K. Espinosa P., A. M. Posso Terranova, H. D. Vásquez A. y J. E. Muñoz F. 2008. Caracterización molecular de 43 accesiones de uchuva de seis departamentos de Colombia. *Acta Agronómica*, 57(2):109-115.
- Coral, L. G., F. T. Martínez y B. Y. Chamorro. 2012. Estudio de mercado para la comercialización de uchuva *Physalis peruviana* L. en Nariño. *Revista de ciencias agrícolas*, 29(1):88-98.
- Coronado, M., S. Vega, R. Gutiérrez, M. Vázquez y C. Radilla. 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2):206-212.
- Espinosa-Rodríguez, M., M. Sandoval-Villa, E. García-Cruz, O. Antúnez-Ocampo, R. Pérez-Pacheco y J. E. Sabino-López. 2020. El mercado de la uchuva en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8):1789-1802.
- Fischer, G.; P. Almanza y D. Miranda. 2014. Importancia y cultivo de la uchuva. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal SP*. 36(1): 001-015.
- Flores, R., J. Víctor, G. Fischer, R. Sora y D. Ángel. 2000. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Editorial UN. 91p.
- García, T. B. E., A. Saldaña B. y L. Saldaña G. 2013. El estrés oxidativo y los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 12(2):187-196.

- Gutiérrez, T., O. Hoyos y M. Páez. 2007. Determinación del contenido de Ácido Ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA, 5(1):70-79.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Tlatlauquitepec Población-plan de desarrollo. <https://planeader.puebla.gob.mx> [consultado 22 de marzo de 2023]
- Herrera, G. A. Q., K. C. Ríos y G. T. Ocampo. 2012. Evaluación sensorial de uchuva (*Physalis peruviana* L.) proveniente de tres regiones de Colombia. Revista Alimentos Hoy, 21(26).
- Jiménez, D. L. C., N. Ramírez S. y L. A. Guauque O. 2018. Plan de negocios para la creación de una microempresa dedicada a la producción de mermelada artesanal endulzada con Stevia. Tesis de doctorado. Universidad Metropolitana Ciudad de Ibarra, Ecuador. 110 p.
- Jordán, M. D., J. S. Vásconez C., C. D. Veliz Q. y V. H. González. 2009. Producción y Exportación de la Fruta Pitahaya hacia el mercado europeo. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Economía y Negocios. Guayaquil, Ecuador. 115 p.
- Márquez, C. J., O. Trillos, J. R. Cartagena y J. M. Cotes. 2009. Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Vitae 16(1):42-48.
- More, F. S. F., y J. L. S. León. 2022. Mermelada a base de pulpa y cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.) edulcorado con estevia. Agroindustrial Science, 12(2):157-163.
- Moreno-Miranda, C., R. Moreno-Miranda, A. A. Pilamala-Rosales, J. I. Molina-Sánchez y L. Cerda-Mejía. 2019. El sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (*Physalis peruviana* L.). Ciencia y Agricultura, 16(1):31-51.

- Munuera, A. J. L. y A. I. Rodríguez E. 2020. Estrategias de marketing. Un enfoque basado en el proceso de dirección. Esic 98 p.
- Núñez, D. A. B., y J. N. M. Monsalve. 2012. Modelo de evaluación para la producción y comercialización de uchuva. In Vestigium Ire 5(1):47-58.
- Perea, M. A. N. y N. V. Villafuerte T. 2023. Estudio de factibilidad para la creación de una pequeña empresa productora de mermeladas de frutas cítricas en el cantón La Maná provincia de Cotopaxi. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador. 150 p.

PROPAGACIÓN INDIRECTA DE *Bacopa procumbens*

Claudia de los Angeles Bonilla Ramírez²⁹, Alberta Luna Hilario²⁹, Elizabeth Vargas Anaya³⁰,
Valentín López Gayou³⁰, Aarón Comunidad Villa²⁹ y Ada María Ríos Cortés^{30*}

Resumen

Bacopa procumbens es una planta medicinal ampliamente distribuida en el Valle de México, la especie produce compuestos fenólicos y terpénicos que tiene distintos usos terapéuticos incluyendo comprobadas actividades cicatrizante y antibacteriana, además de la capacidad de reducir metales para la obtención de nanomateriales. Debido al creciente interés en su potencial terapéutico y aplicaciones en la ciencia de materiales, el presente estudio propone el cultivo *in vitro* como una alternativa para su obtención sostenible y su propagación masiva a través de la técnica de organogénesis indirecta, para lo cual se estableció un cultivo *in vitro* primario utilizando explantes nodales desinfectados superficialmente y sembrados en un medio MS basal. Posteriormente se utilizaron segmentos de tallos de este cultivo para su desdiferenciación en medio MS suplementado con diferentes combinaciones de ácido naftalenacético (ANA) y bencilaminopurina (BAP). Se observó que a bajas concentraciones de ANA se generó brotación múltiple, sin la necesidad de manipular el balance hormonal exógeno, mientras que a concentraciones más altas aumenta la presencia de callos. Es así que el tratamiento con 3 mg/L de ANA y 1 mg/L de BAP resultó ser el más efectivo para la generación de callos, mientras que el tratamiento con 1 mg/L de ANA y 0.5 mg/L de BAP generó brotes que fueron utilizados para la etapa de rediferenciación, en donde el material vegetal se cultivó en medio MS basal sin fitorreguladores, lo que permitió obtener plántulas completas a la sexta semana de cultivo. Finalmente, estas plántulas pudieron ser subcultivadas para la propagación *in vitro* de la especie. El estudio demuestra que la organogénesis indirecta es una técnica viable para la propagación masiva de *B. procumbens* y que la regeneración espontánea observada en varios tratamientos sugiere que la especie tiene una alta capacidad de autorregulación hormonal, lo que puede simplificar los protocolos de propagación *in vitro*.

Palabras Clave: plantas medicinales, organogénesis indirecta, brotación múltiple

²⁹ Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla.

³⁰ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). *Autor de correspondencia: ariosc1010@gmail.com

Introducción

La medicina tradicional incorpora el conocimiento ancestral sobre el uso terapéutico de plantas, teniendo importancia al ser la fuente de atención primaria de muchas comunidades por ser una opción económica y estar disponible localmente. Si bien la integración del conocimiento tradicional sobre plantas medicinales preserva la diversidad cultural y mantiene vivas técnicas que pueden ofrecer alternativas a tratamientos convencionales, genera un aumento en la demanda de productos naturales que puede incurrir en la sobreexplotación de especies para su comercialización a mayor escala, reduciendo poblaciones hasta el punto de la amenaza o la extinción (Espinosa, *et al.*, 2018).

Tal es el caso de *Bacopa procumbens*, conocida coloquialmente como metatera, que es una especie perenne ampliamente distribuida en el Valle de México. Está asociada especialmente a pastizales y matorrales, aunque también puede encontrarse como planta ruderal en campos, lugares abandonados, a lo largo de caminos y sitios húmedos (Hidalgo, 2010). Dentro de la medicina tradicional, la especie ha sido utilizada para tratar diversas afecciones, incluyendo la malaria, anemia, infecciones, fiebre y enfermedades virales, además de mostrar propiedades cicatrizantes y antibacterianas (Flores *et al.*, 2018). Con la finalidad de estudiar su composición química y comprobar su actividad biológica, González-Cortazar *et al.*, (2019) analizaron la fracción de acetato de etilo del extracto hidroalcohólico y descubrieron la presencia de compuestos fenólicos derivados de gastrodina, así como saponinas triterpénicas. Otros autores como Vargas (2020) señala que estos componentes son responsables de las propiedades antimicrobianas de la planta, además de conferirle la capacidad de sintetizar nanopartículas metálicas.

Debido al creciente interés en su potencial terapéutico se ha incrementado la demanda y, aunado a las actividades antropogénicas en sus zonas de recolección, las poblaciones de *B. procumbens* se han visto mermadas, haciendo necesario tener alternativas para su obtención sostenible con la finalidad de obtener plántulas de manera masiva sin incurrir en una sobreexplotación de la especie.

El cultivo *in vitro* de plantas, que tiene como principio la totipotencialidad de las células vegetales, es una de las técnicas más prometedoras para la propagación masiva de plantas, debido a que cada célula vegetal contiene toda la información genética necesaria para

regenerar una planta completa bajo condiciones específicas (Fehér, 2019). El balance adecuado de los fitorreguladores como las auxinas y citoquininas puede inducir la desdiferenciación y rediferenciación celular, es decir, las células del explante inicial pierden su especialización y regresan a su estado meristemático para formar un callo, que se define como una acumulación desorganizada de células vegetales sin una diferenciación morfológica, posteriormente, las células del callo se especializan nuevamente para formar órganos específicos, como brotes o raíces, para generar plántulas hijas. A este proceso de regeneración de plantas en el cultivo *in vitro* se le conoce como morfogénesis u organogénesis indirecta y tiene como principal ventaja la obtención de un mayor número de plantas hijas a partir de un explante (Duclercq, *et al.*, 2011, Ikeuchi, *et al.*, 2013).

El objetivo de este trabajo fue la producción de la especie a través de organogénesis indirecta, para obtener plantas libres de patógenos y al mismo tiempo una proliferación masiva para el uso en la investigación y de la conservación de *B. procumbens* en su hábitat natural.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Unidad Académica del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que se ubica en el municipio de Tepetitla de Lardizabal en el estado de Tlaxcala, al norte colinda con el municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros; al oriente con el municipio de Nativitas, Tlaxcala; al sur y al poniente con el estado de Puebla.

Material vegetal

Los ejemplares de *Bacopa procumbens* se colectaron en la comunidad de San Miguel Regla en el estado de Hidalgo. La especie se identificó taxonómicamente por la bióloga María Edith Villafranco, las fichas de identificación quedaron depositadas en el herbario Izta-Flora útil de México de la Facultad de Estudios Superiores de Iztacala, UNAM, con número de registro 1792. Los ejemplares de la especie se utilizaron para establecer el cultivo en invernadero, a partir del cual se obtuvieron explantes nodales de aproximadamente dos semanas de vida. Los

explantes se obtuvieron con pinzas desinfectadas previamente y, una vez obtenidos, se lavaron cuidadosamente con jabón comercial y se mantuvieron sumergidos en agua destilada hasta su desinfección superficial en campana de flujo laminar.

Establecimiento del cultivo *in vitro* primario

El cultivo *in vitro* se estableció en condiciones asépticas empleando un protocolo de desinfección superficial de explantes consistente en una inmersión por 30 segundos en una solución de etanol al 70% con agitación continua, posteriormente la solución alcohólica se descartó y los explantes se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 0.78% durante 10 minutos con agitación continua. Pasado el tiempo de exposición, la solución de hipoclorito de sodio se desechó y a los explantes se les realizaron tres lavados con agua destilada estéril.

Una vez desinfectados, se procedió a hacer cortes para eliminar la parte apical, cápsulas, flores o material vegetal dañado mecánicamente, dejando dos nodos por explante. Hecho lo anterior, los explantes se pasaron a frascos con 50 ml del medio Murashige Skoog (MS) basal al 50% con 30 g/L de sacarosa, solidificado con 4.4 g/L de Phytigel y complementado con 5 mg/L de L-Cisteína y 1 g/L de PVPP como antioxidantes. Los frascos se mantuvieron en cuarto de cultivo a una temperatura entre 22-23°C, fotoperiodo de 16 horas luz/ 8 horas oscuridad y 3500 luxes durante 28 días. Posterior a este tiempo, cada 4 semanas se realizaron subcultivos en frascos con medio MS con las características antes descritas para el mantenimiento de un stock.

Ensayo de desdiferenciación

En condiciones asépticas se cortaron segmentos de un centímetro de longitud de tallos de plantas provenientes del cultivo *in vitro* primario de cuatro semanas de vida. Los segmentos fueron sembrados en medio MS suplementado como en el punto anterior y adicionando la combinación de fitorreguladores, ácido naftalenacético (ANA) y bencilaminopurina (BAP), correspondiente a cada tratamiento previo al proceso de esterilización (Cuadro 1). Se colocaron tres cortes en cada frasco, teniendo cinco frascos para cada tratamiento con un total de 15 repeticiones, y se mantuvieron en cuarto de cultivo durante seis semanas en las mismas condiciones ambientales del cultivo *in vitro* primario.

Cuadro 4. Tratamientos para la generación de callos.

BAP		
ANA	0.5 mg/L	1 mg/L
1 mg/L	T ₁	T ₄
2 mg/L	T ₂	T ₅
3 mg/L	T ₃	T ₆

Etapas de rediferenciación

En condiciones asépticas se realizaron cortes a partir del material vegetal obtenido del T1, lo que permitió dividirlo en bloques de plántulas generadas. Cada uno de los bloques fue sembrado en medio MS basal al 50% sin la adición de fitorreguladores, los frascos se mantuvieron en cuarto de cultivo en las condiciones ambientales ya especificadas durante 4 semanas.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con el software estadístico SAS, realizando una comparación de medias con la prueba de rango múltiples de Tukey con una probabilidad de $\alpha=0.05$.

Variables evaluadas

Por cada tratamiento se contabilizó de manera manual el número de tallos que presentaron callos en su superficie posterior a las seis semanas de cultivo.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 y en la Figura 1 se presentan los resultados del ensayo con la adición de ácido naftalenacético (ANA) y bencilaminopurina (BAP) al medio de cultivo. El efecto de la adición de ambos fitorreguladores se hizo evidente a la segunda semana de cultivo, observándose un aumento en volumen del tejido, además de la aparición de pequeños callos blanquecinos en los ápices. Para la tercera semana de cultivo, la superficie de los tallos comenzó a llenarse de

estos mismos callos; sin embargo, también comenzó a ser evidente la presencia combinada con pequeños brotes, sobre todo en los tratamientos con 1 mg/L de ANA. Finalmente, para la cuarta semana de cultivo se observó brotación múltiple en la totalidad de la superficie de los tallos de los tratamientos con 1 y 2 mg/L de ANA; para el caso de los tratamientos con 3 mg/L se observó la presencia mixta de callos blanquecinos y brotes en la superficie de los tallos en combinación con 1 mg/L de BAP, mientras que los tallos expuestos a 0.5 mg/L de la citocinina se mantuvieron como callos blanquecinos y con relativa friabilidad hasta el final del ensayo.

Cuadro 5. Resultados de callogénesis a la cuarta semana de cultivo.

Tratamiento	Número de tallos por frasco que presentaron callos
1	0.00 b
2	0.00 b
3	2.40 a
4	0.00 b
5	0.00 b
6	0.20 b

^aMedias con letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

T₁: ANA 1 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₂: ANA 2 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₃: ANA 3 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₄: ANA 1 mg/L BAP 1 mg/L, T₅: ANA 2 mg/L BAP 1 mg/L, T₆: ANA 3 mg/L BAP 1 mg/L.

Estos resultados son equiparables con lo observado en *Bacopa monnieri*, en el cual Mohanta y Sahoo (2014) generaron un gran número de brotes en presencia de una auxina, ácido naftalenacético o ácido indolacético, sin la adición de una citoquinina. Por otra parte, Shrivasta y Rajani (1999) observaron que exponer a bajas concentraciones de ANA a *B. monnieri* generaba brotación múltiple y conforme se aumenta la concentración de esta auxina, también aumenta la presencia de callos. Si bien la secuencia de la organogénesis indirecta está compuesta por una etapa de cultivo en un medio rico en auxinas para la inducción a callogénesis, seguida de una etapa de cultivo en un medio rico en citocininas para que los callos generados se rediferencien en brotes, existen excepciones en donde ocurre una

regeneración espontánea sin la necesidad de manipular el balance hormonal externo (Motte *et al.*, 2013).

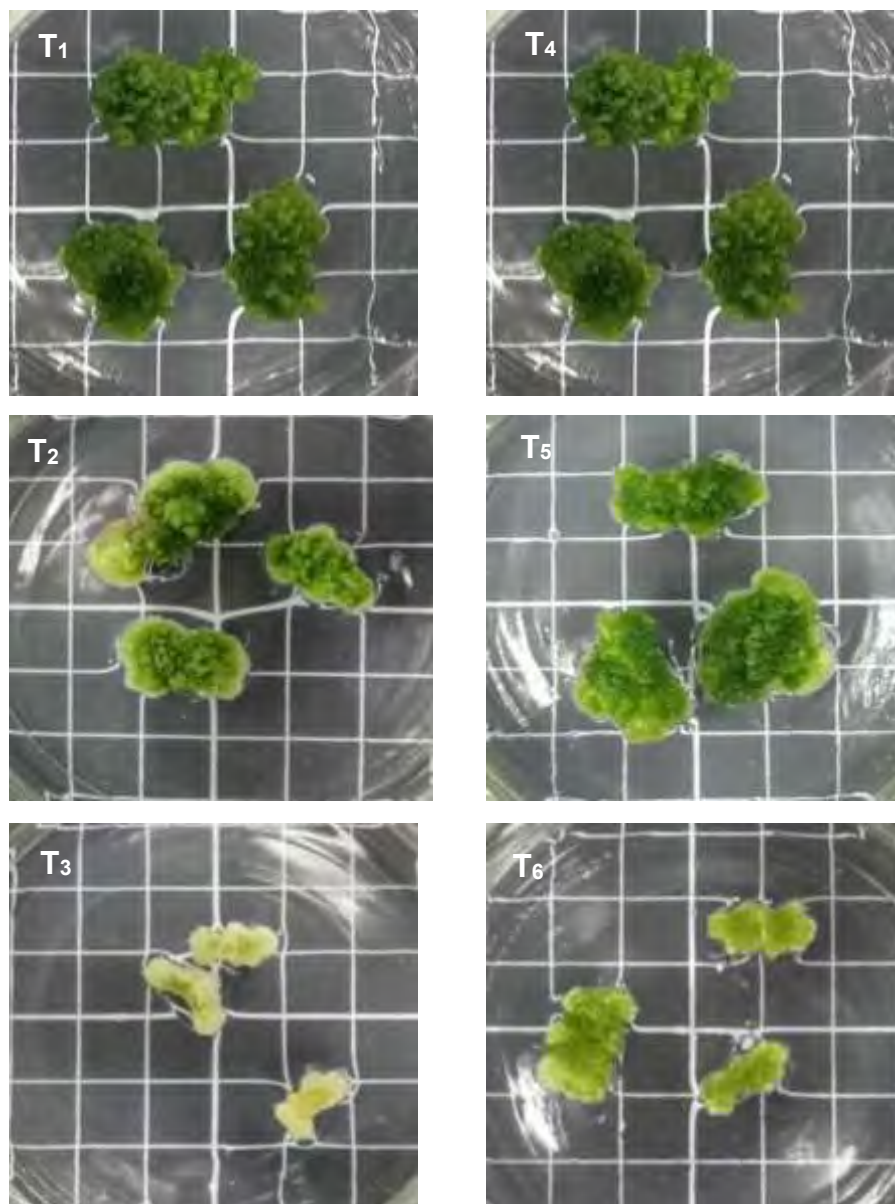


Figura 4. Resultados de callogénesis a la cuarta semana de cultivo. T₁: ANA 1 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₂: ANA 2 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₃: ANA 3 mg/L BAP 0.5 mg/L, T₄: ANA 1 mg/L BAP 1 mg/L, T₅: ANA 2 mg/L BAP 1 mg/L, T₆: ANA 3 mg/L BAP 1 mg/L.

Esto puede ocurrir por distintos factores, por ejemplo, algunos callos jóvenes mantienen su capacidad de producir y acumular sus propias hormonas, por lo que, en escenarios específicos

como una reducción o degradación de auxinas exógenas, se puede propiciar una acumulación de citoquininas endógenas que conlleve a la inducción espontánea de formación de brotes. La rediferenciación espontánea se considera menos controlable y predecible; sin embargo, fue un fenómeno constante en nuestro ensayo y únicamente se obtuvieron callos en algunos explantes del tratamiento con 3 mg/L de ANA en combinación con 1 mg/L de BAP, por lo que, en lugar de continuar con la organogénesis a partir de estos callos, se emplearon los explantes obtenidos en el tratamiento con 1 mg/L de ANA y 0.5 mg/L de BAP para la siguiente etapa. Tomando en cuenta que un callo juvenil tiene la facilidad de expresar su sistema hormonal endógeno y auto-rediferenciarse en la ausencia de auxinas exógenas, se procedió al cultivo del material vegetal en un medio MS basal sin fitorreguladores (Figura 2-A), los que permitió obtener plántulas con raíz a la sexta semana de cultivo (Figura 2-B) y, que pudieron ser subcultivadas para la propagación *in vitro* de la especie.

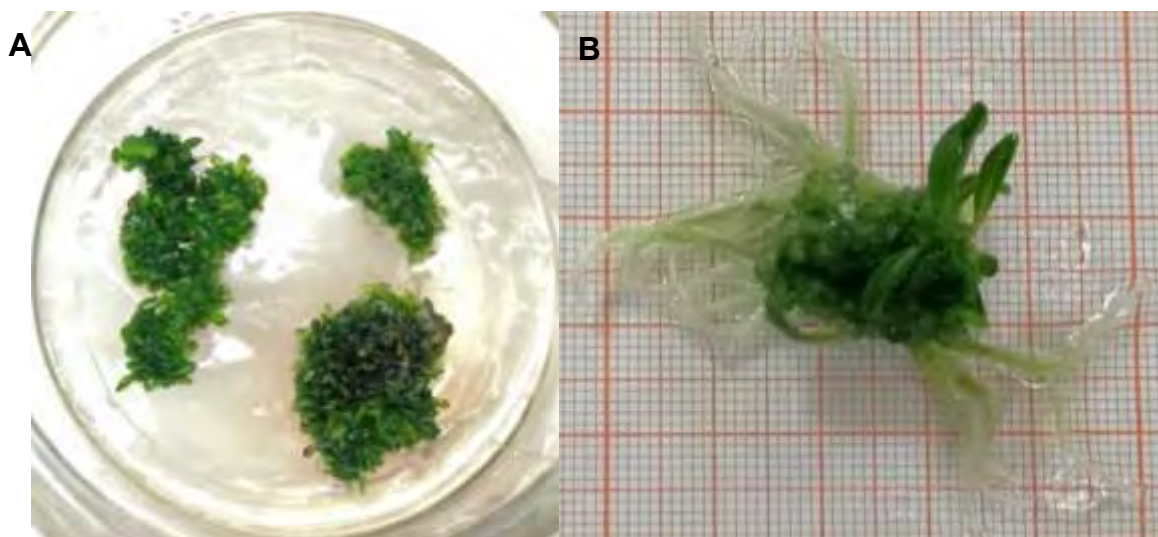


Figura 2. Subcultivo en medio MS basal. A: brotación múltiple antes del subcultivo en medio basal, B: material vegetal a la sexta semana de subcultivo.

Conclusiones

Este estudio proporciona un protocolo efectivo para la propagación *in vitro* de *Bacopa procumbens* mediante la técnica de organogénesis indirecta, pudiendo aprovechar la

regeneración espontánea que induce brotación múltiple en explantes al exponerse a una baja dosis de auxinas; así mismo, esta regeneración espontánea observada abre nuevas perspectivas para la investigación de la regulación hormonal endógena de la especie.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo otorgado para la realización del proyecto. Al Centro de Investigación en Biotecnología aplicada (CIBA-IPN) por permitir hacer uso de sus instalaciones y poder llevar a cabo el trabajo.

Literatura Citada

- Duclercq, J., Sangwan-Norreel, M. C. y Rajbir, S. S. 2011. *De novo* shoot organogenesis: from art to science. Trends Plant Sci.16 (11): 1360-1385
- Espinosa, C. A., César, L., Garza, A. P. y García, S. 2018. *In vitro* plant tissue culture: means for production of biological active compounds. Planta. 248 (1): 1-18.
- Fehér, A. 2019. Callus, Dedifferentiation, Totipotency, Somatic Embryogenesis: What These Terms Mean in the Era of Molecular Plant Biology?. Front. Plant Sci. 10: 536.
- Flores, C. M., López, G. V., y Reyes, L.J. 2018. Citotoxicidad de Arbutinas de *Bacopa procumbens* sobre Línea Celular Cancerígena SiHa. Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica, 5(1): 326–329.
- González-Cortazar, M. López-Gayou, V. Tortoriello, J. Domínguez-Mendoza, B.E. Ríos-Cortés, A.M. Delgado-Macuil, R. 2019. Antimicrobial gastrodin derivatives isolated from *Bacopa procumbens*. Phytochen Lett 31: 33-38.

- Hidalgo, A. O. 2010. Determinación del efecto cicatrizante del extracto acuoetanólico de la planta *Bacopa procumbens* en la línea celular 3t3 de fibroblastos de ratón. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía. 125 p.
- Ikeuchi, M., Sugimoto, K. e lwase, A. 2013. Plant callus: Mechanisms of Induction and Repression. *Plant Cell*. 25: 3159-3173.
- Mohanta, Y. y Sahoo, S. 2014. *In vitro* culture of highly valuable medicinal plant *Bacopa monnieri* (L.) Penn. for Rapid and Mass Multiplication. *Int. J. Pharm. Science Invent.* 3 (1): 41-45.
- Motte, H., Vereecke, D., Geelen, D. y Werbrouck, S. 2013. The molecular path to *in vitro* shoot regeneration. *Biotechnol Adv.* 32: 107-121.
- Phillips, G. C. y Garda, M. 2019. Medios y prácticas de cultivo de tejidos vegetales: una descripción general. *In Vitro Cell.Dev.Biol. Plant.* 55: 242–257.
- Sharma, A., del Carmen Flores-Vallejo, R., Cardoso-Taketa, A., and Villarreal, M. L. 2017. Antibacterial activities of medicinal plants used in Mexican traditional medicine. *Journal of ethnopharmacology*, 208: 264-329.
- Shrivastava, N. y Rajani, M. 1999. Multiple shoot regeneration and tissue culture studies on *Bacopa monnieri* (L.) Pennell. *Plant Cell Rep.* 18 (11): 919-923.
- Vargas A. E. 2020. Estudio del cultivo *in vitro* de *Bacopa procumbens* para la obtención de los compuestos responsables de la biosíntesis de nanopartículas metálicas. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. 84 p.

CHILE CHILPAYA (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*): EFECTO DEL AG3 AMIN-ZINC EN PLÁNTULA

Juan Valente Megchún García^{31*}, Gonzalo Guillermo Lucho Constantino³², Jair Alarcón Pérez³²
y Jeremías Nataren Velázquez³³

Resumen

Los chiles silvestres en los últimos años han adquirido importancia económica, en gran parte por el arraigo cultural de las diferentes regiones mexicanas, para la elaboración de una diversidad de alimentos típicos. Actualmente, los chiles silvestres presentan bajo porcentaje de germinación para su reproducción en almácigos, convirtiéndose en una limitante para el cultivo a nivel comercial. Por lo anterior, el uso de reguladores de crecimiento es una alternativa para estimular los procesos de germinación y emergencia en algunos cultivos semi perennes. El objetivo de este estudio fue evaluar AG3 Amin-Zinc como promotor capaz de romper la testa de la semilla e inducir la emergencia de semillas de chile chilpaya. El experimento se desarrolló en un invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza, se evaluaron los tratamientos AG3 Amin-Zinc con las siguientes dosis: T1: 0.8 mL/L, T2: 1.2 mL/L, T3: 1.6 mL/L y T4: Control. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones, las variables de estudio fueron porcentaje de emergencia (%), número de plantas emergidas y altura de plántula (cm). El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa Excel (Microsoft Office). Los resultados con respecto a los tratamientos T2 y T3, a partir de los 11 días, tuvieron mejor respuesta en la emergencia de las semillas de chile chilpaya; siendo el mejor el T3 con el mayor porcentaje de emergencia de plántulas (70%), alcanzando la máxima altura de plántula a los 63 días con un valor de 16 cm sobre el sustrato. El promotor AG3 Amin-Zinc® resultó tener un efecto positivo en la germinación de chile chilpaya con la dosis de 3 mL/L.

Palabras clave: chiles silvestres, fitohormonas, semi perennes, semilleros

³¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río.

³² TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza.

³³ INIFAP/Campo Experimental Cotaxtla, *Autor de correspondencia: megchj@gmail.com

El AG3 Amin-Zinc (Agro Nortech®) es una solución soluble en agua que contiene componentes biológicamente activos como el ácido giberélico (AG, 3000 ppm), aminoácidos (5% P/V) y zinc (10% P/V). Este producto es considerado un promotor de crecimiento multifuncional que está directamente relacionado con la elongación del tallo, fotomorfogénesis, crecimiento de la hoja, la raíz, floración, desarrollo del polen y fructificación. Para el presente estudio se planteó

evaluar si GA3 Amin-Zinc, por sus propiedades, es un promotor que sea capaz de romper la testa de la semilla e inducir la emergencia del chile chilpaya.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se desarrolló en el invernadero ubicado en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza, del municipio de Jesús Carranza, Veracruz. En el interior del invernadero se acondicionó un área destinada para el germinado de las semillas de chile, así mismo, se realizó un proceso de desinfección en el invernadero con el uso de azufre, cal y creolina, este proceso fue previo al establecimiento del cultivo.

Material experimental

El material genético que se utilizó fueron frutos en estado de madurez fisiológica con la epidermis de coloración roja intensa, estos fueron colectados en una parcela (Figura 1), ubicada en la localidad de San Gabriel, localizado a 7 km entre los límites de Oaxaca y Veracruz sobre la carretera panamericana tramo Acayucan Veracruz-Matías Romero, Oaxaca.



Figura 1. Parcela con plantas de chile chilpaya ubicadas en la localidad de San Gabriel.

Para evaluar el efecto de la fitohormona sobre la germinación de las semillas y la emergencia de las plantas, se utilizaron 160 g de chile chilpaya. Para ello, los frutos de chile chilpaya se secaron al sol durante 7 días, después se seleccionaron 500 semillas tomando en cuenta la ausencia de daño físico, el color, ausencia de necrosis, y tamaño de semilla. Antes de iniciar con el proceso de escarificación, se sumergieron 500 semillas en un contenedor con agua por 24 h, al cabo de este tiempo se descartaron las semillas vanas.

Tratamientos

Se seleccionaron 160 semillas, y estas fueron tratadas con el promotor de crecimiento AG3 Amin-Zinc (3000 ppm de giberelinas, 5% de Zinc, 5% aminoácidos) de la empresa Agro-Nortech®. Las semillas se sumergieron en la solución con el promotor de crecimiento AG3 Amin-Zinc, por 24 h en diferentes dosis como se describen en el Cuadro 1: para el testigo, las semillas se sumergieron en agua.

Cuadro 1. Dosis aplicadas a semillas de chile chilpaya bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Dosis (mL/L)
T1: AG3 Amin-Zinc	0.8
T2: AG3 Amin-Zinc	1.2
T3: AG3 Amin-Zinc	1.6
T4: (Control)	0

Después de cumplir con el tiempo de tratamiento de la semilla, se procedió a depositarlas en charolas de plástico (poliestireno) con una capacidad de 40 cavidades, usando como sustrato una mezcla de 40% de lombricomposta + 40% de tierra negra + 20% arena de río, con una relación de 1:1:0.5; previamente a la colocación de la semilla el sustrato se esterilizó con agua caliente, y después del proceso de enfriado se depositaron en las charolas esterilizadas. La siembra de la semilla en la charola se realizó depositando una semilla por cavidad a una profundidad de 2 mm, las charolas fueron colocadas bajo sombra a una temperatura de 35°C, con un fotoperiodo de 12 h luz y 12 h oscuridad. Se consideró un riego diario durante un periodo

de 21 días, y después cuatro riegos por siete días manteniendo un porcentaje de 40% de humedad.

Diseño experimental y variables de estudio

El diseño experimental fue completamente al azar ($p \leq 0.05$), con cuatro repeticiones por tratamiento, se utilizaron 40 semillas por tratamiento, correspondiente a una charola para hortalizas. Las variables de estudio fueron porcentaje de emergencia (%), número de plantas emergidas y altura de plántula (cm). Además, se midió el pH, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y el porcentaje de humedad (%) del sustrato (Cuadro 2). Se realizó el análisis estadístico de los datos con el programa office Excel (Microsoft®).

Cuadro 2. Características del sustrato en el desarrollo de las plántulas de chile chilpaya en charolas de poliestireno

Tratamientos	pH	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad (%)
T1	6.375	33.7	40
T2	6.375	33.1	40
T3	6.425	32.2	40
T4 (Control)	6.525	33.5	40

Resultados y discusión

La Figura 2, muestra el comportamiento de emergencia de plantas de chile chilpaya bajo el efecto del producto AG3 Amin-Zinc®. Los tratamientos T2 y T3 iniciaron la emergencia de las plántulas a partir del día 11; mientras que el T4 inicio la germinación a los 14 días después de la siembra. Esto significa que, la aplicación de ácido giberélico en T2 y T3 ejercieron un rápido efecto sobre la testa de la semilla logrando una ruptura de la dormancia de la semilla a los 11 días después de la siembra (DDS). Medina-Martínez *et al.*, (2010) aplicaron ácido giberélico a semillas de poblaciones silvestres de chile piquín del centro de Tamaulipas, y encontraron una

respuesta positiva a los 20 días con un 82% de germinación, mientras que las semillas testigo solo presentaron un 8%. Resultados similares fueron encontrados respecto a lo reportado por González-Cortés *et al.*, (2015), donde encontraron que la aplicación de 1.6% del bioestimulante Biozyme TF® por 24 h de inmersión tuvo un 86% de semillas germinadas a los 12 días de la siembra.

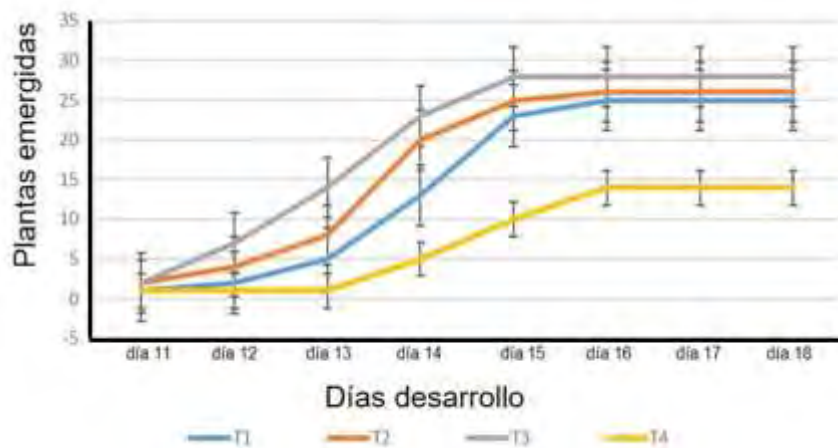


Figura 2. Comportamiento en la emergencia de plántulas de chile chilpaya crecidas en charolas de poliestireno.

Las giberelinas son hormonas endógenas encontradas en las plantas encargadas de controlar el desarrollo de la planta mediante la regulación de diversos mecanismos fisiológicos (Hooley, 1994; Née *et al.*, 2017). En la Figura 3, se muestra el total de plántulas emergidas bajo el efecto de diferentes dosis de AG3 Amin-Zinc®. A los 11 DDS se observó una rápida emergencia en los tratamientos T2 y T3, pero la mayor respuesta se presentó 14 DDS, el tratamiento T2 con 9 plántulas y el tratamiento T3 con 12 plántulas, mientras que el tratamiento T3 tuvo efecto en la emergencia de 10 plántulas 15 DDS comparado al tratamiento control (T4). El promotor de crecimiento aceleró el proceso de germinación respecto al comportamiento del T4. La rápida emergencia de las plántulas estuvo asociado a la ruptura de la dormancia en las semillas al aumentar la dosis del promotor de crecimiento. Se ha reportado que el incremento de los niveles de reguladores de crecimiento acelera la ruptura de la latencia en las semillas (García

et al., 2021), debido a la sobrerregulación de la enzima α -amilasa, la cual tiene un papel en el hidrólisis de almidón a azúcares solubles (Sun *et al.*, 2019).

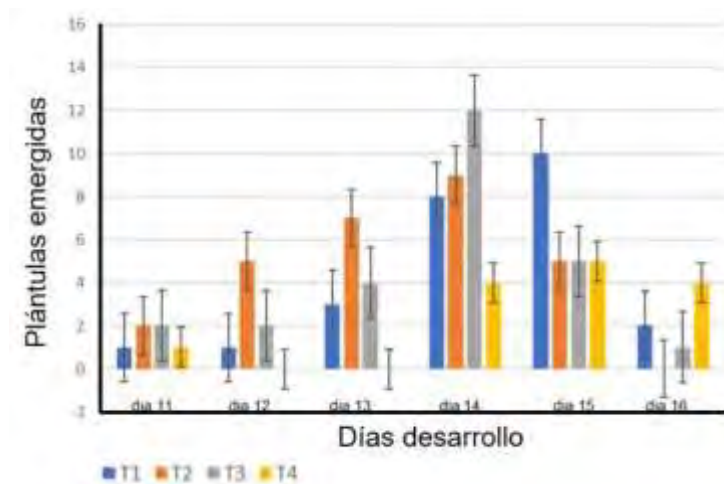


Figura 3. Número de plantas de chile chilpaya emergidas durante 16 días de desarrollo en charolas de poliestireno.

En el Cuadro 3, presenta los porcentajes de emergencia de chile chilpaya bajo el efecto del promotor AG3 Amin-Zinc®; el tratamiento T3 mostró ser más efectivo con 70% comparado al tratamiento control, el T1 y T2 presentaron un efecto similar en la emergencia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de emergencia de plántulas de chile chilpaya en charolas de poliestireno.

Tratamiento	Total de plántulas emergidas (n)	Emergencia (%)
T1	25	62.50
T2	26	65.00
T3	28	70.00
T4	14	35.00

En la Figura 4, se observa que las plántulas alcanzaron una altura de 4 cm a los 22 DDS en todos los tratamientos. En el día 33 las plántulas alcanzaron 8 cm de altura, pero a los 48 DDS

no mostraron un marcado crecimiento con respecto a los 33 DDS. La máxima altura de las plántulas fue de 16 cm hasta los 63 DDS. Probablemente, el lento crecimiento entre los días 33 y 43 en cada tratamiento se deba a la formación de nuevas hojas y brotes. En otros trabajos se ha reportado que el ácido giberélico promueve la altura de las plántulas mediante la inducción de la transcripción de genes involucrados en la elongación y la división celular durante el crecimiento de las plantas (Sun, 2004; Kumari *et al.*, 2017). También, se ha reportado que el ácido giberélico promueve un desarrollo excesivo de brotes y raíces debido a la alta tasa de división celular (Miransari y Smith, 2014). Sin embargo, cuando existe un exceso en el desarrollo de brotes, las plantas distribuyen más carbono en las hojas y en los brotes que las raíces, lo cual causa una reducción en el crecimiento de la raíz y un lento desarrollo (Grohs *et al.*, 2012).

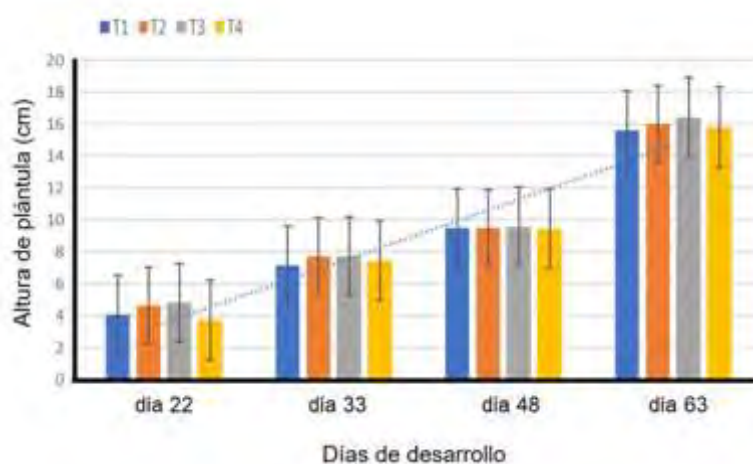


Figura 4. Altura de plántulas de chile chilpaya crecidas en charolas.

Conclusiones

El promotor AG3 Amin-Zinc® resultó tener un efecto positivo en la germinación de chile chilpaya en dosis de 3 mL/L (T3), y la máxima emergencia de las plántulas ocurrió a los 14 DDS con un 70% de respuesta. La altura máxima que alcanzaron las plántulas en el T3 fue de 16 cm.

Literatura citada

- Coronado, M. A., Córdova, A., García, M., Santiago, V. G. y Vásquez, R. A. 2013. Estrategias de mercado para productos elaborados a base de chiltepín en la sierra de Sonora Rev. Mex. Agroneg.42(32):359-370.
- Garcia, J., Thais, Castoldi C., Camargo de Andrade, G., Medeiros-Coelho, C. M., Gavicho-Uarrotta, V. 2021. Gibberellic acid promotes dormancy-breaking of rice seeds and the formation of abnormal seedlings. Revista de Ciências Agroveterinárias 20 (4): 2021.
- González-Cortés, N., Jiménez-Vera, R., Guerra-Baños, E. C., Silos-Espino, H., y Payro de la Cruz, E. 2015. Germinación del chile amashito (*Capsicum annuum* L. var. *Glabriusculum*) en el sureste mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11: 2211-2218.
- Grohs, M., Marchesan, E., Roso R., Constante, F. T., Limberger de O. M. 2012. Desempenho de cultivares de arroz con uso de reguladores de crecimiento, em diferentes sistemas de cultivo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47:776-783.
- Hooley, R. 1994. Gibberellins: Perception, transduction and responses. Plant Mol. Biol. 26, 1529–1555.
- Jiménez-Viveros, y., and Valiente-Banuet, J. I. 2023. "Colored Shading Nets Differentially Affect the Phytochemical Profile, Antioxidant Capacity, and Fruit Quality of Piquin Peppers (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)" Horticulturae 9(11):1240. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111240>
- Kiran, S., Ashraf, I. M., Faisal, S. M., Ahmad, K. P., Taimoor, Y., Khan, M. M., Hameed, S., Ishaq, S. 2021. Effect of different amino acids on the morphology and bio-chemical attributes of Chilli (*Capsicum frutescens* L.). Int. J. Agron. Agri. Res.18 (3): 55-61.

- Kumari, N., Kumar, R. P., Bara, B. M., y Singh, I. 2017. Effect of halo priming and hormonal priming on seed germination and seedling vigour in maize (*Zea mays* L.) seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6: 27-30.
- Meckelmann, S.W., Riegel, D.W., Van, Z. M., Ríos, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., Petz, M. 2014. Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.) grown in three different locations. *Eur. Food Res. Technol.* 240: 273–283.
- Medina-Martínez, T., Villalón-Mendoza, H., Hernández, J.M.P., Sánchez, R. G. y Salinas-Hernández, S. 2010. Avances y perspectivas de investigación del chile piquín en Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* 4(4):16-21.
- Miransari M. & Smith D. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental And Experimental Botany* 99: 110-121.
- Mireles-Rodríguez, E., Moctezuma-Balderas, N. L., Castro-Nava, S., Salazar-Hernández, R., Lucio-Castillo, H., Pérez-Jasso, C. 2015. Preacondicionamiento en la germinación de cuatro colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Aviculare*) de Tamaulipas, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(3): 99-106.
- Née, G., Xiang, Y., Soppe, W. J. J. 2017. The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. *Current Opinion in Plant Biology* 35: 8-14.
- Sun, J., Jia H., Wang, P., Zhou, T., Wu, Y., Liu, Z. 2019. Exogenous gibberellin weakens lipid breakdown by increasing soluble sugars levels in early germination of *zanthoxylum* seeds. *Plant Sci.* 280:155-163. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.08.013.
- Sun, T.P. 2004. Gibberellin Signal Transduction in Stem Elongation and Leaf Growth. In *Plant Hormones*; Davis, P.J., Ed.; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands: 308–328.

Tombegavani, S., Zahedi, B. S., Fard, S. M., y Ahmadpour, A. 2020. Response of Germination and Seedling Growth of Pepper cultivars to Seed Priming by Plant Growth Regulators. International Journal of Horticultural Science and Technolog. 7 (1): 59-68.

Watkins, J. T., Cantliffe, D. J. 1983. Hormonal control of pepper seed germination. Hortscience, 18(3):342- 343.

BACTERIAS DEL GÉNERO *Bacillus* COMO BIOESTIMULANTES DE FRUTOS DE CHILE JALAPEÑO EN CONDICIONES PROTEGIDAS DE MACROTÚNEL

Félix David Murillo Cuevas³⁴, Jacel Adame García^{34*}, David Guerrero Pedraza³⁴, José Antonio Fernández Viveros³⁴ y Héctor Cabrera Mireles³⁵

Resumen

La producción de chile jalapeño, al igual que muchos cultivos, depende significativamente de la fertilización química, la cual es un componente clave en el rendimiento de los cultivos. Debido a esto, existe un uso excesivo de fertilizantes químicos, lo cual muchas veces no es eficiente, ya que gran parte del fertilizante no es aprovechado por el cultivo y fluye en el ambiente, contaminando cuerpos de agua y suelo. Una alternativa a esta problemática es el uso de bioestimulantes vegetales microbianos, tales como los formulados de bacterias del género *Bacillus*. El objetivo del trabajo fue evaluar cepas de bacterias del género *Bacillus* en el desarrollo de frutos de chile jalapeño en condiciones protegidas de macrotúnel. Las cepas que se evaluaron fueron obtenidas del Laboratorio de Biología Molecular del Tecnológico de Úrsulo Galván. Se utilizó un cultivo de chile jalapeño de la variedad Dante F1, producido en condiciones protegidas de macrotúnel. Se evaluaron 22 tratamientos que consistieron en: 1) seis cepas bacterianas de las especies *B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. simplex*, dos de cada una, 2) 15 combinación de estas y 3) un testigo. Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el peso y dimensiones de los frutos se utilizó un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los pesos de los frutos de chile jalapeño obtenidos de las plantas tratadas con los diferentes formulados de cepas bacterianas, combinaciones de estas y testigo. Las cepas de bacterias *Bacillus* con efectos bioestimulantes significativos fueron la CB4, CB5 y CB6, que corresponden a las especies *B. subtilis* y *B. simplex*, además de que sus efectos bioestimulantes fueron mayores cuando se aplicaron en combinación. Las cepas bacterianas *Bacillus* como bioestimulantes demuestran que el uso de algunas de estas cepas, o combinaciones de estas, beneficia significativamente el tamaño y peso de los frutos en chile jalapeño producidos en condiciones protegidas de macrotúnel.

Palabras clave: microorganismos, hortalizas, agricultura protegida

³⁴ Tecnológico Nacional de México/I.T. Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia: jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx.

³⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias/Campo Experimental Cotaxtla.

Introducción

El chile verde es una de las hortalizas de mayor importancia económica y cultural en México. Se tiene una producción nacional de 3,237,925 toneladas en una superficie sembrada de 165,226 hectáreas (SIAP, 2023). Sinaloa, Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí son los principales productores, contribuyendo con el 69.8% de la producción. El estado de Veracruz en 10º lugar contribuye con una producción de 42,223 toneladas en una superficie sembrada de 5,872 hectáreas (SIAP, 2023). En el país existe un registro de 29 tipos de chiles cultivados, cuatro de estas variedades contribuyen con el 77.9% del volumen de producción nacional, en la que destaca el chile jalapeño, que aporta el 31.2%; seguido de morrón, con 21.7%; poblano, con 13.7%, y serrano, con 11.3%. Razón por la cual el chile jalapeño es una de las principales hortalizas en México (SADER, 2020).

La producción de chile jalapeño, al igual que muchos cultivos, depende significativamente de la fertilización química (Duarte *et al.*, 2012; Bilalis *et al.*, 2018; Tucuch-Haas *et al.*, 2021), la cual es un componente clave en el rendimiento de los cultivos, de tal forma que una deficiencia nutricional se relaciona con pérdidas significativas en la producción. Debido a lo anterior, se incurre en el uso excesivo de fertilizantes químicos en la producción de vegetales, lo cual muchas veces no es eficiente, ya que gran parte del fertilizante aplicado se escapa al ambiente por lixiviación, contaminando cuerpos de agua y suelo (Daverede *et al.*, 2004; da Silva *et al.*, 2020). Además, la fertilización nitrogenada es una de las fuentes más importante de gases de efecto invernadero en México (González-Estrada y Camacho-Amador, 2017). También, la aplicación excesiva de fertilizantes químicos provoca problemas de inocuidad y deterioro de la calidad de los alimentos, como la acumulación de nitratos en los vegetales que puede provocar metahemoglobinemia en menores (Ye *et al.*, 2020).

Por otro lado, los altos costos de los fertilizantes sintéticos han encarecido la producción de los alimentos y en algunos casos ha provocado que sean insostenibles.

Una alternativa que pretende disminuir el uso de los fertilizantes sintéticos en la agricultura, al mejorar la nutrición de las plantas, utilizando las relaciones benéficas entre microorganismos y plantas, son los bioestimulantes microbianos (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2019; Adame-García *et al.*, 2021; Murillo-Cuevas *et al.*, 2021). Dentro de los microorganismos más utilizados como bioestimulantes vegetales se encuentran las bacterias del género *Bacillus*, las cuales

son promotoras del crecimiento vegetal a través de la activación de diferentes mecanismos celulares. Especies de *Bacillus* tienen la capacidad de solubilizar diferentes sustancias químicas y están implicadas en la síntesis de auxinas, producción de sideróforos, fijación de nitrógeno y en la síntesis de bacteriocinas (Lee *et al.*, 2009; Badía *et al.*, 2011). Dichas bacterias también tienen la capacidad de producir compuestos orgánicos, fijar nitrógeno y solubilizar fósforo mediante enzimas como nitrogenasas y fitasas, lo cual tiene un efecto positivo en el crecimiento vegetal y aumento del potencial productivo (Corrales *et al.*, 2017). Estas bacterias también son capaces de estimular el crecimiento de las plantas por medio de la síntesis y excreción de fitohormonas como las auxinas o citocininas (Anguiano *et al.*, 2019). Con base en lo anterior el objetivo del trabajo fue evaluar cepas de bacterias *Bacillus* en el desarrollo de frutos de chile jalapeño en condiciones protegidas de macrotúnel.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de investigación se desarrolló en la colonia Rivera del Río de la ciudad José Cardel del Municipio de La Antigua, Veracruz, donde se estableció un macrotúnel de 90 m² en el que se sembró y produjo chile jalapeño para la realización del trabajo experimental; y en el Laboratorio de Biología Molecular, ubicado dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional del México Campus Úrsulo Galván, en el Municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, donde se prepararon los formulados bacterianos y se pesaron y midieron los frutos de chile cosechados en el macrotúnel.

Cepas de bacterianas del género *Bacillus*

Las cepas del género *Bacillus* que se evaluaron como bioestimulantes en el cultivo de chile jalapeño fueron obtenidas del Laboratorio de Biología Molecular del Tecnológico de Úrsulo Galván, donde se aislaron e identificaron molecularmente como cepas de *B. megaterium*, *B. subtilis* y *B. simplex* (Adame-García *et al.*, 2021). Las bacterias fueron aisladas de tres tipos de uso de suelo, agroforestal, acahual, lichi y pasto, pertenecientes al Tecnológico de Úrsulo Galván (Adame-García *et al.*, 2021). Para la elaboración de los formulados de cepas

bacterianas, las bacterias se inocularon en medio líquido Winogradsky pH 6.5-7.0 [Sacarosa 10 g/L, CaCO_3 0.1 g/L, Agar 15 g/L, 5 ml solución mineral (K_2HPO_4 50 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 25 g/L, NaCl 25 g/L, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 g/L, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 g/L, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 g/L)] y se incubaron en agitación a 250 rpm durante 76 h.

Cultivo de chile jalapeño

Se utilizaron semillas de plantas de chile jalapeño de la variedad Dante F1 de Harris Moran®. Todas las semillas fueron inoculadas con micorrizas *Rhizophagus intraradices* del INIFAP® y posteriormente fueron sembradas en charolas de germinación de 200 cavidades con el sustrato peat moss.

Pasados treinta días después de la siembra en charola, se procedió a hacer el trasplante. Las plántulas se establecieron en un macrotúnel con dimensiones de 3m x 30 m, obteniéndose 90m², con riego por goteo en camas de siembra de 80 cm de ancho forradas con acolchado blanco. Se utilizó la mitad del macrotúnel, obteniendo 132 plantas, 66 en cada cama, distribuidas a una distancia de 25 cm a tres bolillos. La aplicación de los formulados de bacterias se inició en el trasplante y se continuó cada 30 días hasta el término del ciclo productivo, la dosis utilizada en los formulados bacterianos fue a una concentración del 20% v/v, con aplicaciones de 25 mL por planta de la dilución del formulado, aplicado en Drench. Los fertilizantes químicos utilizados en el cultivo fueron Urea (46-00-00) y DAP (18-46-00); se empleó una dosis mínima de fertilización química, equivalente al 50% de la recomendada para chile jalapeño (160-80-00 kg de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$). Se hicieron diluciones de los fertilizantes en agua considerando una aplicación de 50 mL por planta, con aplicaciones mensuales a Drench. El trasplante del cultivo fue el 4 de octubre del 2023 y se realizaron tres cortes de frutos, a los 76, 102 y 125 días después del trasplante, para la toma de variables de respuesta. De las 66 plantas por cama se utilizaron tres por tratamiento, de las cuales se cosechaban por lo menos cinco frutos para la toma de variables.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, considerando cada bloque como una cama del macrotúnel. Se utilizaron tres plantas por tratamiento y como unidades experimentales cinco a 10 frutos tomados al azar de las tres plantas por tratamiento. Las variables de respuesta

fueron peso, diámetro ecuatorial y polar de los frutos. Se evaluaron 22 tratamientos que consistieron en seis cepas bacterianas, 15 combinación de estas (Figura 1) y un testigo absoluto (Cuadro 1).

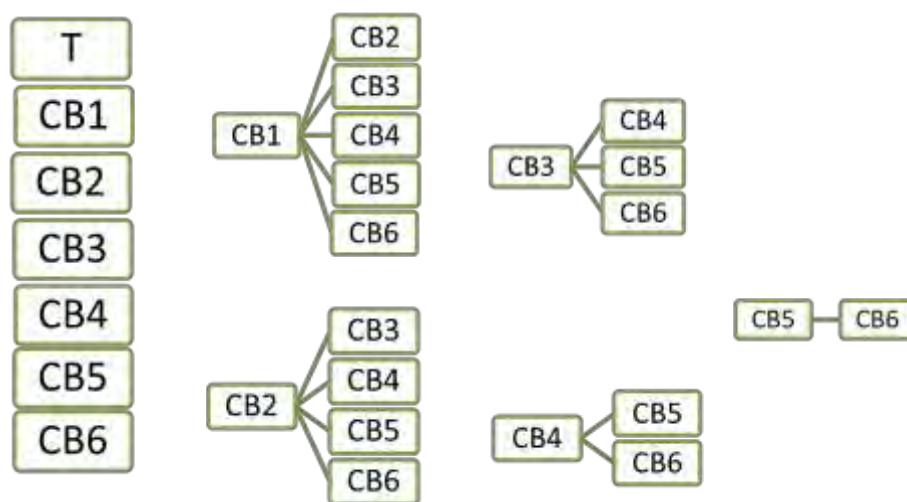


Figura 1. Cepas bacterianas evaluadas y sus combinaciones.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados de cepas bacterianas del género *Bacillus* en peso y dimensiones de frutos de chile jalapeño.

No.	Tratamiento	CEPA	Especie asociada
1	CB1	VVM1	<i>B. megaterium</i>
2	CB2	EAV2	<i>B. megaterium</i>
3	CB3	JAG3	<i>B. subtilis</i>
4	CB4	FDMC4	<i>B. subtilis</i>
5	CB5	JVN5	<i>B. simplex</i>
6	CB6	DGP6	<i>Bacillus</i> spp.
7-21	Combinaciones de cepas (Figura 1)		
22	Testigo (agua)		

Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el peso y dimensiones de los frutos se utilizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de rangos múltiples

de Tukey ($p \leq 0.05$). Se realizó la verificación de los supuestos de normalidad por el estadístico de Kolmogorov Smirnov para confirmar el uso de estadística paramétrica. Se utilizó el programa estadístico InfoStat versión 2020.

Resultados y discusión

Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($F_{21,251}=8.91$, $p=0.0001$) entre los pesos de los frutos de chile jalapeño obtenidos de las plantas tratadas con los diferentes formulados de cepas bacterianas, combinaciones de estas y testigo. Los frutos obtenidos de las plantas tratadas con las combinaciones de cepas bacterianas CB4+CB6, CB2+CB5 y CB4+CB5 tuvieron en promedio los frutos más pesados a diferencias de los frutos obtenidos de las plantas con los demás tratamientos, excepto con las cepas CB6, CB4 y combinaciones de cepas CB1+CB3, CB1+CB2 y CB4+CB6 (Figura 2).

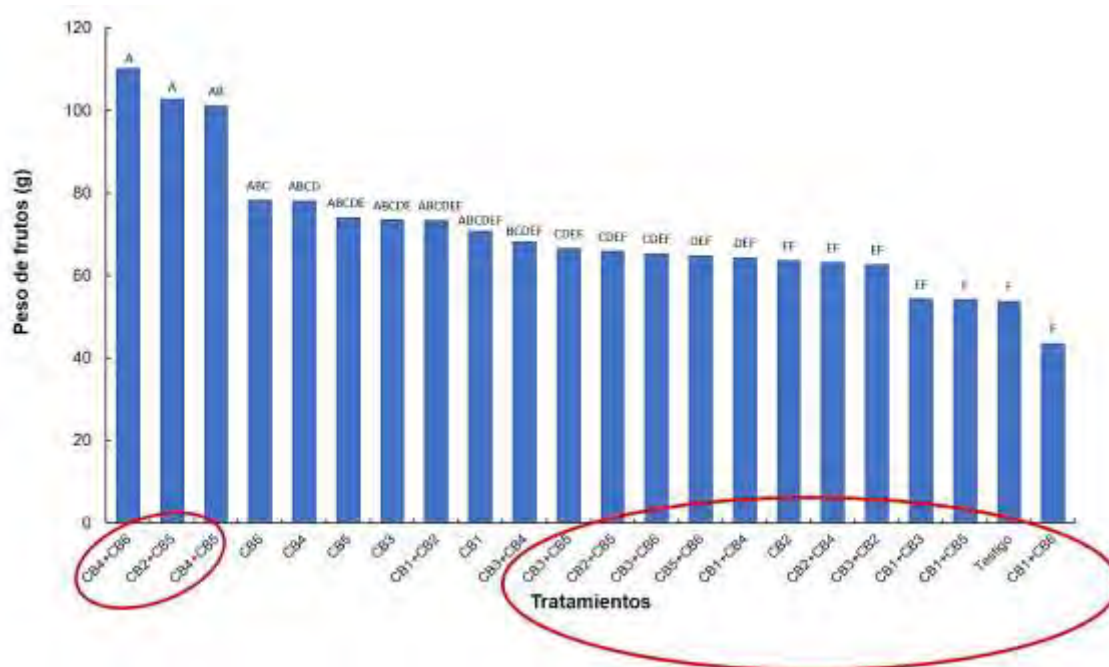


Figura 2. Efecto de cepas de bacterias del género *Bacillus* en el peso promedio de frutos de chile jalapeño producidos en condiciones protegidas de macrotúnel. Tratamientos= cepas bacterianas y combinaciones de estas.

En cuanto al diámetro polar de los frutos, los tratamientos de combinaciones de cepas CB4+CB5, CB4+CB6 y CB2+CB6 registraron frutos significativamente ($F_{21,251}=10.29$, $p=0.0001$) más largos que los frutos obtenidos de las plantas con de los otros tratamientos, excepto con las cepas CB4, CB5, CB6, CB3, CB2 y combinaciones CB3+CB6, CB3+CB5 y CB1+CB4 (Figura 3).

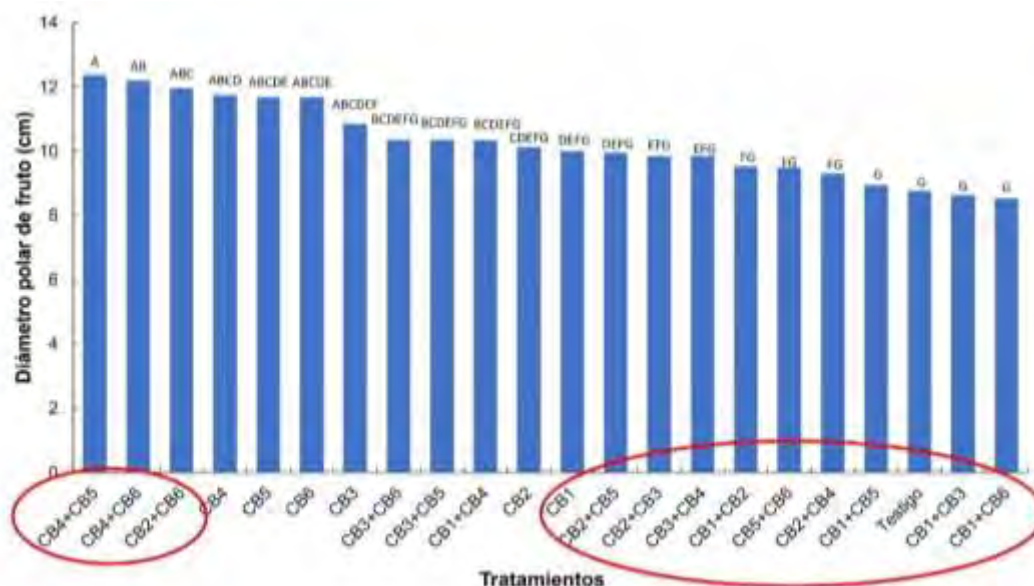


Figura 3. Efecto de cepas de bacterias del género *Bacillus* en el diámetro polar promedio de frutos de chile jalapeño producidos en condiciones protegidas de macrotúnel. Tratamientos= cepas bacterianas y combinaciones de estas.

Para el diámetro ecuatorial, nuevamente las combinaciones de cepas CB4+CB5, CB4+CB6 y CB2+CB6, además de la cepa CB6, estimularon en las plantas frutos de chile jalapeño significativamente ($F_{21,251}=12.17$, $p=0.0001$) más anchos en comparación a los frutos obtenidos de plantas con aplicaciones de los otros tratamientos, excepto de aquellos con las cepas CB4 y CB5, además de las combinaciones CB3+CB6 y CB2+CB5 (Figura 4).

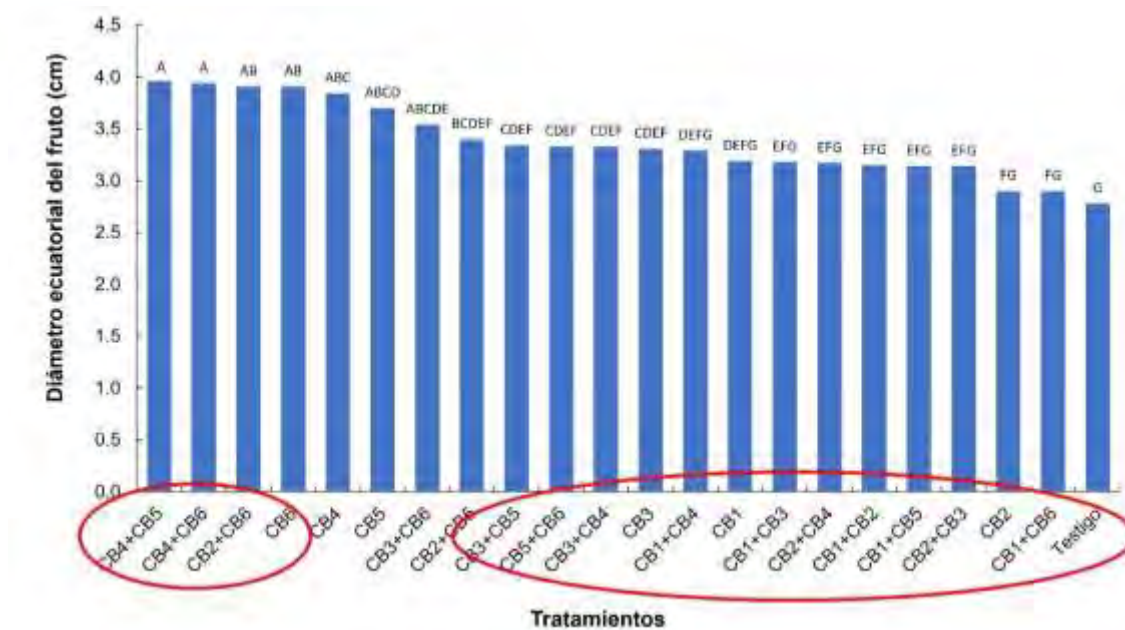


Figura 4. Efecto de cepas de bacterias del género *Bacillus* en el diámetro ecuatorial promedio de frutos de chile jalapeño producidos en condiciones protegidas de macrotúnel. Tratamientos= cepas bacterianas y combinaciones de estas.

Los resultados corroboran los efectos bioestimulantes en peso y dimensiones de frutos de chile jalapeño, producidos en condiciones protegidas de macrotúnel, de algunas de las cepas del género *Bacillus* evaluadas en este trabajo. Sin embargo, no todas las cepas o combinaciones de cepas lograron estimular a las plantas para producir frutos con diferencias significativas en peso y dimensiones en comparación a los frutos de plantas testigo. Lo cual puede deberse a los diferentes grados de compatibilidad de las cepas de *Bacillus* con la planta hospedera, ya que el efecto de la inoculación de los bioestimulantes microbianos en las plantas depende en gran medida de la compatibilidad fisiológica y bioquímica de la interacción microorganismo-planta y del reconocimiento genético entre ellos (Cano, 2011; Vázquez *et al.*, 2000).

De tal manera que los resultados de los efectos de los microorganismos bioestimuladores puede ser diferente en una misma planta hospedera. Por ejemplo, en el trabajo de Mejía-Bautista *et al.* (2022) de cuatro cepas bacterianas del género *Bacillus* evaluadas en chile habanero, sólo dos resultaron con diferencias significativas, la cepa de *Bacillus subtilis* CBMT51 y *B. subtilis* CBMT2, la primera incrementó el número de frutos y el rendimiento del cultivo en 79.5 y 58.8%, respectivamente, en relación con el testigo, y la segunda mejoró

algunas variables de crecimiento como altura final (56%), número de brotes (92%) y biomasa seca total (86%) respecto al testigo. Además, los resultados de los efectos bioestimulantes también pueden ser diferentes cuando se utilizan interacciones entre microorganismos, por ejemplo, en una evaluación de los efectos bioestimuladores de las interacciones de siete cepas de *Trichoderma* sobre chile habanero, sólo la interacción de *Trichoderma virens* (Th05-02) / *Trichoderma koningiopsis* (Th41-11) fue igual al testigo fertilizado al 100% en el número y peso de frutos. Además, se obtuvieron incrementos del 33.13% en número de frutos y 25.77% en el peso de frutos, respecto al testigo con 50% de fertilización química (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2021).

Los efectos de las cepas de *Bacillus* sobre los frutos de chile jalapeño pueden atribuirse a la capacidad de estas para producir hormonas como auxinas, citocininas y giberelinas, las cuales promueven el crecimiento y desarrollo de los frutos (Ruiz-Cisneros *et al.*, 2019; Adame-García *et al.*, 2024). Además de posibles mecanismos genéticos, bioquímicos y fisiológicos que afectan directamente al fruto (Mena-Violante *et al.*, 2009).

Conclusiones

Las cepas de bacterias *Bacillus* con efectos bioestimulantes significativos fueron la CB4, CB5 y CB6, que corresponden a las especies *B. subtilis*, *B. simplex* y *Bacillus* spp., además de que sus efectos bioestimulantes fueron mayores cuando se aplicaron en combinación. Los resultados obtenidos con las cepas bacterianas *Bacillus* como bioestimulantes demuestran que el uso de algunas de estas cepas, o combinaciones de estas, beneficia significativamente el tamaño y peso de los frutos en chile jalapeño producidos en condiciones protegidas de macrotúnel.

Agradecimientos

Al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) por el financiamiento del proyecto "Macrotúneles: Alternativa de Producción Sostenible de Alimentos para Mujeres y Familias Rurales" con clave CP 1111 1513/2023.

Literatura citada

- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Cabrera-Mireles, H. y Cornejo-Castillo, R. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Chapiscan anuum* L.) producidos en macrotúnel. *Bio Ciencias* 11: 1-18.
- Adame-García, J., Murillo-Cuevas F. D., Flores-de la Rosa F. R., Velázquez-Mendoza V., López-Vázquez M., Cabrera-Mireles H. y Antonio-Vázquez E. 2021. Identificación molecular y evaluación de bacterias en el desarrollo vegetativo y producción de chile habanero. *Biotecnia* 23(3): 151-157.
- Anguiano, C. J. C., A. Flores O., V. Olalde P., R. Arredondo V. and E. I. Laredo A. 2019. Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista Bio Ciencias* 6: 1-13.
- Badía, M. M. R., Hernández B. T., Murrel J. A. L., Mahillon J., and Perez, M. H. 2011. Isolation and characterization of strain of the *Bacillus* associated to rice (*Oryza sativa* L.) crop. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6: 90-99.
- Bilalis, D., Krokida M., Roussis I., Papastyliaou P., Travlos I., Cheimona, N. and Dede A. 2018. Effects of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (Mill.). *Folia Horticulturae* 30(2): 321-332.
- Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA. Actualidad y Divulgación Científica* 14(2): 15-31.
- Corrales, R. L. C., L. Caycedo L., M. A. Gómez M., S. J. Ramos R. y J. N. Rodríguez T. 2017. *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *NOVA*15(27): 45-65.

- Cristóbal-Alejo, J., F. A. Moo-Koh, J. M. Tun-Súarez, A. Reyes-Ramírez y M. Gamboa-Angulo. 2021. Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agrociencia* 55(8): 681-693.
- da Silva, J. M., P. C. Fontes R., C. d. Carmo, M. and J. A., Amaral de A. 2020. Yield and nitrogen use efficiency of bell pepper grown in SLAB fertigated with different nitrogen rates. *Journal of Plant Nutrition* 43(18): 2833-2843.
- Daverede, I. C., Kravchenko A. N., Hoeft R. G., Nafziger E. D., Bullock D.G., Warren J. J. and Gonzini L. C. 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *Journal of Environmental Quality* 33: 1535-1544.
- Duarte, R. M., R. L. Grijalva C. y F. Robles C. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia* 14(3): 32-38.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos P., Salas-Pérez L., García-Hernández J. L., Preciado-Rangel P., Sáenz-Mata J. y Reyes-Carrillo J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biotecnia* 21(3): 100-107.
- González-Estrada, A. y Camacho-Amador M. 2017. Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8(8): 1733-1745.
- Lee, K. D., Gray, E. J., Mabood, F., Jung, W-J, Charles, T., Clarck, S. R. D., Ly, A., Souleimanov, A., Zhou, X., and Smith, D. L. 2009. The class Ild bacteriocins thurincin-17 increases plant growth. *Planta* 229: 747-755.

- Mejía-Bautista, M. Á., J. Cristóbal-Alejo, J. R. Pacheco-Aguilar and A. Reyes-Ramírez. 2022. *Bacillus* spp. on the growth and yield of *Capsicum chinense* Jacq. Revista mexicana de ciencias agrícolas 13(1): 115-126.
- Mena-Violante, H. G., Cruz-Hernández, A., Paredes-López, O., Gómez-Lim, M. Á., y Olalde-Portugal, V. (2009). Cambios relacionados con textura de frutos y mejoramiento de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus subtilis* BEB-13BS. Agrociencia, 43(6), 559-567.
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles H., Adame-García J., Vásquez-Hernández A., Martínez-García A. de J. y Luria M. R. 2021. Bioestimulantes en la calidad en la calidad de frutos de chile habanero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 12(18): 1473-1481.
- Ruiz-Cisneros, M. F., Ornelas-Paz, J. J., Olivas-Orozco, G. I., Acosta-Muñiz, C. H., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Zamudio-Flores, P. B., Berlanga-Reyes, D. I., Salas-Marina, M. A., Cambero-Campos, O. J., y Ríos-Velasco, C. (2019). Efecto de cepas de *Bacillus* solas y en interacción con hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. Revista Bio Ciencias, 6, 1-17. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e541>.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. Reconoce Gobierno de México la importancia del chile en identidad cultural y gastronómica del país. Comunicado. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/reconoce-gobierno-de-mexico-la-importancia-del-chile-en-identidad-cultural-y-gastronomica-del-pais?> [consultado el 30 de mayo de 2024].
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2023. Avance de siembras y cosechas Resumen por entidad federativa. Cultivo chile verde, 2023. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ [consultado el 30 de mayo de 2024].

Tucuch-Haas, C. J., Angulo-Castro A. and Tucuch-Haas J. I. 2021. Production and quality of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) with chemical and organic fertilization. Agro Productividad 14(1): 63-68.

Vázquez, M. M., César S., Azcón R., and Barea J. M. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. Applied Soil Ecology 15(3): 261-272.

Ye, L., Zhao X., Bao E., Li J., Zou Z. and Cao K. 2020. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. Scientific Reports 10: 1-11.

CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS CON CAÑA DE AZÚCAR CON Y SIN VINAZA EN VERACRUZ

Catalino Jorge López Collado³⁶, Ángel Capetillo Burela^{36*}, Osbaldo Alvarado Rodríguez³⁶,
Rigoberto Zetina Lezama³⁷, Eusebio Ortega Jiménez³⁶, Gustavo López Romero³⁶
y David Jesús Palma López³⁸

Resumen

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) aporta aproximadamente dos terceras partes de la producción mundial de azúcar; mientras que la caña panelera, además de producir azúcar, también tiene un potencial como prestadora del servicio ambiental asociado a la capacidad de reducción de emisiones de bióxido de carbono (CO₂), dada la facultad que tiene la especie para a la captura de carbono. En este sentido, el CO₂ es uno de los principales gases del efecto invernadero, contribuye en el cambio climático y afecta a la agricultura. En los últimos años, se ha incrementado la liberación de CO₂ a la atmósfera ocasionado por el uso de combustibles fósiles. El objetivo de esta investigación fue determinar la cantidad de carbono (C) capturado y liberado en suelos cultivados con caña de azúcar con y sin aplicación de vinaza. Se colectaron muestras de suelo en cultivos de caña de azúcar de la localidad del Faisán, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. La metodología utilizada fue la de incubación estática para determinar la liberación de C del suelo. Se estimó el contenido de nutrientes, el porcentaje de materia orgánica, la textura y el nitrógeno total. Se observaron diferencias estadísticas, donde los suelos con vinaza obtuvieron mayor porcentaje de materia orgánica y nitrógeno que los suelos sin vinaza, también se observaron diferencias en el tratamiento 4 que corresponde al suelo sin vinaza + KNO₃, donde se observó que en el día tres de incubación gastó menos ácido clorhídrico en la titulación. Se concluye que la cantidad de la captura y liberación del CO₂ por el suelo de un cultivo de caña de azúcar fue mayor para los suelos con vinaza; mientras que la textura del suelo del tratamiento con vinaza es arcillo limoso y las de sin vinaza es franco arcilloso, por lo que se puede mencionar que el cultivo de caña de azúcar es un buen cultivo para ayudar al medio ambiente con relación a la captura del carbono del CO₂ atmosférico.

Palabras clave: rentabilidad, agua, fauna, macronutrientes, propiedades físicas

³⁶ Colegio de postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: capetillo.angel@inifap.mx

³⁷ INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla.

³⁸ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Introducción

En la actualidad, uno de los principales problemas que enfrenta la comunidad internacional es el cambio climático y sus manifestaciones con lluvias extremas, sequías, heladas, alteración de las corrientes oceánicas, corrientes atmosféricas y calentamiento global que afectan los sistemas de producción agrícola. México ocupa el décimo segundo lugar como emisor de gases de efecto invernadero con una emisión calculada en 467.3 millones de toneladas de CO₂ que representa 1.56% de la contribución mundial y 4.4 millones de toneladas de CO₂ (Solís, 2015). En este sentido, los impactos más significativos ocasionados por el cambio climático se observa en la agricultura, específicamente en el rendimiento de los cultivos anuales, perennes e industriales. Diversos autores como Gerald C. Nelson, Mark W. Rosegrant, señalan que el cambio climático afecta numerosos cultivos y provoca disminuciones progresivas a todo lo largo del siglo XXI. Se estima que esto alcanzará valores del 10 al 25% para la mayoría de los cultivos en el año 2100 en comparación con los rendimientos actuales; sin embargo, el cultivo de la caña de azúcar puede presentarse como una de las alternativas para mitigar estos daños, ya que diversos estudios han demostrado que una hectárea de caña elimina de la atmósfera 60 t de CO₂, efecto similar al de un bosque de latitudes medias. Aunque cabe mencionar que el proceso tecnológico emite 18 t, dando una absorción neta de 42 t (Krishnan *et al.*, 2013). Las plantas de caña de azúcar poseen un mecanismo fotosintético tipo C4 el cual se caracteriza por fijar de forma eficiente el CO₂ atmosférico (Montenegro y Chaves, 2009).

Por otra parte, la contaminación del medio ambiente ocasionada por la liberación del CO₂ de los automóviles, fábricas y procesos técnicos en la producción de alimentos ocasionan un incremento en la liberación de este gas (Gerber *et al.*, 2013). El C del CO₂ es importante ya que las plantas sin el carbono (C) no podrían realizar la fotosíntesis (Raven *et al.*, 2014). La pérdida de la fertilidad y biodiversidad del suelo están directamente relacionadas con la pérdida de carbono natural, según estimaciones, ya se ha perdido el 80% del C en el suelo de áreas con una gran producción agrícola debido al arado destructivo, el pastoreo excesivo y, el uso de fertilizantes y pesticidas químicos que reducen los niveles de C. La importancia del estudio de la captura del C se debe a su papel fundamental en la nutrición de los cultivos incrementando el rendimiento de las unidades de producción (IPCC, 2021).

Autores como Benjamín y Masera (2001) afirman que el CO₂ es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes que afectan nuestro planeta, y que su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución en las zonas tropicales. La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 Gt C; (mil millones de toneladas de carbono) lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (Benjamín y Masera, 2001). Las existencias de carbono en el suelo pueden ser significativas y los cambios en las existencias pueden producirse juntamente con los ocurridos en las propiedades del suelo y en las prácticas de gestión, incluyendo tipo y rotación de cultivos, labranza, drenaje, gestión de desechos y agregados orgánicos.

La caña de azúcar es una planta de metabolismo tipo C₄ con capacidad alta de asimilación de CO₂. La asimilación de CO₂ por el dosel de un cultivo se puede determinar midiendo el intercambio neto de CO₂ entre el ecosistema (vegetación y suelo) y la atmósfera (NEE, por sus siglas en inglés de Net Ecosystem CO₂ Exchange, Intercambio Neto del CO₂ del Ecosistema). (Zermeño-González *et al.*, 2012). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue estimar la cantidad de carbono (C) liberado y capturado por el suelo del agroecosistema de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) con y sin aplicación de vinaza.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de campo (muestreo de suelos), se llevó a cabo en la localidad del faisán, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz en las coordenadas 19°19'24.8" LN y 96°22'10.0" LW; mientras que las muestras de suelos sin vinazas se colectaron en coordenadas 19°19'19.1" LN y 96°22'07.9" LW. El promedio de la temperatura mínima es de 17°C mientras que el promedio de la temperatura máxima es de 33°C. La precipitación anual es de 1265 mm y una altitud de 40 metros (García, 2004). Finalmente, el procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de suelos, plantas y aguas del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz ubicado en la localidad de Tepetates, Municipio de Manlio Altamirano, Veracruz.

Preparación de las muestras

Las muestras de suelos con y sin vinaza fueron colectadas a una profundidad de 20 cm (5 muestras de suelos con vinaza y 5 muestras de suelos sin vinaza respectivamente); las cuales fueron secadas durante 10 días en un anaquel que contenía las charolas de aluminio previamente identificadas con un código para evitar alguna equivocación durante su posterior procesamiento en laboratorio. Posterior al secado, éstas fueron molidas y tamizadas para su análisis en laboratorio determinando las siguientes variables:

Textura del suelo. Fue realizada por el método de Bouyoucos, (1927). Las muestras fueron tratadas con peróxido de hidrógeno para la eliminación de la materia orgánica. Se pesaron 50 gr de suelo y se adicionaron 150 mL de agua destilada, 5 mL de oxalato de sodio saturado y 5 mL de metasilicato de sodio. Se dejó reposar por 15 min, para luego ser agitado por 5 min en agitador mecánico. Se traspasó la totalidad de la muestra a una probeta de 1 L y se aforó, se agitó durante un minuto de manera manual, y se tomaron lecturas a los 40 segundos y a las 2 horas con el hidrómetro, al mismo tiempo se tomó la temperatura con termómetro de vidrio.

Pasta saturada

Se realizó para determinar los nutrientes como fósforo, potasio, nitrato y nitrito, también se logró determinar pH del suelo y la conductividad eléctrica. Para realizar esta pasta saturada se pesaron 300 gr de suelo y se colocó en un recipiente de plástico, ahí mismo en el recipiente se le agregó poco a poco agua destilada y se fue mezclando hasta lograr una pasta saturada. Una vez obtenida la pasta saturada se dejó reposar durante seis horas (Extracto de Pasta Saturada: Su Guía Cómo Prepararlo: <https://www.testagro.com/post/como-hacer-pruebas-de-suelo-pasta-saturada?lang=es>). **pH del suelo.** Fue determinado por el método AS-02, medido con un potenciómetro manual; el cual se basó en la metodología utilizada por Albacete *et al.* (2010). **Conductividad eléctrica (C.E).** Se determinó con un conductímetro portátil.

Nutrientes: Fósforo (P), Potasio (K), Nitrato (NO₃) y Nitrito (NO₂)

La determinación de nutrientes se realizó en el medidor multiparamétrico de la marca Hanna que es un analizador de nutrientes.

Materia orgánica (MO): Esta se realizó a través del método AS-07, de Walkley y Black a las 10 muestras de suelo.

Incubación estática para determinar la liberación del CO₂

Para la determinación de esta variable, primeramente, se seleccionaron 25 frascos con tapadera, con la idea de que estuvieran bien sellados. A cada frasco se le colocaron tres vasos precipitados, uno que contenía 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH), otro con 20 gr de suelo y el tercer vaso con 10 mL de agua destilada. Cinco frascos contenían las muestras de suelo con vinaza, otros cinco frascos con las muestras de suelo sin vinaza, pero con nitrato (KNO₃). Esta misma actividad se realizó, pero con nitratos; es decir, se utilizaron muestras de suelo sin vinaza, colocando cinco muestras de suelo en cinco frascos y a otros cinco frascos también colocamos las muestras de suelo con vinaza. La cantidad de nitrato que se le aplica a las 10 muestras fue de 1 gr por cada muestra. Finalmente, en esta investigación también fue considerado un testigo “blanco”, para el cual también se utilizaron cinco frascos, haciendo un total de 25 muestras incubadas con los mismos reactivos utilizados en los tratamientos antes mencionados, y con los cuales sirvieron para determinar la cantidad de captura y liberación del bióxido de carbono (CO₂) que aporta la vinaza al suelo.

Las titulaciones se realizaron al día 1°, 3°, 5°, 7°, 14°, 21°, 30° mediante la utilización de una solución de ácido clorhídrico (HCl). El procedimiento consistió en sacar los vasos precipitados que contenían el hidróxido de sodio (NaOH) uno por uno. Antes de ello, se aforó una bureta con el ácido clorhídrico (HCl) con una pureza de 37.7% y una densidad de 1.19 g/L y con el cual se preparó la solución de 0.5 N. Para ello se colocó un vaso precipitado debajo de la bureta y se le agregaron tres gotas de fenolftaleína, una vez que se agregan las gotas de fenolftaleína el hidróxido de sodio cambia de color transparente a rosado, es la reacción que toma, después de la reacción se comienza a poner gota por gota de ácido clorhídrico (HCl) hasta que haga reacción y tome nuevamente su color transparente, una vez que pase esto se prosigue a tomar el dato y se registra, así se hacen con todas las muestras.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestran los resultados obtenidos de la variable textura de los suelos evaluados con y sin vinazas, en los cuales se puede observar que los suelos con vinazas presentan una textura adecuada para el desarrollo del cultivo con respecto a los suelos sin

vinazas. En este sentido, los suelos ideales para la agricultura son aquellos que tienen una textura equilibrada, es decir, que contienen una mezcla adecuada de arena, limo y arcilla respectivamente y esto se encuentran en los suelos considerados como francos. Estos resultados son similares a los encontrados por Betancourt *et al.* (2010); los cuales aplicaron vinaza a un suelo franco arenoso durante 12 meses y evaluaron su efecto en la textura del suelo. Los resultados indicaron que la aplicación de vinaza no tuvo un efecto significativo en la textura del suelo, la cual se mantuvo como franco arenoso en todos los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Textura de los suelos analizados con y sin vinazas.

Suelo con vinaza	Textura del suelo	Suelo sin vinaza	Textura del suelo
Muestra 1	Franco arcillo limoso	Muestra 1	Franco arcillosa
Muestra 2	Arcillo limoso	Muestra 2	Franco arcillosa
Muestra 3	Arcillo limoso	Muestra 3	Franco arcillosa
Muestra 4	Arcillo limoso	Muestra 4	Franco arcillosa
Muestra 5	Arcillo limoso	Muestra 5	Franco arcillosa

En el Cuadro 2, se muestran los resultados obtenidos de pH de las muestras con y sin la aplicación de vinaza; en los cuales no se observan diferencias sobresalientes en esta propiedad química del suelo de cada una de las muestras de suelos evaluadas, ya que en ese rango de pH las plantas de caña de azúcar se desarrollan adecuadamente y sin ningún problema para su desarrollo en campo. Estos resultados son similares a los encontrados por Senatore *et al.* (2017); los cuales en su investigación aplicaron vinaza a un suelo con un pH inicial de 6.2 durante 12 meses y evaluaron su efecto en el pH del suelo. Los resultados indicaron que la aplicación de vinaza provocó una ligera acidificación del suelo, especialmente en el tratamiento con la mayor dosis de vinaza (20 L/t), donde el pH disminuyó a 5.9, los cuales atribuyen la acidificación del suelo a la presencia de ácidos orgánicos en la vinaza, los cuales pueden aumentar la concentración de iones de hidrógeno (H⁺) en la solución del suelo.

Cuadro 2. Comportamiento del pH en muestras de suelos con y sin vinazas.

Muestras de suelos con vinaza	pH	Muestras de suelos sin vinaza	pH
Muestra 1	6.8	Muestra 1	7.1
Muestra 2	6.4	Muestra 2	7.8
Muestra 3	7.2	Muestra 3	7.0
Muestra 4	7.3	Muestra 4	7.1
Muestra 5	7.8	Muestra 5	7.5

De acuerdo con Rhoades, (1996), la conductividad eléctrica del suelo (CE) es una medida de su capacidad para conducir la electricidad. Se expresa en siemens por metro (S/m) o en milimhos por centímetro (mmhos/cm) y está influenciada por varios factores, incluyendo la textura del suelo, la cantidad de materia orgánica, la salinidad y la humedad del suelo. Entre las principales aplicaciones de la CE del suelo se encuentra lo siguientes: a) evaluación de la salinidad del suelo, b) manejo del riego y c) monitoreo de la contaminación del suelo. En este sentido, en el Cuadro 3, se muestran los resultados obtenidos de la CE en suelos con y sin vinazas encontrando datos muy similares entre ambas muestras de suelos. Los resultados antes mencionados difieren un poco con los encontrados por Mota y Herrera (2010) quienes evaluaron la influencia de la salinidad del suelo en la productividad de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la zona central de Venezuela; en la cual analizaron muestras de suelo de 120 campos de caña de azúcar y se determinó su conductividad eléctrica (CE) del suelo con una variación de 0.4 a 3.2 dS/m.

Cuadro 3. Resultados obtenidos de conductividad eléctrica de muestras de suelo con y sin vinaza.

Suelos con vinaza	C.E. (μ S/cm)	Suelos sin vinaza	C.E. (μ S/cm)
Muestra 1	0.862	Muestra 1	0.308
Muestra 2	0.548	Muestra 2	0.561
Muestra 3	0.469	Muestra 3	0.436
Muestra 4	0.357	Muestra 4	0.449
Muestra 5	0.482	Muestra 5	0.422

Estos resultados indicaron que la productividad de la caña de azúcar disminuyó significativamente a medida que la CE del suelo aumentaba, logrando un efecto negativo sobre el rendimiento de la caña de azúcar, el contenido de azúcar y la calidad del jugo.

Los macronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas como la caña de azúcar y otros; destacando como los más importantes al nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y los cuales se encuentran en el suelo y son absorbidos por las raíces de las plantas. En este sentido, en suelos que no se aplica vinazas, generalmente los niveles de macronutrientes pueden ser bajos o deficientes y puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que puede resultar en una disminución del rendimiento y la calidad de los cultivos (López.Báez y Cadahía, 2018); caso contrario sucede en suelos donde se aplican vinazas, ya que éstas son ricas en macronutrientes, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio y con ello puede aumentar los niveles de macronutrientes y mejorar la fertilidad del suelo (Sánchez y Rodriguez, 2015). En este sentido, en el Cuadro 4, se observan los resultados obtenidos de los análisis realizados con y sin la aplicación de vinazas, en el cual se observa un incremento de N con la aplicación de vinazas. Caso similar se encontró en la investigación realizada por Narváez *et al.* (2010), en el cual evaluaron el efecto de la aplicación de vinazas en las propiedades físicas y la actividad de deshidrogenasas en suelos cultivados con maíz dulce encontrando resultados similares a los encontrados en esta investigación.

Cuadro 4. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo con y sin vinazas.

Tipo de suelo	Propiedades físicas y químicas del suelo								
	pH	C.E.	Textura	MO (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Nitrato (%)	Nitrito (%)
Con Vinaza	7.1	0.54	Arcillo limoso	4.51	1.451	3.1	118	24.46	1.0
Sin Vinaza	7.3	0.53	Franco arcillosa	2.60	0.778	5.45	25.2	5.00	1.6

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la cantidad de carbono liberado por los suelos analizados con y sin vinaza, así como también con y sin la aplicación de KNO_3 ; los cuales el más sobresaliente fue el suelo con la aplicación de vinaza, seguido del mismo tratamiento más la aplicación de KNO_3 con 34000 y 29000 g de carbono respectivamente.

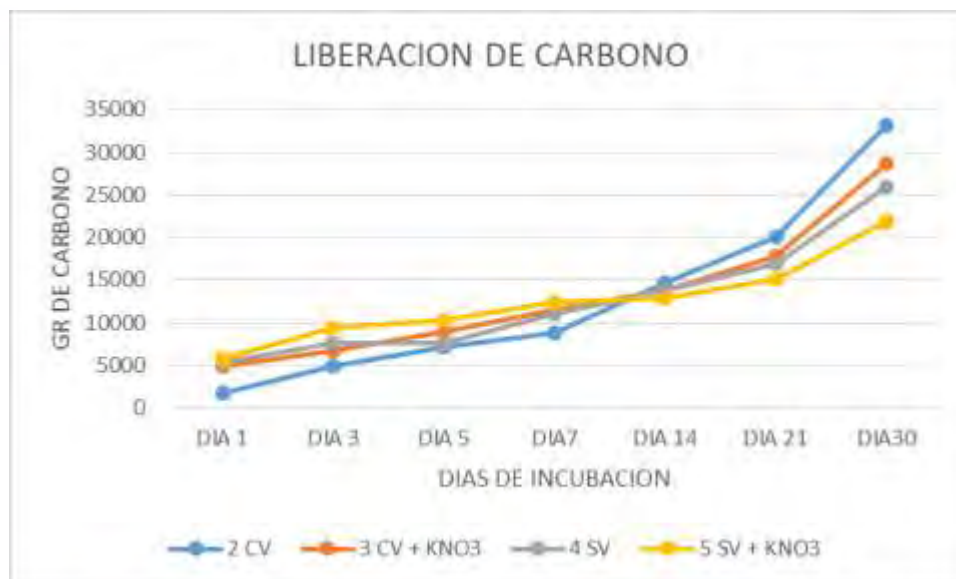


Figura 5. Cantidad de carbono (gr de C/ha) liberado durante los 30 días.

sc= suelo con vinaza; CV+KNO₃= Suelo con vinaza + (KNO₃); SV=Suelo sin vinaza; SV+KNO₃= Suelo sin vinaza + (KNO₃).

En el Cuadro 5 se muestra el comportamiento de la incubación de suelos con y sin vinazas a los 30 días de evaluación, encontrando un incremento significativo en la liberación de Carbono del suelo con vinazas con 30.5 kg, seguido del tratamiento con vinaza +KNO₃ con 25.7 kg respectivamente. Asimismo, también se observó que el suelo que menos liberó carbono fue el suelo sin vinaza+ KNO₃ con 18.6 kg.

Cuadro 6. Cantidad de carbono liberado durante los 30 días con y sin vinaza.

Tratamientos	Carbono liberado durante los 30 días de cada tratamiento (Kg)
Con vinaza	30.5
Con vinaza + KNO ₃	25.7
Sin vinaza	22.9
Sin vinaza + KNO ₃	18.6

Estudios similares fueron realizados por Espíndola y Valderrama (2012), los cuales evaluaron la huella de carbono del cultivo de la caña de azúcar en Argentina, mediante un análisis de

sensibilidad para evaluar el impacto de diferentes factores en la huella de carbono, como el rendimiento del cultivo, las prácticas de fertilización y el uso de la tierra. Estos autores encontraron que el rendimiento del cultivo es el factor más importante que afecta la huella de carbono, así como también las prácticas de fertilización; mientras que el uso de la tierra tiene un menor impacto; por lo que es importante mejorar el rendimiento del cultivo y las prácticas de fertilización para reducir la huella de carbono del cultivo de la caña de azúcar en Argentina. Por otro lado, los resultados encontrados en esta investigación, también se relacionan con la captura de carbono por unidad de área encontrados por el departamento de Santander (57.3 t/ha), seguido por Boyacá (52.1 t/ha) y en último lugar se encuentra Cundinamarca (18.2 t/ha); dicha captura, de acuerdo con los análisis, se relaciona de forma directa e indirecta con diversos factores que hacen parte de las variables climáticas, de manejo y de calidad del suelo (Sierra, 2010).

Conclusiones

La cantidad de la captura (2.6%) y liberación (30.5 kg) del CO₂ por el suelo de un cultivo de caña de azúcar fue mayor para los suelos con vinaza. La textura del suelo con vinaza se encuentran en un suelo con textura arcillo limoso y las de sin vinaza son de textura franco arcillosa. Se concluye que un cultivo de caña de azúcar contribuye y ayuda al medio ambiente con relación a la captura de C del CO₂.

Literatura citada

Albacete, A., B. García, M., & Cabezudo, B. 2010. Diversidad genética, estructura poblacional, filogeografía y conectividad de *Festuca scindens* L. en praderas subalpinas del centro-norte de la Península Ibérica. Revista Española de Botánica, 88(2):313-324.

- Benjamín, J.A., & O- Masera. 2001. Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1),3-12. [fecha de Consulta 14 de enero de 2024]. ISSN: 1405-0471. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=617/61770102>.
- Betancourt R. Y., C. P. Gutiérrez Morales., A. I. García Ruíz., Inoel, & A. García de la Figal Costales. 2010. Las propiedades físicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1):01-08.
- Bouyoucos, G. J. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sciences*, 23(5):343-354.
- Espíndola, C., & J. Valderrama, O. 2012. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información tecnológica*,23(1):163-176.<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>.
- Gerber, P. J., Stehfest, E., Henderson, B., Mottet, A., Drugan, J. P., Falcucci, G., *et al.* 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Krishnan P., Nayak, S. S., & Singh, B. 2013. Carbon sequestration potential of sugarcane under different tillage practices and crop rotations in a semi-arid tropical environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 178:123-130.

- López-Báez, M., & Cadahía, C. 2018. Macronutrientes en la nutrición vegetal. Cultivos, 39(2): 189-212.
- Montenegro Ballester, J. Chaves Solera M. 2009. Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono. Congreso Azucarero ATACORI "Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.", 18.
- Mota, M. J., & Herrera, F. 2010. Influencia de la salinidad del suelo en la productividad de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en la zona central de Venezuela. Revista de Investigaciones Agrícolas, 37(2):313-324.
- Narváez, C.M., M. Sánchez, de P. & J.C. Menjívar F. 2010. Efecto de la aplicación de vinazas en las propiedades físicas y la actividad de deshidrogenasas en suelos cultivados con maíz dulce (*Zea mays L.*). Acta Agronómica, 59(2):211-217.
- Raven, P. H., Johnson, G. B., & Losos, J. B. 2014. Biology (10th ed.). McGraw-Hill Education. ISBN: 007664796X9780076647965. USA. 1408 p.
- Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and its measurement. In D. L. Sparks, D. L. Soil Science Society of America (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical methods (pp. 413-432). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Sánchez-González, S., & Rodríguez-Navarro, J. A. 2015. Vinasses as a source of nutrients for agricultural use. In J. A. Rodríguez-Navarro (Ed.), *Organic fertilizers* (pp. 83-112). Springer.
- Senatore, D., Queirolo, A., Wajswol, S., & Bajsa, N. 2017. Monitoreo de la aplicación de vinaza como fertilizante en caña de azúcar con indicadores microbianos de suelo. INNOTEC, (13 ene-jun), 92–97. <https://doi.org/10.26461/13.09>.

Sierra, C.D.C. 2010 Relación de la captura de carbono en *Saccharum officinarum* con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera, tesis profesional de la universidad de nacional de Colombia, Colombia. 84 p.

Solís, C.K.C. 2015. Energía y gases de efecto invernadero (GEI). Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP), Cámara de Diputados. México, D.F. tecnicoagricola 2013 La capacidad de campo de un suelo, disponible en: <https://www.tecnicoagricola.es/la-capacidad-de-campo-de-un-suelo/>, [consultado: 19 de noviembre 2019].

Zermeño-González, A., S. Villatoro-Moreno., J.J. Cortés-Bracho., M. Cadena-Zapata., E. A. Catalán-Valencia., M.Á. García-Delgado., *et al.* 2012. Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla Agrociencia 46:579-591.

PRODUCTIVIDAD DE GENOTIPOS DE SOYA EN EL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Arturo Durán Prado^{39*}, Oscar Hugo Tosquy Valle³⁹, Valentín Alberto Esqueda Esquivel³⁹,
Nicolás Maldonado Moreno⁴⁰ y Andrés Vásquez Hernández³⁹

Resumen

En el centro del estado de Veracruz no se cultiva la soya, sin embargo, en esta zona existen más de 100,000 ha con condiciones edáficas y climáticas adecuadas para su producción comercial bajo los sistemas de riego y temporal. También se dispone de tecnología agronómica que permite la obtención de rendimientos de grano superiores al promedio nacional. El uso de variedades con adaptación a las condiciones ambientales que prevalecen en la región es un componente clave para lograr lo anterior. El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos de soya que muestren buen comportamiento productivo en condiciones de temporal en la zona central tropical del estado de Veracruz. Durante los ciclos de temporal de 2004, 2006 y 2008 en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín, Ver., se condujo un vivero de adaptación conformado por nueve líneas avanzadas y las variedades Huasteca 100 y Huasteca 200, utilizadas como testigos. Estas se sembraron sin diseño experimental y con una densidad de población de 250,000 plantas por hectárea. En todos los ciclos se cuantificó el número de vainas por planta, el peso de 100 semillas y el rendimiento de grano. Para el análisis estadístico, los datos de las variables cuantificadas en cada ciclo de evaluación se consideraron como una repetición, se analizaron como bloques al azar. La separación de promedios se obtuvo con la prueba de la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error. También se realizaron análisis de correlación simple, para determinar que característica evaluada se relacionó significativamente con el rendimiento de grano. La línea H98-1365 fue la que produjo mayor rendimiento de grano, con 3,519.67 kg/ha, el cual fue estadísticamente similar al de las líneas H96-1153 y H96-0585 y significativamente superior al de las variedades testigo. H98-1365 también sobresalió por su alta producción de vainas por planta; aunque el peso de 100 de sus semillas fue de los más bajos, este componente no se correlacionó con el rendimiento de grano. Se identificó a las líneas H98-1365, H96-0585 y H96-1153 como las de mejor comportamiento productivo, para la zona centro del estado de Veracruz.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merrill, líneas, variedades, rendimiento

³⁹ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. duran.arturo@inifap.gob.mx

⁴⁰ Campo Experimental Las Huastecas. CIRNE. INIFAP.

Introducción

La soya es uno de los cultivos más importantes del mundo, debido a su amplio uso en la alimentación humana y animal, así como en la fabricación de productos industriales (Torres y Tovar-Palacio, 2009; Echanove, 2016). En México se tiene un déficit en la producción de este cultivo, por lo que existen grandes oportunidades para los productores, debido a que es un cultivo muy rentable. En 2020 en México se sembraron 165,539 ha de soya, con un rendimiento medio de 1.57 t/ha, siendo Campeche, Tamaulipas y San Luis Potosí los principales estados productores, los cuales en conjunto aportan el 65% de la producción nacional (SIAP, 2021). En el estado de Veracruz se siembran alrededor de 15,000 ha de soya, principalmente en la zona norte y bajo condiciones de temporal (Tosquy *et al.*, 2006), sin embargo, en las zonas centro y sur de la entidad se tiene una superficie de 106,212 ha con alto potencial productivo para el cultivo de soya (Díaz *et al.*, 2007; 2012). De acuerdo con, Durán *et al.*, (2004); Hernández-Pérez *et al.*, (2020), es factible sembrar soya en condiciones de temporal y obtener rendimientos mayores a 2.5 t/ha, semejante a los que generalmente se obtienen en las principales zonas productoras de este cultivo en el país.

En la década de los noventa, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con apoyo financiero de la Compañía Nestlé, el Consejo Nacional Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONHACYT) y el Programa Tecnología Industrial para la Producción (TIPP) desarrolló el proyecto “Investigación y validación del cultivo de soya en el sureste de México”, en los estados de Chiapas, Tamaulipas y Veracruz. En el área de mejoramiento genético de este proyecto se evaluaron diferentes genotipos entre líneas y variedades, destacando por alto rendimiento, amplia adaptación y tolerancia a enfermedades, las líneas H86-2094 y H88-4335 que posteriormente fueron liberadas como nuevas variedades con el nombre de Huasteca 100 y Huasteca 200 (Maldonado, 1994).

La evaluación de genotipos en diferentes condiciones ambientales y ciclos de producción es de gran importancia para identificar a los genotipos que muestren mejor rendimiento y estable, y mayor adaptabilidad a diferentes regiones productoras. Por ejemplo, en un estudio realizado por Reza y Salgado (2000), se determinó que las variedades Huasteca-100, Tapachula-86, UFV-1 y Santa Rosa, fueron las de mejor comportamiento agronómico y de adaptación para la región de Iguala, Guerrero. Así mismo, Elizondo (2000), identificó que las variedades

Huasteca-200 y Vernal fueron las de mayor aptitud combinatoria general para siembras de invierno, en el sur de Tamaulipas; lo que sugiere que la cruce de estos genotipos puede utilizarse para derivar líneas uniformes en generaciones avanzadas, que en un futuro puedan liberarse como nuevas variedades.

En el Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) se dispone de un grupo de líneas y variedades generadas por el Programa Nacional de Investigación en Soya del INIFAP, con algunas de estos genotipos se conformó un vivero o ensayo sin repetición, el cual se estableció en diferentes localidades del país con el objetivo de identificar los genotipos que muestren mejor comportamiento productivo en la zona central tropical del estado de Veracruz y las variables que se relacionan significativamente con el rendimiento de grano.

Materiales y métodos

El vivero se sembró en los ciclos de primavera-verano de 2004, 2006 y 2008 y se condujo bajo condiciones de temporal en el CECOT, el cual se localiza en el km 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba, a 18° 50' de latitud norte y 96° 10' de longitud oeste, a una altitud de 15 m, el clima prevaleciente en la localidad es cálido subhúmedo Aw (w)(g), de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1987).

El terreno donde se estableció el vivero durante los tres años es de textura migajón-arcillosa, con pH ligeramente ácido (6.2), el cual se barbechó, rastreó y surcó a una separación de 80 cm. El vivero se conformó por las líneas H98-1028, H96-1153, H88-1880, H98-1365, H96-0585, H98-1076, H98-1075, H98-1092 y H98-1021 y las variedades comerciales Huasteca 100 y Huasteca 200, las cuales se utilizaron como testigos. El vivero se sembró sin diseño experimental, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de longitud, a una densidad de población de 250,000 plantas por hectárea.

Para el control de malezas se siguieron las recomendaciones que para este cultivo hace el Campo Experimental Cotaxtla (López *et al.*, 1994). A los 15 días después de la siembra se efectuó la aplicación en mezcla de los herbicidas post-emergentes fluazifop-p-butil + fomesafén en dosis de 125 + 250 g/ha. A los 15 días después de la siembra, a un costado de la hilera de plantas, se aplicó la dosis de fertilización 60-40-00 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O,

respectivamente, utilizando como fuentes nutrimentales: urea (46% N) y superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5).

Para el control de plagas, cada 15 días se realizaron aplicaciones de los insecticidas carbarilo, malatión o clorpirifos etil en dosis de 800, 1000 y 480 g/ha. Para la prevención y control de las enfermedades fungosas, en algunos casos, junto con los insecticidas se incluyeron los fungicidas clorotalonil a 1080 g/ha o mancozeb a 1600 g/. La cosecha del vivero en cada año de evaluación se realizó entre los 120 y 130 días después de la siembra, cuando el cultivo alcanzó la etapa de madurez.

Durante la conducción del vivero se cuantificaron las variables: 1. Número de vainas por planta, contabilizadas en 20 plantas con competencia completa, seleccionadas al azar en cada parcela, 2. Peso de 100 semillas, seleccionadas al azar del grano cosechado en cada parcela, utilizando una báscula digital de precisión y 3. Rendimiento de grano estimado en kilogramos por hectárea, ajustado al 14% de humedad.

Debido a que en los tres años de evaluación el vivero se estableció sin diseño experimental, para el análisis estadístico, los datos de las variables cuantificadas en cada ciclo de cultivo se consideraron como una repetición, y se analizaron como bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones. En los casos en que se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error (Olivares, 1994). También se realizaron análisis de correlación simple, para determinar que característica evaluada se relacionó significativamente con el rendimiento de grano de soya (Little and Hills, 1998).

Resultados y discusión

En los análisis de varianza se detectó significancia estadística entre tratamientos en todas las variables cuantificadas (Cuadro 1). Lo anterior indica, que los genotipos tuvieron una respuesta diferente en los componentes evaluados y en su capacidad productiva. Los coeficientes de variación fueron menores a 10%, lo que señala una baja variabilidad de los datos registrados y alta confiabilidad en los resultados obtenidos (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de variables cuantificadas en los ensayos de genotipos de soya conducidos en el centro de Veracruz durante los ciclos de temporal P-V 2004, 2006 y 2008.

FV	GL	VPP‡	P100S‡‡	RG§
Tratamientos	10	135.9578 *	4.7539 **	154614.4062 *
Bloques	2	316.1094	29.2285	524304.0000
Error	20	43.2914	1.1177	54796.8008
Total	32			
CV (%)		8.81	6.24	7.62

‡ Número de vainas por planta. ‡‡ Peso de 100 semillas. § Rendimiento de grano. **Significativo al 0.01.

* Significativo al 0.05.

El número de vainas por planta varió de 60 a 90, siendo la línea H96-1153 la produjo mayor cantidad (86.21 plantas), la cual fue estadísticamente similar a la de otros seis genotipos, incluida la variedad Huasteca-200, significativamente superior al resto de los materiales, entre los que se encuentra la variedad Huasteca-100 (Cuadro 2). El número de vainas por planta es una variable de gran importancia, ya que generalmente se correlaciona con un mayor rendimiento de grano (He *et al.*, 2023); sin embargo, en este estudio esta característica no se relacionó significativamente ($r = 0.314$) con una mayor producción de grano.

El mayor peso de 100 semillas se obtuvo con la línea H98-1028, cuyo valor fue estadísticamente similar al de las líneas H88-1880, H98-1092 y H98-1075 y significativamente superior, al resto de los materiales, incluidos los dos testigos comerciales (Cuadro 2). Resultados similares del peso de 100 semillas fueron reportados por López *et al.* (1993) en un ensayo uniforme de rendimiento de genotipos de soya conducido en el centro de Veracruz.

Por su parte, el comportamiento productivo de los testigos comerciales fue contrastante, ya que mientras con Huasteca-200 obtuvo un rendimiento cercano a 3,100 kg/ha, la variedad Huasteca-100 fue la menos rendidora con 2,661 kg/ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de vainas por planta, peso de 100 semillas y rendimiento de grano de genotipos de soya evaluados en el centro de Veracruz durante los ciclos de temporal P-V 2004, 2006 y 2008.

No	Genotipo	Vainas por planta	Peso de 100 semillas (g)	Rendimiento de grano (kg/ha)
1	H98-1028	77.19 ^{abc}	19.44 ^a	2964.00 ^{bcd}
2	H96-1153	86.21 ^a	16.52 ^{bcd}	3233.33 ^{abc}
3	Huasteca-100 (T)	73.00 ^{bc}	15.18 ^e	2661.00 ^d
4	H88-1880	60.74 ^d	17.95 ^{ab}	3048.00 ^{bcd}
5	H98-1365	78.64 ^{ab}	15.50 ^{de}	3519.67 ^a
6	Huasteca-200 (T)	75.39 ^{abc}	15.97 ^{cde}	3096.00 ^{bc}
7	H96-0585	72.58 ^{bc}	17.44 ^{bc}	3315.67 ^{ab}
8	H98-1076	77.48 ^{ab}	15.97 ^{cde}	3098.00 ^{bc}
9	H98-1075	66.06 ^{cd}	17.64 ^{abc}	2912.00 ^{cd}
10	H98-1092	75.96 ^{abc}	17.69 ^{abc}	2992.33 ^{bcd}
11	H98-1021	78.23 ^{ab}	16.99 ^{bcd}	2948.67 ^{bcd}
	Promedio ^{§§}	74.68	16.93	3071.70
	DMS (0.05)	11.21	1.80	378.70

Genotipos con letras diferentes en cada una de las variables cuantificadas, son estadísticamente diferentes según la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

Estos resultados ponen de manifiesto que en el Programa de Soya del INIFAP en Veracruz, se dispone de genotipos con mayor potencial de rendimiento que las variedades comerciales de uso común en el norte de Veracruz y que las condiciones edafoclimáticas del centro de la entidad son adecuadas para producir soya de temporal (Durán *et al.*, 2020).

En promedio, en los tres años de evaluación, las líneas H98-1365, H96-1153 y H96-0585 fueron las más productivas, con un rendimiento de grano promedio (Figura 1); estadísticamente semejante entre sí, superiores a 3,200 kg/ha.



Figura 1. Desarrollo de la línea H98-1365 en condiciones de temporal en el centro de Veracruz.

Conclusiones

Bajo las condiciones en que se desarrolló esta investigación, las líneas H98-1365, H96-0585 y H96-1153 fueron las más productivas, las cuales en promedio superaron en 5 y 8% el número de vainas por planta y el rendimiento de grano de la mejor variedad testigo. Tanto la cantidad de vainas producidas por planta, como el peso de 100 semillas no se asociaron significativamente con el rendimiento de grano.

Literatura citada

- Díaz, P. G., G. Medina G. y J. A. Ruíz C. 2007. Potencial productivo del cultivo de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) en México. Ciclo primavera-verano. Delimitación en sistemas de información geográfica. Publicación Técnica Núm. 2. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 67 p.
- Díaz, P. G., R. A. Guajardo P., G. Medina G., I. Sánchez C., J. Soria R., P. Vázquez A. *et al.* 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Publicación Especial Núm. 8. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 139 p.
- Durán, P. A., E. N. Becerra L., V. A. Esqueda E. y J. Cumpián G. 2020. Manual de producción de soya de temporal en el centro del estado de Veracruz. Folleto Técnico No. 96. SADER. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 44 p.
- Durán, A., V. López, O. Tosquy y N. Maldonado. 2004. Comportamiento productivo de genotipos de soya en el centro de Veracruz. p. 176. *In:* Resúmenes L Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. San Salvador, El Salvador.
- Echanove, H. F. 2016. La expansión del cultivo de soya en Campeche, México: problemática y perspectivas. *An. Geogr. Univ.* 36(1):49-69.
- Elizondo, B. J. 2000. Aptitud combinatoria de 13 genotipos de soya en siembras de invierno en el sur de Tamaulipas. p. 84. *In:* Memoria del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Irapuato, Gto., México.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.

- He, H., X. Ma, H. Guan, F. Wang and P. Shen. 2023. Recognition of soybean pods and yield prediction based on improved deep learning model. *Front. Plant Sci.* 13:1096619.
- Hernández-Pérez, M., J. M. Soto-Rocha, M. A. Ávila-Perches, F. P. Gámez-Vázquez, A. J. Gámez-Vázquez y M. de la O-Olan. 2020. Rendimiento de variedades de soya evaluadas en diferente fecha de siembra en Campeche, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 43(4-A):549-556.
- Little, T. M. and F. J. Hills. 1998. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 2^{da} ed. Trillas. México. 270 p.
- López, S. E., A. Durán P., E. N. Becerra L., V. A. Esqueda E., J. Espinosa M., O. Cano R. *et al.* 1994. Manual para cultivar soya de temporal en el centro de Veracruz. Folleto para Productores No. 8. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 24 p.
- López S. E., O. Cano R., J. Cumpián G. y N. Maldonado M. 1993. Evaluación de ensayos de rendimiento de líneas y variedades de soya sobresalientes en el trópico húmedo. p. 1-13. *In: Resultados de Investigación en el Cultivo de Soya 1992. Proyecto colaborativo CONACYT-CARNATION-NESTLÉ-INIFAP. Programa de Leguminosas Comestibles. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Ver., México.*
- Maestri, D. M., D. O. Labuckas, C. A. Guzmán and L. M. Giorda. 1998. Correlation between seed size, protein and oil contents, and fatty acid composition in soybean genotypes. *Grasas Aceites* 49(5-6):450-453.
- Maldonado, N. 1994. Huasteca 100 y Huasteca 200, nuevas variedades de soya para el sur de Tamaulipas. Folleto Técnico Núm. 9. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. Tampico, Tam., México. 21 p.

- Olivares, E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México.
- Reyes, C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. 3ª ed. Trillas. México, D. F. 348 p.
- Reza, A. R. y M. Salgado D. 2000. Variedades de soya en el estado de Guerrero. p. 85. *In*: Memoria del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Irapuato, Gto., México.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado. SIAP. Gobierno de México. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [consultado el 7 de mayo de 2024].
- Torres, T. N. y A. R. Tovar-Palacio. 2009. La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. Salud Pública. Méx. 51(3):246-254.
- Tosquy, V. O. H., V. A. Esqueda E. y A. Durán P. 2006. Sistemas de siembra para soya de invierno en Veracruz, México. Agron. Mesoam. 17(1):47-53.

CARTOGRAFÍA DE SUELOS, CLASIFICACIÓN CAMPESINA DE TIERRAS Y CAPTURA DE CARBONO EN EJIDO EL FAISÁN, MUNICIPIO DE PASO DE OVEJAS, VERACRUZ, MÉXICO

Catalino Jorge López Collado⁴¹, Álvaro Palacios Mendoza^{41*}, Alberto Rivera Marín⁴²
y Santiago Hernández Morales⁴²

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo ser una guía en la toma de decisiones para determinar si los cultivos podrían ser más redituables, o si los actuales son más indicados, así mismo, se espera que este trabajo pueda sugerir qué otros usos podrían tener los cultivos sin deteriorar el ambiente y su importancia en la captura de carbono (C), para ello se utilizó la metodología de Clasificación Campesina de Tierras en conjunto con el uso de Sistemas de Información Geográfica, como son: los mapas de uso libre descargados de internet, mapas digitales de INEGI, mapas catastrales del Ejido y GPS. Los productores serán los que tomen la decisión final en caso de que tengan otras alternativas de cultivos. Los cultivos propuestos podrían ser flores de ornato y hortalizas, los cuales tienen un alto valor en el mercado.

Palabras clave: suelos tropicales, cartografía de suelos, captura de carbono

Introducción

Porta *et al.* (2013) mencionan que es vital conocer las características del suelo, ya que es el principal recurso para albergar vida y proporciona los medios para la producción de alimentos para la sociedad. El monitoreo de cambio de uso del suelo en zonas con agricultura de riego demanda un esfuerzo considerable para el seguimiento periódico de las parcelas de cultivo. Por ello, desde hace más de 30 años se buscan técnicas y metodologías que permitan clasificar las zonas agrícolas con precisión (Espinosa-Espinosa *et al.*, 2017); esto es complicado en regiones con alta diversidad de cultivos, prácticas agrícolas y un limitado acceso

⁴¹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

⁴² Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia: alvaro_palacios_14@hotmail.com

al conocimiento local acerca del intercalado de especies cultivadas (Pun, *et al.*, 2017; Xion *et al.*, 2017).

Uno de los métodos para cartografiar tipos de suelos, se le conoce como “clasificación campesina de tierras”, esta metodología no solo proporciona los límites en un mapa para cartografiar las diferentes clases de suelos, sino que también proporciona sus características físicas, químicas y biológicas a un nivel “empírico”. Este conocimiento puede ser transformado a una clasificación técnica como la de la FAO-UNESCO o a la clasificación de la Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Actualmente, el uso de mapas de Google Earth™ en conjunto con la metodología de Clasificación Campesina de Tierras, proporciona las herramientas necesarias para cartografiar los tipos de suelo de una región de manera rápida, sencilla y económica. Esta información se puede complementar con mapas catastrales de la región para aumentar la precisión de las superficies de los diferentes tipos de suelos, con fotografías aéreas o mapas digitales de INEGI. Mientras que la clasificación campesina de tierras nos da la forma de comunicarnos con los campesinos de una manera más entendible, su transformación a una clasificación técnica nos proporciona información para poder comunicarnos con técnicos y científicos de una forma apropiada.

Con el propósito de cartografiar los tipos de suelos en el ejido El Faisán del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México, se elaboró un mapa base a una altitud de 1.88 km de la localidad con Google Earth™, por otro lado, se consiguieron los mapas catastrales para una mejor ubicación de los tipos de suelos. Se realizaron recorridos de la zona con ejidatarios cooperantes y conocedores de los tipos de tierras. Una vez que se les explicó los propósitos del estudio y explicarles como ubicarse en el mapa base, se comenzó con la delimitación de los suelos en campo, para ello se requirió seleccionar puntos muy conocidos, como un arroyo, un río, un camino, una bifurcación de caminos, un lago, una construcción, etc. para facilitar que los productores del lugar se orienten en el mapa.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se realizó una investigación de tipo descriptiva y cuantitativa de la situación del suelo, utilizando una clasificación campesina y una clasificación técnica de suelos, en el ejido El Faisán municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México, con una superficie total de 524 ha. En la actualidad el ejido El Faisán está compuesto por 68 ejidatarios de los cuales 7 de ellos viven en la localidad del Faisán, 2 en la localidad de La Víbora y los restantes residen en la localidad de La Ceiba.

Descripción del área de estudio

El ejido se encuentra ubicado en el centro del Estado de Veracruz, entre las coordenadas 19° 19' 07" latitud Norte y 96° 22' 37" longitud Oeste, a 20 msnm. El ejido está dividido en dos partes (Fig. 1).



Figura 1. Imagen de satélite obtenida de Google Earth de la zona del Ejido El Faisán.

El ejido se encuentra dividido en dos partes, el polígono 1 colinda con los terrenos de los ejidos de: El Mango, Salmoral, Paso de Ovejas y La Víbora; y el polígono 2 colinda con: Salmoral, La Víbora y La Conquista. Las causas de la división del ejido El Faisán, se debe a que las localidades de El Faisán y La Víbora se encuentran en medio del ejido.

Diseño y unidad experimental

Determinación de la superficie por clase de tierra

Para determinar la superficie por clase de tierra se utilizó un método heurístico, basándose en el peso de una porción de papel, a esta porción de papel se le conoce la superficie que representa en la escala del mapa catastral parcelario. Por medio de una proporción matemática se estima la superficie que ocupa cada tipo de suelo, el cual previamente ya fue cartografiado en el mapa base y en el mapa catastral parcelario.

Obtención de las muestras

De acuerdo con las capas observadas en los perfiles de suelo se colectó una porción de dicho material, se colocaron en bolsas de plástico y se etiquetaron con datos como el nombre a la clase de tierra correspondiente, número de capa, fecha de obtención y vegetación cultivada. Posteriormente se enviaron al laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, para su análisis físico y químico.

Análisis de muestras

En el laboratorio se determinaron las siguientes características físicas y químicas: para determinar el pH se utilizó un potenciómetro HI 2210 Meter (Hanna ®). La Conductividad eléctrica se determinó utilizando un conductímetro portátil (Hanna ®, modelo Dist 4). La materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black. La textura mediante el procedimiento de Bouyoucos. Se realizaron pruebas rápidas en campo como la presencia de carbonatos utilizando ácido clorhídrico al 10%, para conocer el grado de descomposición y cantidad relativa de la materia orgánica se usó agua oxigenada (peróxido de hidrógeno) al 10%. En el Cuadro 1 se muestra la interpretación utilizada para el grado de descomposición y cantidad relativa de la materia orgánica y en el cuadro, se observa el grado de mineralización de los carbonatos de calcio.

Cuadro 1. Interpretación del grado de descomposición de la materia orgánica en el suelo al agregar a una muestra de suelo peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 10%.

Grado de descomposición de la materia orgánica		Reacción	
		Lenta	Rápida
Burbujas	Chica	Poca materia orgánica y bajo grado de descomposición	Alta cantidad de materia orgánica y bajo grado de descomposición
	Grande	Poca materia orgánica y alto grado de descomposición	Alta cantidad de materia orgánica y alto grado de descomposición

Cuadro 2. Interpretación de la cantidad y grado de mineralización de carbonatos de calcio (CaCO₃) presentes en las muestras de suelo.

Grado de mineralización de carbonatos de calcio		Reacción	
		Lenta	Rápida
Burbujas	Chica	Poca cantidad de carbonatos de calcio y bajo grado de mineralización	Alta cantidad de carbonatos de calcio y bajo grado de mineralización
	Grande	Poca cantidad de carbonatos de calcio y bastante grado de mineralización	Alta cantidad de carbonatos y bastante grado de mineralización

Clasificación de los suelos

Se realizó la descripción y clasificación del suelo presente en los terrenos del ejido El Faisán, bajo el sistema FAO/UNESCO. Usando el manual para la descripción de perfiles elaborado por Heriberto Cuanalo de la Cerda.

Captura de carbono

De las muestras obtenidas de las diferentes clases de tierras campesinas se determinó en el suelo la cantidad de C liberado hacia la atmosfera, utilizando la metodología denominada Incubación Estática-Determinación por Titulación (Static Incubation-Titrimetric Determination).

Resultados y discusión

La comunidad de la Ceiba perteneciente al ejido El Faisán, cuenta con los siguientes servicios: jardín de niños “Ejercito Nacional”, primaria “Miguel Hidalgo y Costilla”, no hay secundaria, la gente se va a estudiar a la localidad del Faisán en la secundaria “Graciano Valenzuela”, no hay preparatoria la gente se va a estudiar al TEBAEV de Salmoral, y otros estudiantes a Tolome, inclusive algunos van a Ciudad Cardel a la preparatoria oficial “Agustín Yáñez” con turnos diurno y vespertino. Hay una iglesia católica “María Reina”, un campo de beisbol “La Ceiba”, hay un puente de concreto en el río Paso de Ovejas, drenes, carretera pavimentada, calle principal pavimentada, hay un consultorio médico llamado “Casa de salud”, no hay farmacia establecida como tal, pero tiene cinco tiendas de abarrotes que venden algunos tipos de medicamentos. No hay partera, la gente tiene que viajar a Ciudad Cardel, existe una casa del campesino “Ejido El Faisán Anexo La Ceiba”, no hay biblioteca, existe agua entubada de pozo profundo, electricidad, alumbrado público, para el drenaje de aguas negras utilizan fosas sépticas.

Uso actual del suelo

El ejido El Faisán está formado por dos polígonos; polígono 1 con 280-72-83.075 ha y el polígono 2 con 243-35-64.392 ha, haciendo una superficie total de 524-08-47.467 ha, de las cuales 16-66-48.441 ha están ocupadas por asentamientos humanos, 28-63-79.732 ha de infraestructura, 3-16-82.329 ha de ríos, arroyos y cuerpos de agua. Teniendo una superficie parcelada total de 480-61-36.965 ha, de las cuales 432-77-59.241 ha son de caña de azúcar aproximadamente, 12-02-75.210 ha utilizados como potreros, 18-30-35.04 ha son desprovistos de vegetación, 8-00-02.021 ha de maíz, 1-05-00.000 ha de papaya, 0-02-50.007 ha de frijol, 1-50-03.050 ha de frutales, 1-00-00.000 ha de limón persa y 0-02-13.300 ha de cedros. Toda

263

Cuadro 3. Simbología utilizada en la figura 2.

Uso agrícola	Simbología	Superficie (ha)
	Clave	
Caña de azúcar		212-37-83.218
Maíz		8-00-02.021
Papaya		1-05-00.000
Frijol		0-02-50.007
Frutales		1-50-03.050
Potreros		8-00-25.100
Desprovisto de vegetación		15-30-08.430
Asentamientos humanos		16-66-48.441

Cuadro 4. Simbología utilizada en la figura 3.

Uso agrícola	Simbología	Superficie (ha)
	Clave	
Caña de azúcar		220-39-76.023
Limón		1-00-00.000
Cedro		0-02-13.300
Potreros		4-02-50.110
Desprovisto de vegetación		3-00-26.634
Ríos, arroyos y cuerpos de agua		3-16-82.329

Clasificación de los suelos

De acuerdo con la clasificación de la FAO/UNESCO los suelos del ejido El Faisán pertenecen al orden de los Fluvisoles y al suborden Eútrico.

Captura de carbono

En el cuadro 5 se observan los resultados de la cantidad de C liberado durante 30 días del periodo del experimento.

Cuadro 5. Resultados de la Captura de carbono, datos en mg C/g suelo.

Muestras de suelo*	Días de captura de CO ₂				
	1	3	11	21	30
P1	0.014	0.014	0.083	0.089	0.112
P2	0.039	0.067	0.067	0.068	0.070
P3	0.005	0.008	0.008	0.014	0.015
P4	0	0	0.003	0.013	0.028
P5	0	0	0	0.012	0.018
P6	0.006	0.006	0.031	0.046	0.061
Promedio	0.011	0.016	0.032	0.040	0.050

*P1= Tierra Arcillosa, P2= Tierra Fangosilla, P3= Tierra Corrida, P4= Bancos de Arena, P5= Tierra Negra, P6= Arena.

En las Figuras 4 y 5 se pueden observar la cantidad de carbono liberado por cada clase de tierra durante el periodo del experimento.

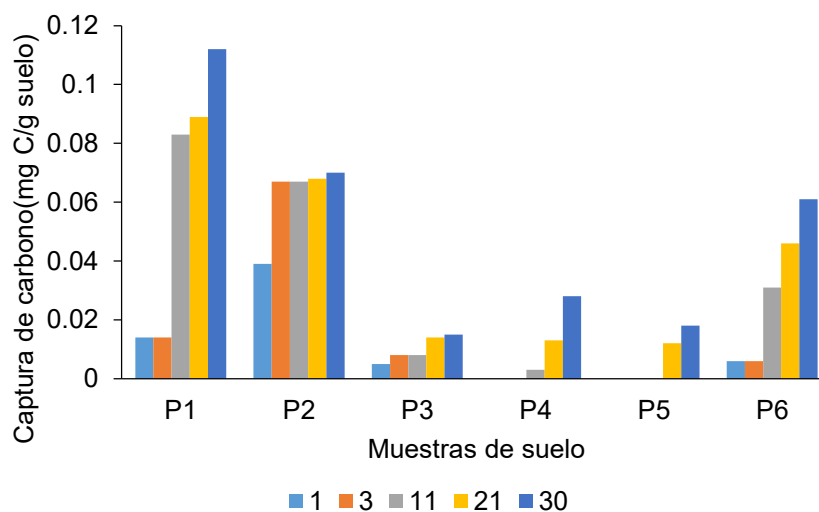


Figura 4. Contenido total de carbono liberado hacia la atmósfera por cada clase de tierra campesina.

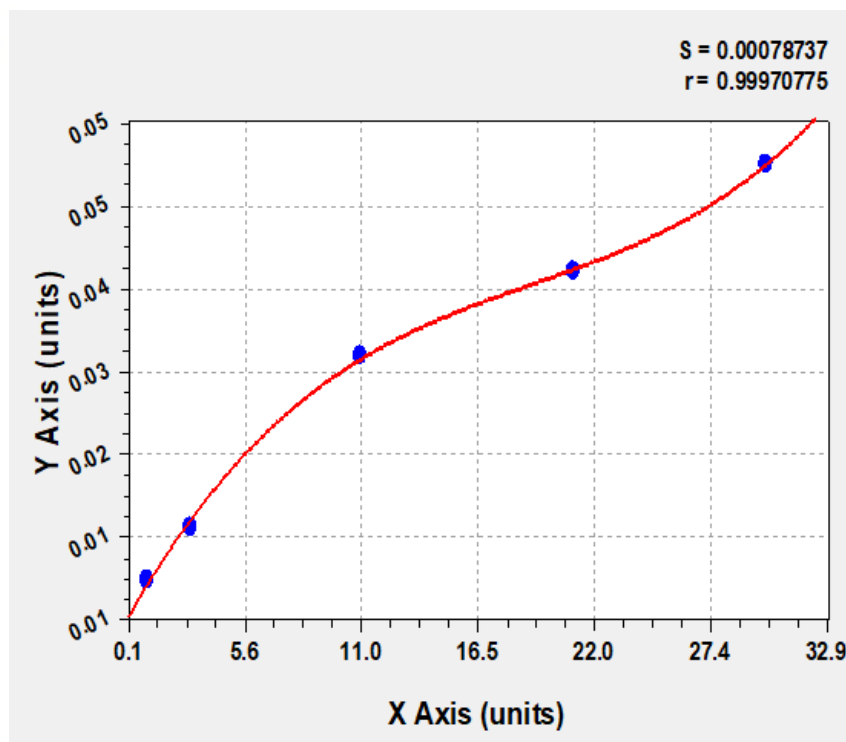


Figura 5. Promedio del CO₂ liberado por cada clase de tierra campesina.

Conclusiones

El estudio mostró las bondades de los sistemas de información geográfica con los que se cuentan actualmente para cartografiar los suelos. Conocer las características del paisaje, información socioeconómica, características y manejo de los cultivos, nos da la suficiente información para la toma de decisiones. La caña de azúcar es el principal cultivo del Ejido el Faisán, ocupando el 96% de la superficie total del ejido, sembrando en menor cantidad cultivos como: maíz, papaya, frijol, frutales, cedro y otro porcentaje dedicada a la ganadería. Este ejido es parte de la zona de abasto del ingenio El Modelo ubicado en ciudad Cardel. En las clases de tierra por su capacidad de uso que existen en el ejido El Faisán corresponden al tipo I, II, III y IV. Se encontraron cinco clases de tierras campesinas denominadas por los productores como: Tierra arcillosa (127-54-86.259 ha), tierra fangosilla (47-75-14.853 ha), tierra corrida (218-07-73.783 ha), banco de arena (14-13-49.963 ha) y tierra negra (100-00-74.167 ha). En todas ellas se cultiva la caña de azúcar con diferentes rendimientos. La cantidad de C liberado

fue diferente en cada una de las clases de tierra campesina. La clase de tierra campesina que más liberó C fue la tierra arcillosa y la tierra negra fue la que menos liberó.

Literatura citada

- Espinosa-Espinosa, J., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Flores-Magdaleno, H. y Quevedo-Nolasco, A. 2017. Sistema de monitoreo satelital para el seguimiento y desarrollo de cultivos del Distrito de Riego 038. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 95-104. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-07>.
- Pun, M., Mutiibwa, D. y Li, R. 2017. Land Use Classification: A Surface Energy Balance and Vegetation Index Application to Map and Monitor Irrigated Lands. *Remote Sensing*, 9, 1-19. DOI: 10.3390/rs9121256
- Porta J., López-Acevedo M., Poch R. M. 2013. Edafología: uso y protección de suelos. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 607 p.
- Xiong, J., Thenkabail, P., Gumma, M., Tluguntla, P., Poehnetl, J., Congalton, R., Yadav, K. y Thau, D. 2017. Automated Cropland Mapping of Continental Africa Using Google Earth Engine Cloud Computing. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 225-244. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.01.01

DINÁMICA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS TROPICALES DEL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

Iliana Santiago Hernández⁴³, Catalino Jorge López Collado^{43*}, Ángel de Jesús Isidoro Pío⁴³, Oscar Valeriano Sánchez Valera⁴⁴ y Agustín Gómez Cruz⁴⁴

Resumen

Actualmente los investigadores se han interesado en estudiar los efectos del cambio climático y alteraciones en los fenómenos naturales a los que se enfrenta el planeta, algunas son debido a factores naturales y otras que han sido provocadas por actos humanos. Estos cambios han repercutido sobre el medio ambiente y principalmente sobre los seres vivos, de ahí el interés que se tiene por encontrar estrategias de minimizar estos cambios. Una de las causas es el incremento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI). Diferentes autores afirman que el dióxido de carbono (CO_2) es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales. El desarrollo de la agricultura ha implicado una gran pérdida de materia orgánica del suelo, sin embargo, hay diferentes prácticas de manejo de tierras que pueden ser utilizadas para aumentar el contenido de la materia orgánica del suelo tales como el incremento de la productividad, el incremento de la biomasa, el uso de nuevas variedades, aplicación racional de fertilizantes, y manejo integral del agua. El objetivo de este trabajo fue determinar la dinámica del dióxido de carbono que tienen los suelos de los agroecosistemas tropicales en la zona centro de Veracruz, México. Para ello se analizaron 7 muestras de suelos provenientes de los cultivos de pasto, maíz, café, malanga, limón y mango, con 5 repeticiones cada muestra con el propósito de conocer la curva de mineralización del carbono. El estudio mostró que el suelo del agroecosistema de caña de azúcar liberó mayor cantidad de CO_2 con relación a los demás agroecosistemas, además la liberación de carbono (C) siguió un modelo de regresión polinomial de segundo grado.

Palabras clave: agroecosistemas, mineralización, dióxido de carbono

Introducción

En la última década la sociedad ha tenido interés sobre los cambios climáticos y alteraciones en los fenómenos naturales que ha sufrido nuestro planeta, algunas de ellas por factores

⁴³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km. 88.5, Código Postal 91700 Ver. *Autor de correspondencia: cjl2000@hotmail.com

⁴⁴ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

naturales y otras que han sido provocadas por actos humanos (Valencia *et al.*, 2015). Estos cambios han repercutido sobre el medio ambiente y principalmente sobre los seres vivos, de ahí el interés que se tiene por encontrar estrategias que puedan minimizar estos cambios (Hernández, 2014; Muñoz-Pico y Viteri-Mancero, 2022). Una de las principales causas es el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, diferentes autores afirman que el dióxido de carbono (CO_2) es uno de los GEI más importantes y su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales (Saynes, 2016; Burbano, 2018).

Con la finalidad de reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa, es necesario desarrollar nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques, una opción se basa en la captura de C en los suelos, ya que el C orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación, la cual a partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación (IPPC, 2000).

México es uno de los países que integra el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), por ello contribuye a las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero. En este contexto, en México se evalúan los suelos como almacenes naturales de carbono, ya que cuenta con una superficie territorial de 198 millones de hectáreas, de ellas el 14% es clasificado por el INEGI como superficie de labor, de la cual, de acuerdo con el SIAP se siembra en una superficie aproximada de 22 millones de hectáreas (Soto, 2023). Por lo cual una de las estrategias que se prevé es el de establecer los suelos del agroecosistema como almacenes naturales de carbono. Para poder establecer estrategias que logren ser viables dirigidas a la mitigación de GEI principalmente el CO_2 , es necesario conocer la dinámica del carbono en los suelos de los agroecosistemas. Un primer paso necesario para lograr este objetivo consiste en contar con la información básica sobre los contenidos de C en los diferentes suelos de los agroecosistemas. En esta investigación se analizó el contenido de C de los suelos de siete agroecosistemas tropicales ubicados en la zona centro del estado de Veracruz, México. Los agroecosistemas que se evaluaron fueron los de café, mango, maíz, caña de azúcar, malanga, pastos y limón. Para determinar el C liberado hacia la atmósfera se utilizó el método de

“incubación estática - determinación por titulación “. Este método fue llevado a cabo durante sesenta días dentro del laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo fue realizado en la parte central del estado de Veracruz, México. La región limita al norte con la región de la capital del estado de Veracruz, al este con el Golfo de México, al oeste con la región de las Montañas y al sur con la región del Papaloapan. Está integrada por 12 municipios: La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlalixcoyan, Úrsulo Galván y Veracruz. Esta región presenta una superficie de 3,961 km² (5.5% del territorio estatal).

Diseño y unidad experimental

Se analizaron siete muestras de suelos dependientes de los tipos de agroecosistemas. Para la incubación estática se realizaron cinco repeticiones de las muestras de suelo, incluyendo el testigo (blanco) el cual no tenía muestra de suelos, por lo tanto, se tuvo un total de cuarenta unidades experimentales. La unidad experimental la representa el frasco de plástico de 600 mL que contiene un vaso de precipitado con agua (H₂O), un vaso de precipitado con hidróxido de sodio (NaOH) 1N y un vaso de precipitado con 20 g de suelo. Los frascos para la incubación se mantuvieron por sesenta días dentro del laboratorio sobre una mesa metálica.

Descripción de los tratamientos en la incubación

1. Testigo (sin suelo), 2. Suelo de malanga, 3. Suelo de maíz, 4. Suelo de café, 5. Suelo de pastos, 6. Suelo de mango, 7. Suelo con caña de azúcar, 8. Suelo de limón.

Muestreo de suelo

Para determinar las áreas geográficas de muestreo se basó en los tipos de agroecosistemas predominantes en la zona central de Veracruz, para ello se eligieron siete cultivos diferentes

los cuales fueron: caña de azúcar, malanga, limón, pastos, mango, café y maíz. Se tomaron cinco muestras por cada tipo de agroecosistemas, colectándolas en zigzag a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo. La profundidad a la que se realizó el muestreo fue de 0 – 30 cm, excluyendo las piedras.

Análisis estadístico

El modelo matemático que fue seleccionado para conocer la curva de mineralización de carbono es el de regresión polinomial de segundo grado, este modelo fue seleccionado dentro de los mejores modelos que ajustan los datos de mineralización de la materia orgánica del suelo. Esta selección se basó en el más alto coeficiente de determinación (R^2), y el valor mínimo en el error estándar del modelo.

Variables evaluadas

En este trabajo se realizó la curva de mineralización de carbono utilizando el software CurveExpert Professional. Se realizó la curva de mineralización para cada cultivo: malanga, maíz, café, pasto, mango, caña de azúcar y limón.

Modelo:

$$y=a+bx+cx^2$$

Dónde: Los coeficientes de datos son a, b, c; y las variables del modelo son: y = gramos de carbono capturado en hidróxido de sodio; x = días de incubación en el suelo.

Resultados y discusión

Suelo del cultivo de malanga

En la Figura 1 se observa el promedio de la cantidad de C que libera el suelo cultivado con malanga en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación. Sin embargo, no se culminó el perfil de suelo debido a que las condiciones de inundación del cultivo no favorecieron. Su profundidad fue de 20 cm, se puede mencionar que el tipo de textura del suelo es franco-arcilloso-arenoso, con una densidad aparente de 1.19 g cm^{-3} .

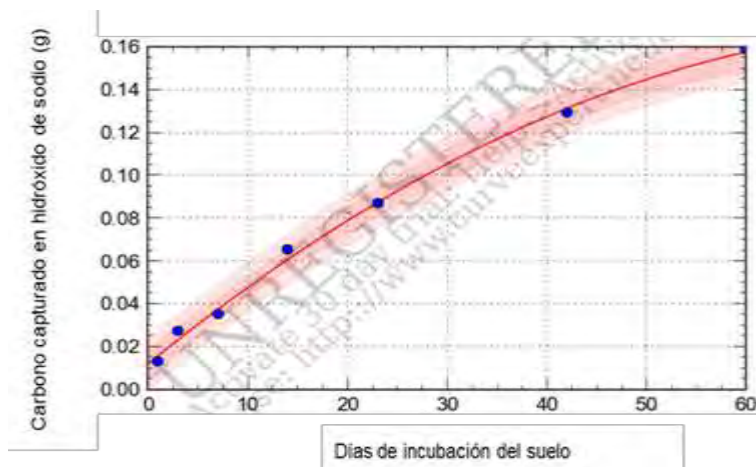


Figura 1. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con malanga.

Suelo con caña de azúcar

En la Figura 2. se observa el promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con caña de azúcar en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación.

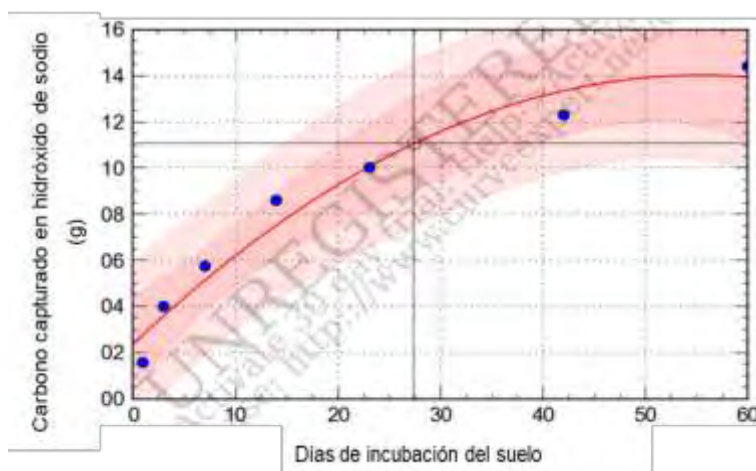


Figura 2. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con caña de azúcar.

El suelo con caña de azúcar es el que liberó mayor cantidad de C en los 60 días de incubación, debido a que su ciclo es más corto y la materia orgánica se descompone más rápido ya que se quema y quedan residuos de carbono (carbón).

Suelo con cultivo de maíz

Se observa el promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con maíz en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación (Figura 3).

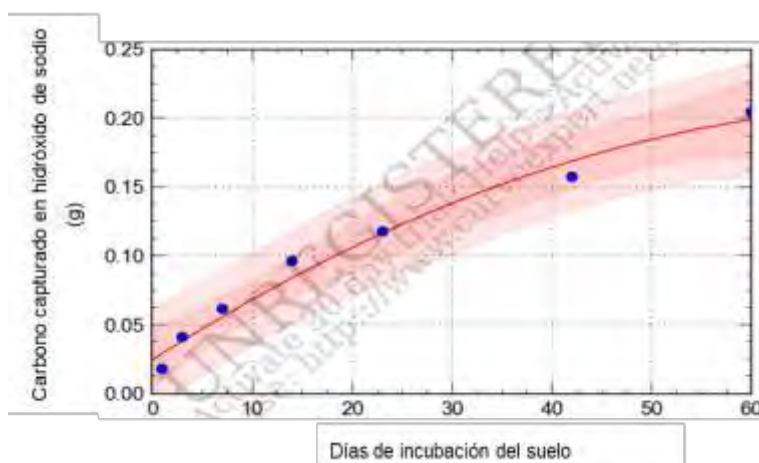


Figura 3. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con maíz.

Suelo con cultivo de mango

El promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con mango en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación. El perfil 4 llegó a una profundidad de 28 cm el suelo se encontró con mucha pedregosidad por lo que ya no se pudo seguir excavando.

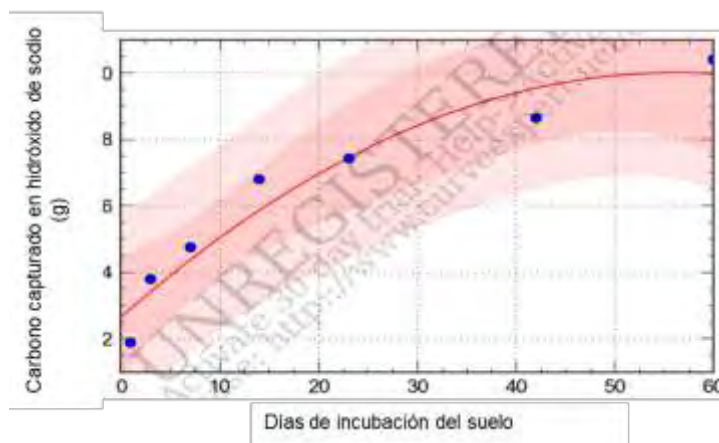


Figura 4. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con mango.

Suelo con limón

Promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con limón en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación perfil 5 llegó a una profundidad de 32 cm, el suelo se encontró con mucha pedregosidad y humedad por lo que ya no se pudo seguir excavando (Figura 5).

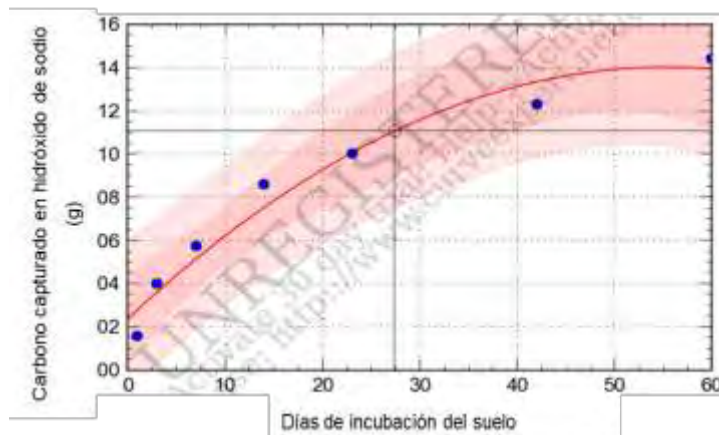


Figura 5. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con limón.

Suelo con café

El promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con café en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación (Figura 6).

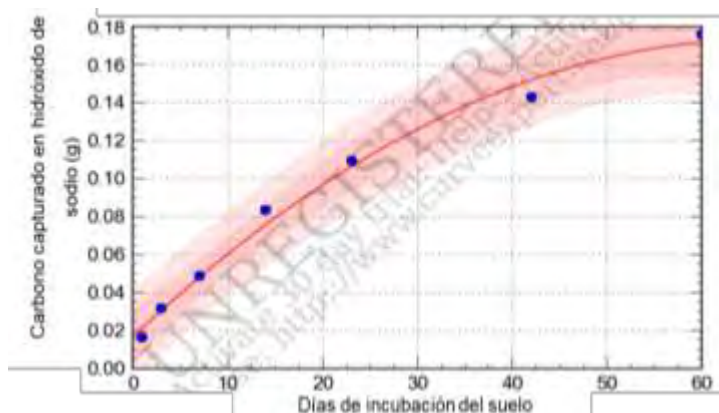


Figura 6. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con café.

Se esperaba que el cultivo del café fuera el que liberara mayor cantidad de carbono en el lapso de 60 días, ya que contaba con mayor cantidad de materia orgánica, sin embargo, este cultivo fue más lento en la liberación del carbono por lo que necesitaría más días.

Suelo con pasto

El promedio de la cantidad de carbono que libera el suelo cultivado con pasto en los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, después de la incubación.

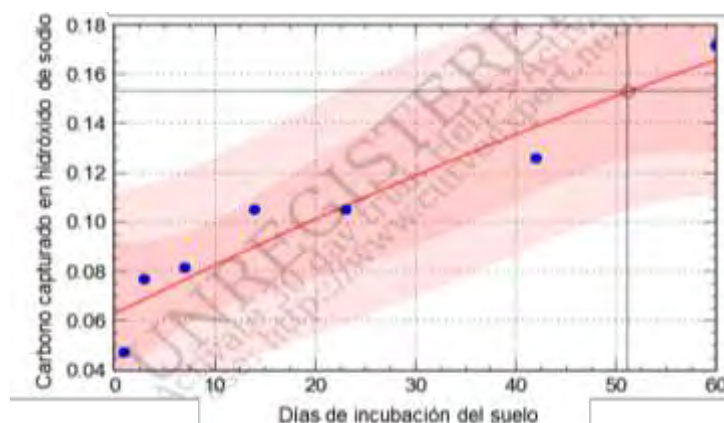


Figura 7. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelos cultivados con pasto.

Los resultados de los análisis químicos que se realizaron para saber en qué condiciones se encuentra los suelos de dichos cultivos y con base en eso poder dar una recomendación a productores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Determinaciones químicas de las muestras para la incubación de captura de carbono.

Suelo Agroecosistema	Densidad aparente	Textura (Bouyoucos)	pH	C.E.	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (mg)	Fósforo (ppm)
Mango	1.05	fr.a.A	7.5	1.4	1.88	1.24	22.1
Pasto	1.07	**fr.A	6.7	0.5	0.94	0.62	24.9

Suelo Agroecosistema	Densidad aparente	Textura (Bouyoucos)	pH	C.E.	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (mg)	Fósforo (ppm)
Café	1.25	*fr.a.A	4.9	0.6	5.11	1.24	23.4
Maíz	1.35	*fr.a.A	6.5	0.5	1.88	0.62	28.8
Caña de azúcar	1.2	**fr.A	7.4	1.4	1.08	1.24	22.8
Malanga	1.19	*fr.a.A	6.6	1	0.27	0.62	20.2
Limón	1.35	**fr.A	6.6	1.2	0.4	0.62	19.3

*fr.a.A: franco arcillo arenoso, **fr.A: franco arenoso.

De los resultados obtenidos, el tipo de suelo que liberó mayor cantidad de carbono en 60 días fue caña de azúcar debido a que el ciclo es más rápido (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de la liberación de carbono en los siete agroecosistema.

Muestra con suelos	Total suma (mg C /g suelo)	Total promedio (mg C/g suelo)	MO (%)
Caña de azúcar	0.159	0.022	1.08
Pastos	0.105	0.017	0.94
Café	0.086	0.012	5.11
Limón	0.077	0.011	0.40
Malanga	0.069	0.009	0.27
Mango	0.067	0.009	1.88
Maíz	0.045	0.006	1.88

El método de dicromato (Walkley & Black) que involucra poco o nada de calentamiento externo, da poca recuperación del Carbono orgánico presente en materiales carbonizados (carbón de leña, grafito, carbón, coque, y tizne). Por ejemplo, García y Ballesteros, (2005) encontraron que el método Walkley & Black recuperaban solo de 2 a 11% del Carbono presente en estos materiales. En un estudio detallado, (Eyherabide *et al.*, 2014) compararon y encontraron que el método Walkley & Black daban baja recuperación del C orgánico (0-57%) de materiales

carbonizados, mientras que los métodos que involucran calentamiento externo, como el método de Tinsley daba un substancial (64-104%) pero variable, de recuperación de C orgánico de dichos materiales.

De forma inversa, Heanes (1984) y Martínez *et al.*, 2008 encontraron muy poco C orgánico en el carbón de madera. Sánchez-Hernández *et al.* (2011) en un estudio de contenido de C en suelos con diferentes cultivos, encontraron menor cantidad de C en suelo de cultivo de caña de azúcar, no siendo así, en esta investigación la mayor liberación de C se registró en el cultivo de caña de azúcar (Figura 8).

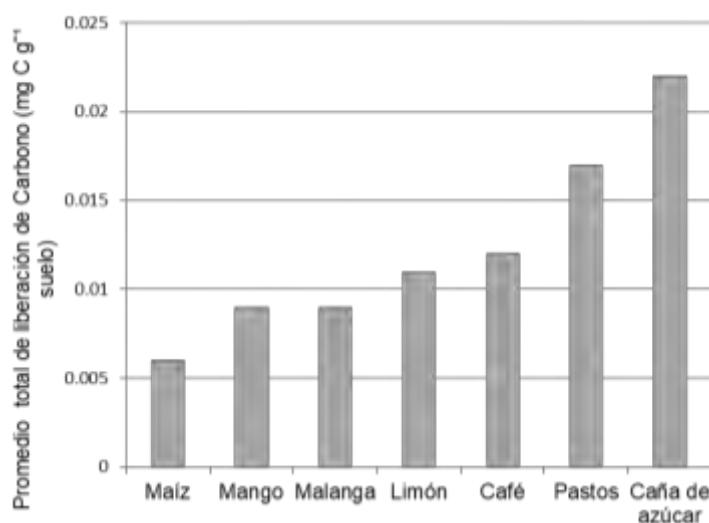


Figura 8. Resultados totales de la liberación de carbono en los 7 agroecosistemas.

Conclusiones

El suelo del agroecosistema con caña de azúcar liberó mayor cantidad de C con relación a los demás agroecosistemas tales como pasto, maíz, café, malanga, limón y mango. El agroecosistema café capturó 2.96% de C en el suelo, y fue el más alto con relación a los demás agroecosistemas. El modelo matemático que se ajustó a la curva de mineralización fue el de regresión polinomial de segundo grado. Dicho modelo fue seleccionado entre 500 tipos de modelos que conforman la base de Modelos del software CurveExpert Professional. Este

modelo se seleccionó con base en las características del experimento, del tipo de suelo, además de la R^2 y del error estándar del Modelo. Este modelo permite ver la curva de mineralización con incrementos decrecientes que otros autores han encontrado.

Literatura citada

- Burbano, O.H. 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- Eyherabide, M. S. R., P. Hernán B. y E. Echeverría H. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.
- García, G. J. y M.I. Ballesteros G. 2005. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34 (2), 201-209.
- Hernández, N. É. 2014. Cambio climático, salud humana y enfermedades emergentes.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. The third assessment report, climate change 2001. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Martínez, H. E., J.P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.
- Muñoz-Pico, H. P. y F.V. Viteri-Mancero. 2022. Del ver al compartir: el rol de las emociones en la propagación de contenidos sobre cambio climático 25(2), Epub May 23, 2022.
- Saynes, S. V., J. D. Etchevers B., F. Paz P. y L.O. Alvarado C. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96.

Soto, F. P., E. F. Hernández, L.G. Montoya, S. L. Sánchez P., G.B. Puente and A.R. Izaguirre D. 2023 12º Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas, Chapingo, México.

Sánchez-Hernández, Rufo, Ramos-Reyes, Rodimiro, Geissen, Violette, Mendoza-Palacios, Juan de Dios, Cruz-Lázaro, Efraín de la, Salcedo-Pérez, Eduardo, y Palma-López, David J. 2011. Contenido de Carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. Terra Latinoamericana, 29(2), 211-219.

Valencia, H. J. G., A.M. Aguirre F. y M.S. Ríos. 2015. Desafíos de la Justicia Ambiental y el acceso a la Justicia Ambiental en el desplazamiento ambiental por efectos asociados al cambio climático. Luna Azul, (41), 323-347.

CARACTERIZACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE VARIANTES DE GENOTIPOS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN URUAPAN, MICHOACÁN

Luis Mario Tapia Vargas⁴⁵, Anselmo Hernández Pérez⁴⁵, Magali Ruiz Rivas⁴⁵
y Adelaida Stephany Hernández Valencia^{46*}

Resumen

México cuenta con el primer lugar en producción y exportación de aguacate a nivel mundial. La variedad Hass es la de mayor aceptación, pero es considerada como una variedad con una debilidad genética, sin embargo, corre el riesgo de ser atacada por alguna plaga o enfermedad que ponga en peligro a la industria del aguacate, por lo que es de importancia buscar materiales genéticos de aguacate. Michoacán se ha determinado como centro de origen de la raza mexicana de aguacate (*Persea americana* Mill.), lugar donde se cultivan variedades criollas en huertos comerciales y en traspatios. El objetivo de esta investigación fue caracterizar un grupo de 19 variedades criollas de aguacate del área de montaña del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, de Uruapan, Michoacán. La caracterización se realizó conforme a la guía de descriptores propuestas por UPOV (Unión Internacional para la Producción de las Obtenciones Vegetales). Las variables evaluadas fueron, brotación, floración, crecimiento del fruto, peso del fruto y semilla, diámetro polar y ecuatorial del fruto y semilla, porcentaje de materia seca (%MS), firmeza de la pulpa, forma y tamaño del fruto y calidad de la pulpa. En la floración predominó la variedad 012-01, y 125-04, sin embargo no hubo amarre de fruto, en cuanto a tamaño y peso de fruto sobresalió la variedad Segregante Rincón (SR), de igual manera contiene mayor cantidad de pulpa con respecto a su tamaño y el tamaño de la semilla, en la firmeza de la pulpa sobresalió la variedad Tecuiltata 1 (TEC1), en relación a la forma del fruto de acuerdo con el diámetro polar y ecuatorial el mejor proporcionado fue por la variedad 010-04, y con respecto al porcentaje de materia seca la variedad Aquismon 2 (AQ2) es el que presentó el mayor porcentaje. Los resultados obtenidos demostraron la variabilidad que existe entre los genotipos seleccionados tanto en fruto como en la fisiología del árbol. Con base a los resultados obtenidos al caracterizar los genotipos seleccionados para este estudio se encontró amplia diversidad genética, lo cual es apropiado para programas de mejoramiento genético en el género *Persea*.

Palabras clave: Variedades criollas, recursos genéticos, zonas agroecológicas

⁴⁵ Inifap, Campo experimental Uruapan.

⁴⁶ Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. *Autor de correspondencia: hernandez.adelaida@colpos.mx

Introducción

El aguacate, originario de América, fue para los pueblos indígenas desde tiempos inmemoriales, un fruto delicioso muy apreciado con propiedades extraordinarias que van desde la nutrición, uso curativo, religioso hasta para la elaboración de cosméticos (Villanueva y Vertí, 2007). Antes de la llegada de los españoles a América, el aguacate ya formaba parte de la dieta de los Aztecas (Teliz, 2000). Es una especie arbórea originaria de una amplia zona geográfica, que se extiende desde las Sierras Centrales y Orientales de México y Guatemala, hasta la costa Pacífica de Centroamérica, y su distribución natural llega hasta el norte de Perú (Wolstenholme y Whiley, 1999; Bernal y Díaz, 2008). En 1975, Hernández, hizo la primera descripción del aguacate en su historia de las plantas y en 1911, el horticultor Carl Schmidt viajó a México en búsqueda de variedades de aguacate que tuvieran mejor resistencia a heladas. Generalmente se cree que el aguacate proviene de una especie única que adquirió diferentes características como efecto de los diversos climas donde fue cultivado (Villanueva y Vertí, 2007). Actualmente se cultiva en el mundo bajo diferentes condiciones ambientales, los extremos climáticos varían desde zonas desérticas como Israel y sur de California, tierras altas subtropicales y bosques húmedos tropicales de Centroamérica, hasta regiones de Sudáfrica y Australia sometidas a condiciones de niebla (Bower y Cutting, 1988). En toda la República Mexicana se pueden encontrar criollos de aguacate, ya sea en huertos familiares, en pequeños terrenos y de forma silvestre que son colectados por pobladores locales de cada región y sirven de alimento para especies animales como sucede en selvas subtropicales y tropicales. Además de la importancia alimenticia de estos materiales, también algunos poseen alto potencial para mejoramiento genético con características como resistencia al frío, plagas y enfermedades, contenido de aceite, elevada productividad o para árboles enanos que faciliten la cosecha. La mayoría de los productores o viveristas de aguacate primero obtienen plántulas mediante propagación sexual, ya sea de criollo o alguno más utilizado en la actualidad para elevar la productividad, posteriormente realizan injertos sobre el patrón obtenido mediante propagación por semilla. Michoacán, forma parte del centro de origen de la raza mexicana de aguacate (*Persea americana* Mill.), en donde se cultivan variedades criollas en huertos comerciales y en traspatios. El objetivo de esta investigación fue caracterizar a 19 variedades criollas de aguacate del área de montaña del Parque Nacional “Barranca del

Cupatitzio”, de Uruapan, Michoacán, mediante diferencias agromorfológicas del fruto, árbol y flor con el fin de demostrar la variabilidad existente entre estas.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La caracterización agromorfológica se llevó a cabo en los huertos del banco de germoplasma (HBG), establecidos en el área de montaña del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Microlocalización del área de estudio

Se localiza 19° 25'48'' de latitud norte y 102° 05'37'' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich a una altura de 1750 msnm, limitada al norte con Charapan, Paracho, y Nahuatzen, al Este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al Sur con Gabriel Zamora, y al Oeste con Nuevo Parangaricutiro, Periban y Los Reyes.

Material vegetativo

Durante el período comprendido entre los años 1994 y 1998, UPOV realizó viajes de colecta de aguacate a 24 estados de la República Mexicana, donde se hicieron muestreos en 118 municipios y dentro de ellos en 182 localidades. Se colectaron principalmente frutos de aguacate y en algunos casos material vegetativo. El material colectado fue principalmente de cultivares nativos, conocidos como criollos y en menor proporción materiales derivados de cultivares mejorados y silvestres (Cuadro 1). Para la planeación y ejecución de las actividades de colectas se siguieron las recomendaciones de la UPOV (2006). Para los sitios o áreas de colecta se registraron las altitudes y variables como latitud, tipo climático, clase de suelo, temperaturas y precipitación pluvial medias anuales, con el apoyo de la cartografía del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

Para la investigación se utilizaron 19 genotipos de aguacates criollos procedentes de semilla, de siete años aproximadamente, establecidos en marco real a una distancia de 2 x 2 m.

Cuadro 1. Origen de los materiales genéticos evaluados.

Variedad	Origen
SR AA	No determinado
AQ2 AA	Xalisco, Nayarit
TEC1 AA	Tecuitaca, Nayarit
TIM1 AB	Tingambato, Michoacán
TIAN1 AA	Tianguismanalco, Puebla
TIAN2 AA	Tianguismanalco, Puebla
AR6.2 AC	Valles, San Luis Potosí
AR6.4 AC	Valles, San Luis Potosí
078-02 AA	Ziracuaretiro, Michoacán
124-06 AB	Tacámbaro, Michoacán
63 -01 AC	Chilapa, Oaxaca
H.S.C.-AR	El Oro, Nayarit
032-02	Taretan, Michoacán
021-02	San Andrés, Michoacán
020-06	Tingambato, Michoacán
109-02	Buenavista, Morelos
020-04	San Ángel, Michoacán
010-04	Tonalá, Oaxaca
SN1	El Mesón, Michoacán

Metodología

La evaluación se llevó a cabo en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

Primera etapa: se identificaron las áreas donde estaban establecidos los árboles, y el conteo de estos para trazar los croquis y la ubicación con un Geoposicionador Satelital (GPS).

Segunda etapa: los materiales establecidos se caracterizaron de acuerdo con la Guía para evaluación de la distinción, homogeneidad y estabilidad: Aguacate (*P. americana*) de la UPOV.

Tercera etapa: se ratificó la caracterización agromorfológica dos veces, primero en el mes de febrero y la segunda en el mes de julio del año 2013; al término de la caracterización de la

primera fecha y con el fin de completar el estudio de este trabajo, se realizó una primera medición de los árboles, tomando como referencias, el diámetro del tallo del árbol, la altura del árbol, y el diámetro de copa, en dirección norte-sur y este-oeste, esto con la finalidad de evaluar el crecimiento del árbol.

Cuarta etapa: Las semillas de los frutos, de los genotipos seleccionados se germinaron en bolsas de plástico en condiciones de vivero. Cuando las plantas de vivero alcanzaron un estado de desarrollo adecuado se transfirieron a los HBG.

Se evaluaron las características agromorfológicas de distintos genotipos, para hacer una caracterización específica de estos. Se mencionan a continuación:

- ✓ Características de nuevos brotes de cada árbol.
- ✓ Características de hojas jóvenes y adultas; lámina foliar, peciolo y característica de la hoja
- ✓ Medición de ancho de tallo, altura de árbol, copa arbórea en dirección norte-sur y este-este.
- ✓ Caracterización de flor, fruto y semilla.

Caracterización agromorfológica

La caracterización se centró en la brotación y desarrollo vegetativo. Las guías para caracterización a seguir fueron las listas de descriptores propuestas por UPOV, además de la ayuda del manual gráfico para la descripción varietal de aguacate. A continuación, se numeran los puntos para realizar una buena descripción de las progenies establecidas *ex situ* en bancos de germoplasma:

- a) El solicitante realiza la evaluación con fines de descripción varietal, siguiendo los lineamientos establecidos en la presente guía.
- b) Cuando exista duda o controversia fundada, será la autoridad quien evalúe la variedad y los componentes hereditarios considerados en esta guía, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación decidirá cuándo, dónde y que cantidad de semilla debe ser entregada.
- c) Como mínimo, se recomienda la siguiente cantidad de material de planta: 8 varetas para injerto para ser probadas en un patrón estándar (Duke) por cada lugar de evaluación.
- d) El material vegetal debe poseer una adecuada calidad física, fisiológica y fitosanitaria.

- e) El material vegetal no debe someterse a ningún tratamiento químico, a menos que se realice bajo la supervisión de la autoridad competente. Si recibe algún tratamiento, todos los detalles deben ser indicados.
- f) Las pruebas deben llevarse a cabo bajo condiciones que aseguren un desarrollo normal y preferentemente se realizarán en un solo lugar. Si determinadas características importantes de la variedad no pueden apreciarse en el lugar, la variedad puede ser probada en algún lugar adicional. Todas las observaciones se realizan en cuatro árboles.
- g) La colección puede dividirse en grupos para facilitar la apreciación de la distinción. En primer lugar, el conjunto se dividirá en tres tipos, la mexicana, la antillana y guatemalteca.
- h) Hojas con aroma a anís y/o epicarpio del fruto delgada, y/o flores fuertemente pubescentes, y/o pedicelo cilíndrico.
- i) Epicarpio del fruto medio grueso; y/o flores menos pubescentes o casi sin pubescencia; y/o pedicelo en forma de “cabeza de clavo”, al punto de caída del fruto: Sí-->Antillana (Pollock) y No-->Guatemalteca (Nadal, Reed).
- j) Epicarpio del fruto delgado y/o flores finalmente pubescentes, y/o pedicelo adelgazándose conspicuamente del fruto al pedúnculo.
- k) Las variedades que presenten las características de más de un grupo, deben ser probadas en cada uno de los que correspondan.
- l) Las características apropiadas para el agrupamiento son aquellas que por experiencia se sabe que no varían, o que varían ligeramente dentro de una variedad, y que sus estados de variación se distribuyen uniformemente y de manera regular dentro de la colección.
- m) La experiencia en pruebas de homogeneidad y estabilidad ha mostrado que, en el caso del aguacate propagado vegetativamente, es suficiente determinar que el material de aguacate proporcionado es uniforme en los estados de las características observadas y que no se ha presentado ninguna mutación ni mezcla.
- n) Para apreciar la distinción, es esencial para los árboles bajo prueba, mantener una cosecha satisfactoria de frutos durante al menos dos periodos de crecimiento.
- o) Para apreciar distinción, homogeneidad y estabilidad, deben utilizarse las características y sus estados como se proporcionan en la Tabla de Características.
- p) El signo (+) indica que las características se ilustran por las explicaciones o dibujos. La descripción debe completarse con un dibujo del fruto en sección longitudinal.

- q) Las notas (1 al 9) que aparecen para cada estado de las diferentes características se utilizan para el procesamiento electrónico de los datos. Indicar en el paréntesis de cada descriptor el nivel que presente la variedad correspondiente.
- r) No habiendo otra indicación, todas las observaciones determinadas por medición, pesado o conteo (características cuantitativas), deben realizarse a partir de una muestra de 20 órganos típicos o partes planas.
- s) Todas las observaciones en brotes y hojas jóvenes deben realizarse sobre aquellos brotes en posición vertical ascendente de la temporada de crecimiento presente, durante el crecimiento activo (flujo). Las hojas jóvenes deben medir aproximadamente 5 cm.
- t) Todas las observaciones de la pubescencia deben hacerse con ayuda de microscopio.
- u) Si no hubiera otra indicación, todas las observaciones de la hoja deben realizarse en hojas maduras de las ramas que no tengan ningún fruto ni que muestre signos de nueva brotación. Tales observaciones deben realizarse en el tercio central de la presente estación de crecimiento.
- v) Para determinar el tipo de floración de una variedad, el promedio de las temperaturas mínimas de la noche y del día, no debe ser por debajo de los 15°C y 25°C respectivamente. Si esto es posible, indicar la temperatura al momento de la evaluación. No se debe realizar al medio día, dado que puede existir traslape de la apertura femenina y masculina. No hacer la evaluación en días nublados.
- w) Todas las observaciones en el pedicelo deben realizarse en frutos maduros (el color de cubierta de la semilla cambia de café pálido a café) El fruto maduro se define como el fruto listo para cosecha.
- x) Cuando las características de resistencia o tolerancia sean utilizadas para apreciar distinción, homogeneidad y estabilidad, las pruebas deben realizarse bajo condiciones controladas.

Resultados y discusión

Etapas fenológicas

En la fenología de los árboles se observó similitud en: la brotación, floración, formación y amarre, así como en el crecimiento y maduración de los frutos, que en su mayoría se presentaron en enero y febrero, aunque algunos árboles fueron más precoces que otros. Por otro lado, tres de las variedades no presentaron amarre de fruto, aunque florecieron primero. Los más tardíos fueron las selecciones 020-04 y 125-04, que tuvieron una brotación foliar hasta julio y su floración se presentó hasta octubre.

Crecimiento de los genotipos seleccionados

En los 19 genotipos seleccionados (árboles criollos), se observó que el árbol 012-01 sobresalió en altura al alcanzar 14 m, sin embargo, en diámetro fue superado por el árbol 020-06 con 30 cm y la copa mayor fue la del árbol AR6.4AC con mayor densidad.

Características vegetativas

En la caracterización de los genotipos evaluados, se encontró la presencia de pigmentación color rojizo (antocianinas) a amarillo (carotenoides) en los brotes jóvenes, con lenticelas purpuras a rojas, con poca presencia de brotes florales, de color blanco en el racimo de la pubescencia, el porte de la hoja al crecimiento va de erecto a horizontal en su mayoría, el pliegue de la lámina de la hoja es plano o ligeramente cóncavo de tamaño grande a pequeño y de forma lanceolada. Las hojas durante el crecimiento tienen un porte horizontal, sin embargo, existen genotipos que muestran porte vertical; además, tienen un tamaño mediano, presentan forma lanceolada, no muestran torcedura en la punta de las hojas, ondulación, pero muy débil. El relieve de la venación de la superficie se encuentra de manera deprimida en la mayoría de los genotipos, y en cuanto al aroma a anís se encuentra ausente en la mayoría de los genotipos.

Flor

Las características encontradas en la flor, fueron, pubescencia ausente, la densidad de la pubescencia del sépalo fue escasa, los nectarios estuvieron presentes y el estigma fue de

forma recta, pero este presentó diferencias en la presencia del polen. Cabe mencionar que las muestras tomadas de los árboles 007-02 y 125-04 presentaron una abundante floración, pero el amarre de frutos fue escaso.

Fruto y pedicelo

La caracterización del fruto; presentó mayor presencia de frutos lisos de tamaño medio a pequeño, la forma basal de los frutos se encontró de redonda a oblonga teniendo la longitud de diámetro mediano. Respecto a la región estilar, se encontraron de manera prominentes y deprimidas con una variación en tamaños que oscilan de grandes, medianas y pequeñas resaltando los colores verdes y amarillos, encontrándolas agrupadas en la parte inferior del fruto. Todos los frutos presentaron pedicelo con una longitud media a corta conspicuos. La mayoría presentaron el mismo diámetro comparado con el pedúnculo: teniendo cavidades estrechas a anchas, con posición a lo largo de la axila; cilíndricos, con forma de cabeza de clavo, de color verde a verde-amarillo y con superficie de lisa a rugosa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características agromorfológicas del fruto de 19 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Uruapan, Michoacán.

Genotipo	Ancho de la capa coloreada de pulpa cerca de la piel	Conspicuidad de las fibras en la pulpa	Textura de la pulpa	Firmeza de la pulpa	Aroma de anís de la pulpa	Amargor de la pulpa	Ubicación de la semilla en la cavidad
SR AA	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
AQ2 AA	Estrecha	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Libre
TEC1 AA	Media	Conspicua	Suave	Débil	Ausente	Ausente	Apretada
TIM1 AB	Amplia	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
TIAN1 AA	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
TIAN2 AA	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
AR6.2 AC	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
AR6.4 AC	Media	Conspicua	Suave	Débil	Ausente	Ausente	Apretada
078-02 AA	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada

Genotipo	Ancho de la capa coloreada de pulpa cerca de la piel	Conspicuidad de las fibras en la pulpa	Textura de la pulpa	Firmeza de la pulpa	Aroma de anís de la pulpa	Amargor de la pulpa	Ubicación de la semilla en la cavidad
124-06 AB	Media	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
63 -01 AC	Media	Conspicua	Suave	Débil	Presente	Ausente	Apretada
H.S.C.-AR	Media	Conspicua	Granulosa	Fuerte	Ausente	Ausente	Libre
032-02	Media	Conspicua	Suave	Débil	Ausente	Ausente	Apretada
021-02	Estrecha	Insconspicuo	Granulosa	Fuerte	Ausente	Ausente	Apretada
020-06	Estrecha	Conspicua	Suave	Media	Ausente	Ausente	Apretada
109-02	Estrecha	Conspicua	Suave	Débil	Ausente	Ausente	Apretada
020-04	Estrecha	Insconspicuo	Granulosa	Fuerte	Presente	Ausente	Apretada
010-04	Media	Insconspicuo	Granulosa	Fuerte	Presente	Ausente	Apretada
SN1	Media	Conspicua	Suave	Fuerte	Ausente	Ausente	Libre

Fruto maduro

Entre las características del fruto maduro, tomando en cuenta la similitud, la mayoría; presentaron color de la piel de verde a púrpura con espesor de esta delgada a muy delgada, con textura corchosa, adherencia de la piel a la pulpa de fuerte a media, con colores de crema a verde pálido, textura de la pulpa suave con firmeza débil, con fibras conspicuas, ausencia de olor a anís, amargor ausente y semilla apretada.

Semilla, cotiledón

Dentro de las características del cotiledón se encontraron tamaños de mediano a grande con forma longitudinal ovada. La sección transversal circular, muchos sin poliembrionía, la adherencia de la cubierta de la semilla se presenta en la pulpa y lisa.

Características del fruto en madurez fisiológica

Las características de los frutos cosechados mostraron gran diversidad en cada uno de los frutos (Figura 1).



Figura 1. Etapas fenológicas: (A) brotación foliar, (B) floración, (C) formación y amarre, (D) crecimiento del fruto, (E) maduración, y (F) cosecha.

El fruto del Segregante Rincón (SR) fue el de mayor tamaño en cuanto a diámetro tanto polar (12.90 cm), como ecuatorial (6.40 cm); el mediano fue el HSC-AR (7.80 cm) y el 020-04 (4.60 cm), al final de estos, se encuentran los frutos de 010-04 (6.40 cm) y 078-02AA (8.00 cm), respectivamente, en la relación de estas dos características mencionadas, sobresalió Tianchinol 1 (TIAN1); no obstante, cabe mencionar, que algunas de estas presentan una relación baja.

De acuerdo con el peso del fruto sobresalió 630-01AC con un valor de 320.18 g y como mínima se encuentra el fruto de 020-04 (73 g). El tamaño de la semilla del fruto de 124-06 AB fue el mayor (77.60 g) y el mínimo fue el de HSC-AR (19 g); sin embargo, estos al ser pesados, su resultado fue poco variable; ya que, al pesar la semilla, el fruto de la variedad 630-01 que presentó una semilla demasiado grande y no cuenta con mucha pulpa, y el de HSC-AR, presenta semilla de menor tamaño y poca pulpa.

El fruto del Segregante Rincón (SR), fue el que presentó la mayor cantidad de pulpa en relación con el tamaño del fruto. El fruto de 109-02, fue el mejor equilibrado en el peso de la pulpa y la semilla. En el porcentaje de la materia seca (%MS), el fruto del Aquismon 2 (AQ2) presentó el mayor porcentaje. El mínimo lo tuvo el fruto de 020-06, y de acuerdo con lo establecido y requerido de materia seca, no todos los frutos cumplieron con este requisito, ya que presentaron un porcentaje por bajo.

Días de madurez fisiológica a madurez de consumo

Se evaluó el fruto desde la cosecha, en madurez fisiológica, hasta la etapa de madurez de consumo. El menor número de días lo presentaron los genotipos TIAN1 AA y TIAN2 AA, que fue de 5 días y el mayor de 10 días por H.S.C.-AR. De acuerdo con el peso del fruto sobresalió con un mayor volumen el Segregante Rincón (SR) dejando por debajo H.S.C.-AR. Con respecto al tamaño de la semilla del fruto, 124-06 presentó la más alargada y Segregante Rincón (SR) la más amplia. El peso de la pulpa, Segregante Rincón (SR) presentó más cantidad de pulpa (273.10 g), y la de menor H.S.C.-AR (68 g). En cuanto al peso de la semilla, AR6.4 AC tuvo el mayor peso (68.65 g) y 020-04 tuvo el mínimo (19 g). Segregante Rincón (SR) fue el de mayor porcentaje del peso del fruto (276 g) y el de menor fue el genotipo 020-04 con 83 g, la relación del peso de fruto y el peso de la semilla, el de mayor relación fue Segregante Rincón (SR); conforme al porcentaje de materia seca (%MS), Aquismon2 (AQ2), superó lo establecido con 38-% y requerido; todos los demás frutos presentaron un porcentaje menor (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características del fruto en madurez de consumo de los 19 genotipos de aguacate.

Variedad	DPF	DEF	R. PF./ DEF	DPS	DES	PF	PP	PS	% PF	R. PS/PF	MS%
SR AA	13.00	5.70	2.28	2.40	4.60	276.60	235.50	41.10	85.14	0.15	26.00
AQ2 AA	8.35	5.50	1.52	4.40	3.70	198.35	132.45	65.90	66.78	0.33	38.00
TEC1 AA	7.05	4.85	1.45	3.10	2.45	131.10	99.15	31.95	75.63	0.24	33.00
TIM1 AB	8.40	5.70	1.47	3.45	3.30	199.90	153.25	46.65	76.66	0.23	34.50
TIAN1 AA	9.18	4.48	2.05	4.23	3.33	120.38	75.23	45.15	62.49	0.38	23.00
TIAN2 AA	9.33	4.57	2.04	4.30	3.20	125.23	75.97	49.27	60.66	0.39	23.50
AR6.2 AC	7.80	5.45	1.43	3.90	3.25	189.00	136.75	52.25	72.35	0.28	31.00
AR6.4 AC	6.75	5.10	1.32	4.15	3.85	153.50	84.85	68.65	55.28	0.45	31.50
078-02 AA	25.83	3.63	7.12	4.13	2.08	82.03	58.70	23.33	71.56	0.28	26.50
124-06 AB	13.05	5.05	2.58	5.95	2.78	228.13	180.35	47.78	79.06	0.21	34.00
63 -01 AC	8.18	5.03	1.63	4.35	3.50	169.95	108.33	61.63	63.74	0.36	30.00

Variedad	DPF	DEF	R. PF./ DEF	DPS	DES	PF	PP	PS	% PF	R. PS/PF	MS%
H.S.C.-AR	9.10	5.90	1.54	4.50	3.30	76.00	50.00	26.00	65.79	0.34	26.00
032-02	6.40	5.80	1.10	4.20	4.20	194.00	142.00	52.00	73.20	0.27	24.00
021-02	6.50	5.00	1.30	4.20	3.30	177.00	146.00	31.00	82.49	0.18	21.50
020-06	6.80	5.90	1.15	4.30	4.40	143.00	89.00	54.00	62.24	0.38	33.50
109-02	4.90	4.30	1.14	3.50	3.40	87.00	61.00	26.00	70.11	0.30	29.50
020-04	8.20	5.20	1.58	4.80	3.40	83.00	64.00	19.00	77.11	0.23	30.00
010-04	5.00	5.00	1.00	3.30	3.50	95.00	72.00	23.00	75.79	0.24	28.50
SN1	7.50	5.20	1.44	4.30	3.30	116.00	73.00	43.00	62.93	0.37	33.50

Dónde: R.= Relación, DPF= Diámetro polar del fruto, DEF= Diámetro ecuatorial del fruto, PF= Peso del fruto, PS= Peso de semilla, DPS= Diámetro polar de semilla, DES= Diámetro ecuatorial de semilla, PP= Peso de pulpa, MS= Materia seca.

Germinación de la semilla

La mayoría de las semillas germinaron en el mismo periodo de entre 30 a 33 días, a excepción de 4; de los cuales dos no germinaron por completo. Las semillas más tardadas en germinar fueron las de 020-04 y SN.

Conclusiones

Los genotipos AQ2 AA, TIAN1 AA, TIAN2 AA, SN1, pueden ser empleados para la propagación en viveros ya que su semilla cuenta con precocidad en su germinación. La mayoría de los genotipos mostraron frutos con coloración negra en madurez de consumo y en menor proporción en verde. Los genotipos de esta investigación, en su mayoría son achaparrados, a excepción del genotipo 012-01. Se observó una gran variabilidad genética; donde se mostraron características agromorfológicas diferentes, y pueden ser utilizados en los programas de mejoramiento genético.

Literatura citada

- Bernal, A. y C. Díaz. 2008. Tecnología para el cultivo del Aguacate. Manual técnico 5. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rio Negro, Colombia. 241 p.
- Bower, J. P., & Cutting, J. G. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Horticultural Reviews*, 10, 229-271.
- Teliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado 1ra Ed. Coordinador Editorial Daniel Téliz, Mundi – Prensa, México D. F. México. 231p.
- UPOV. 2006. Avocado (*Persea americana* Mill). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity, and stability. Enlarged Editorial Committee, Geneva, Switzerland.
- Villanueva, M. and Verti, S. 2007. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del aguacate) 2007. Viña del mar, Chile 12 – 16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- Wolstenholme, B. & A. Whiley. 1999. Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for pre-harvest management. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5, 77-88.

ABONOS VERDES Y BOKASHI, UNA ALTERNATIVA PARA REEMPLAZAR A LOS FERTILIZANTES INORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Nain Peralta Antonio^{47*}, Luisa Alondra Osorio Magdalena⁴⁸, Raquel Ramírez García⁴⁸, Andrés Rebolledo Martínez⁴⁷, María Enriqueta López Vázquez⁴⁷ y Rosa Laura Rebolledo García⁴⁷

Resumen

El abono orgánico bokashi (BOK), los abonos verdes, los microorganismos eficientes autóctonos (MEA) y la inoculación de semillas con hongos micorrícicos arbusculares (MI) son alternativas potenciales para sustituir a los fertilizantes inorgánicos (FI) en la producción de maíz. El objetivo del estudio fue determinar la producción de forraje, elote y grano del maíz en función del uso del BOK y diferentes especies de abonos verdes (CROJUN - *Crotalaria juncea*, CAJCAJ - *Canavalia ensiformis* y CANENS - *Cajanus cajan*) utilizados de forma exclusiva o en conjunto con MEA y MI, con la finalidad de identificar las mejores alternativas para sustituir a los FI en la producción de maíz, en condiciones de temporal, en la región costera central de Veracruz. Se inició con la siembra de las tres especies de abonos verdes, 56 días posteriores a la siembra, se cortó e incorporó la biomasa vegetal. En la misma área se sembró maíz H-520, que se fertilizó con: 28 t/ha de BOK combinado con MEA y MI (BOK+MEA+MI); MEA+MI combinado con abonos verdes (CAJCAJ+MEA+MI, CANENS+MEA+MI, CROJUN+MEA+MI); 100 y 50% de la FI 62-00-00 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O (FI100 y FI50) y un tratamiento sin fertilizar. Se detectó diferencias estadísticas en la cantidad de biomasa producidas por las diferentes leguminosas (CROJUN superó a CAJCAJ), asimismo, los tratamientos de fertilización tuvieron diferentes efectos en la producción de forraje, características y rendimientos del elote, así como el rendimiento de totomoxtle, olote y granos, sobresaliendo BOK+MEA+MI, CROJUN y CANENS. Se concluye que, en la región costera central de Veracruz, en condiciones de temporal, el BOK combinado con MEA y MI, así como los abonos verdes *C. juncea* y *C. ensiformis* con una producción de biomasa de 2.1 o 6.3 t/ha junto con la biomasa de las arvenses locales, son alternativas agroecológicas que pueden promover rendimientos de forraje, elote y de grano del maíz H-520 similares o mayores al que se obtiene con la FI.

Palabras clave: elote, forraje, nitrógeno, *Rhizophagus intraradices*, *Zea mays*

⁴⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 91700, México. *peralta.nain@inifap.gob.mx; peraltanain@gmail.com

⁴⁸ Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Desviación Lindero Tametate S/N, La Morita, 92100 Tantoyuca, Ver.

Introducción

El maíz, es el principal cultivo agrícola de México, de los 20 millones de hectáreas agrícolas, 6.4 millones se destinan a la producción de grano y 0.5 millones para forraje. A nivel nacional, Veracruz es el segundo productor de maíz de grano (598,902 ha). El rendimiento promedio nacional de grano es de 4.3 t/ha, mientras que el de Veracruz es de 2.3 t/ha (SIAP, 2023). En cuanto al forraje, Jalisco posee la mayor superficie sembrada con 205,866 ha, mientras que en Veracruz solo se reporta una superficie de 2,228 ha. El rendimiento promedio de forraje en estos estados es de 23 y 20 t/ha, inferiores al rendimiento promedio nacional que es de 34 t/ha. A nivel nacional el 69% se produce en condiciones de temporal y el resto en terrenos con riego (SIAP, 2023). Actualmente, el maíz se produce principalmente a través de un sistema convencional que incluye el uso de agroquímicos y fertilizantes inorgánicos (FI). En Veracruz se ha reportado que por cada tonelada de grano producido la planta extrae 27, 11 y 23 kg de nitrógeno (N), fósforo (en la forma de P_2O_5) y potasio (en la forma de K_2O), respectivamente (Vásquez *et al.*, 2014). Estas necesidades nutrimentales en algunas regiones se pueden cubrir con los nutrientes presentes en el suelo, como es caso de potasio (K), mientras que otros se deben suministrar a través de una fuente exógena, como es el caso del N y el fósforo (P). Algunas dosis de fertilización reportadas para el estado de Veracruz son 156-46-30 y 129-23-23 kg/ha de N-P-K (Palafox-Caballero *et al.*, 2005; Capetillo-Burela *et al.*, 2021).

La producción de alimentos vegetales mediante un sistema agroecológico es una necesidad para la sociedad actual, por lo tanto, es necesario mejorar las tecnologías enfocadas a la nutrición de los cultivos agrícolas. Entre las alternativas que existe actualmente para sustituir a los FI en el cultivo de maíz están, el uso del abono orgánico bokashi (BOK), los abonos verdes (AV), los microorganismos eficientes autóctonos (MEA) y los hongos micorrícicos arbusculares (MI). El BOK, es un abono que permite aprovechar residuos vegetales, estiércoles y minerales de la región, no hay una receta única, por lo tanto, la cantidad de nutrientes que puede suministrar al suelo cambiará en cada unidad de producción. La tecnología de AV consiste en utilizar plantas (principalmente leguminosas) como una fuente exógena de N. Las leguminosas forman simbiosis con bacterias fijadoras de N, el N fijado es cedido a las plantas de leguminosas, una vez que dichas plantas se cortan y se depositan el suelo, inicia el proceso de mineralización, en ese momento, los nutrientes quedan disponibles

para ser aprovechados por el cultivo agrícola de interés (Matías-Ramos *et al.*, 2023). Tanto el efecto del BOK como de los AV dependen de la cantidad de nutrientes que suministren al suelo y la sincronía que exista entre la liberación de nutrientes y la demanda nutrimental del cultivo agrícola (Waththier *et al.*, 2023). Los MEA y las MI son microorganismos vivos que ayudan principalmente a que la planta tolere estrés bióticos y abióticos por la producción de metabolitos secundarios y extensión del sistema radicular, asimismo, contribuyen en el proceso de mineralización de los residuos orgánicos lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Gómez-Leyva *et al.*, 2023; Oberholzer *et al.*, 2024). El efecto de las alternativas de nutrición agroecológicas está directamente relacionado con el comportamiento del clima y para condiciones de temporal el principal factor es la lluvia. La disponibilidad de agua afectará el proceso de mineralización y el transporte de nutrientes, por lo tanto, la producción en condiciones de temporal aún es un reto que enfrenta el cultivo de maíz, ya que cerca del 70% de la producción se realiza en esta situación. El objetivo del estudio fue determinar la producción de forraje, elote y grano del maíz en función del uso del BOK y diferentes especies de AV aplicados en conjunto con MEA y MI, con la finalidad de identificar las mejores alternativas para sustituir a los FI en la producción de maíz, bajo condiciones de temporal, en la región costera central de Veracruz. La hipótesis inicial es que se detectará al menos una alternativa agroecológica que permita sustituir en un 100% a los FI en el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se desarrolló en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, México (18° 49' 59" N; 96° 22' 59" W). El suelo utilizado presentó un pH de 5.62, con 2.88% de materia orgánica, de textura franca (11, 41 y 48% de arcilla, arena y limo). La concentración química del suelo de N (nitrógeno), P- PO_4^- , S- SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^+ y B^{3+} fue de 106.6, 60.0, 20.0, 680.0, 1990.0, 510.0, 45.3,

4.6, 5.3, 18.6 y 0.52 ppm, respectivamente. Se realizó el registro de temperatura y precipitación durante el periodo del experimento (Figura 1).

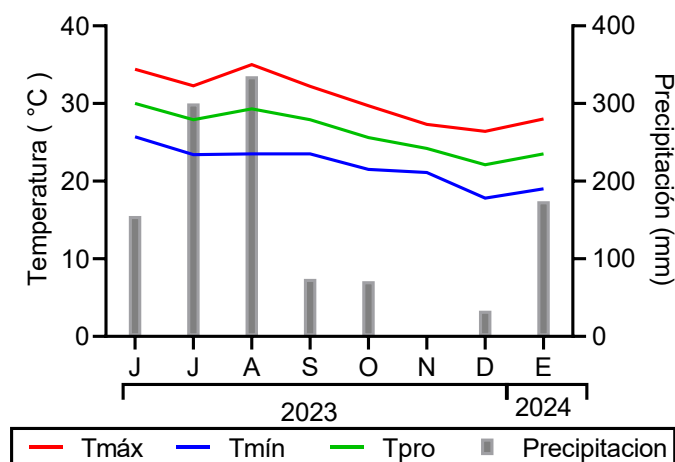


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (Tpro) y la precipitación de junio 2023 a enero 2024, en Medellín, Veracruz.

Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos de fertilización consistieron en el uso exclusivo de tres especies de AV: *Cajanus cajan* (CAJCAJ), *Canavalia ensiformis* (CANENS) y *Crotalaria juncea* (CROJUN); los abonos verdes aplicados en conjunto con MEA y semillas inoculadas con la MI *Rhizophagus intraradices* (40 esporas/g) (CAJCAJ+MEA+MI, CANENS+MEA+MI y CROJUN+MEA+MI); el BOK combinado con MEA y MI (BOK+MEA+MI); FI aplicado al 100 y 50% de la dosis recomendada (FI100 y FI50). Asimismo, se incluyó un tratamiento sin fertilización (Testigo). Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones. La unidad experimental constó de 15 surcos de 6 metros lineales.

La dosis de FI se estimó mediante el método racional (Mata *et al.*, 2015). El rendimiento meta fue 9 t/ha, por cada tonelada de grano, se consideró una extracción de 27, 11 y 23 kg de N, P₂O₅ y K₂O (Vásquez *et al.*, 2014), equivalente a un requerimiento de 243, 103 y 206 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O. Considerando una densidad aparente de 1 g/cm³ y una profundidad 20 cm, se estimó en el suelo una disponibilidad de 212, 275 y 1638 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O,

respectivamente. Por lo anterior, la fertilización inorgánica solo incluyó la aplicación de N, con una eficiencia relativa del 50%. El 100 y 50% de dosis correspondió a 62 y 31 kg/ha de N.

Establecimiento de abonos verdes

Al iniciar la temporada de lluvia, se realizó la preparación del suelo mediante un chapeo mecánico, dos pasos de rastra y el surcado. La distancia entre surcos fue de 0.8 m. De *C. juncea* y *C. cajan* se utilizó 4 gramos de semilla por metro lineal (50 kg/ha). Para el caso de *C. ensiformis* se utilizaron 10 semillas por metro lineal (125 kg/ha). Las tres especies de AV se sembraron en la misma fecha (16/06/2023). No se realizó ningún control de plagas, enfermedades o arvenses. El riego de los AV dependió exclusivamente de la lluvia. El corte de biomasa vegetal (leguminosas y arvenses locales) se realizó 56 días posteriores a la siembra (11/08/2023) utilizando una chapeadora mecánica.

Biomasa de leguminosa

Al momento del corte de los AV, en cada unidad experimental, se establecieron cuadrantes de 2 m², donde se registró el peso fresco y peso seco de la biomasa de los diferentes AV y de las arvenses presentes. Para determinar la biomasa seca, se tomaron muestras representativas de los AV y de las arvenses que se secaron en estufa de aire forzado (a 70°C) hasta alcanzar un peso constante. Con los datos de los AV y las arvenses se estimó la cantidad de biomasa vegetal producido por hectárea.

Establecimiento de maíz

Siete días después del corte de biomasa vegetal se inició la preparación del suelo para la siembra del maíz. La preparación de suelo consistió en seis pasos de rastra, con la finalidad de triturar e incorporar los residuos vegetales en los primeros 20 cm del suelo. Se permitió un periodo de 20 días de reposo, y posteriormente se realizaron otros dos pasos de rastra, y se procedió al surcado del terreno. La distancia entre surcos fue de 0.8 m. Se utilizó el maíz híbrido H-520. La densidad de plantación del maíz fue de 50,000 plantas/ha (distancia entre plantas 0.25 m). La siembra se realizó el 14/09/2023. En la etapa vegetativa y al inicio de la floración del maíz se realizaron dos riegos rodados auxiliares, que correspondieron a los 12 y

51 días posteriores a la siembra del maíz (DPS). El control de plagas lepidópteras se realizó mediante una aplicación del ingrediente activo cipermetrina en dosis comercial, a los 20 DPS.

Fertilización del maíz

La FI100 y FI50 se aplicaron de forma líquida, se dividió en tres aplicaciones, con un consumo de agua de 400 L/ha por aplicación. En cada aplicación se consideró 1 o 0.5 g de urea (46% de N) por planta, diluido en aproximadamente 8 mL de agua. La primera, segunda y tercera aplicación de fertilizante foliar se realizó a los 15, 25 y 35 DPS.

El BOK se elaboró (el 11/02/2023) utilizando gallinaza, estiércol vacuno, pasto pangola, tierra y arena, en proporción 2:2:2:1:1 (volumen/volumen). Los materiales se humedecieron con una mezcla de melaza y agua (melaza al 10%). Las características del BOK fueron las siguientes: 19.52 y 11.32% de materia orgánica y C, respectivamente; pH de 6.61; relación C/N de 12.58; 0.9, 1.17, 0.84, 2.67, 0.68, 0.95, 0.03, 0.00, 0.05 y 0.03% de N total, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Fe²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ y B²⁺, respectivamente. La cantidad de BOK se definió con base en su concentración de N y su eficiencia de fertilización. Se consideró una eficiencia de 25%. Para suministrar los 62 kg/ha de N, se aplicó un equivalente a 28 t/ha de bokashi en peso seco. El BOK se aplicó en una sola ocasión, a los cinco días posteriores a la germinación, a cada planta le correspondió 551 g en peso seco. El BOK se incorporó al suelo al momento en que se realizó el aporque, con un implemento agrícola.

Los MEA utilizados se elaboraron de forma artesanal, siguiendo las recomendaciones de Rebolledo *et al.* (2012), mediante fermentación anaeróbica facultativa. Para la elaboración de los MEA se capturaron microorganismos de residuos de malezas locales, específicamente de las especies de gramíneas de la región. Por cada 150 L de agua se utilizaron los siguientes insumos: melaza (15 L), residuos de maleza en descomposición con presencia de microorganismos degradadores (2 kg), harina de maíz (2 kg), salvadillo de trigo (2 kg) y carbón (0.5 kg). Para los tratamientos que incluyeron a la aplicación de MEA, se utilizó una concentración del 5%, a cada planta se le aplicó alrededor de 8 mL de la solución, equivalente a un total de 400 L/ha. La frecuencia de aplicación fue cada 10 días, iniciando a los cinco días después de la germinación y concluyendo en la etapa de floración (en total 5 aplicaciones).

Producción de elote y forraje de maíz

A los 82 días DPS, en cada unidad experimental se estimó la densidad de plantas por hectárea (número de plantas en 5 m), biomasa fresca de forraje (peso de la parte aérea del maíz en 5 m), peso fresco de hojas, tallo y elote con totomoxtle. Para determinar la calidad del elote se midió el diámetro y peso fresco de elote con totomoxtle, longitud de elote, número de hileras de granos y se estimó el rendimiento de elote por hectárea. Se tomaron muestras representativas de cada órgano de la planta de maíz, se llevó a una estufa de aire forzado a 70°C hasta llegar a peso constante. Con esos datos se estimó el peso seco de forraje del maíz.

Rendimiento de maíz

Cuando el maíz alcanzó su madurez fisiológica, se realizó la cosecha de granos (a los 152 DPS). De cada unidad experimental, en 13 m se contabilizó el número de planta y número de mazorcas por planta. En 26 mazorcas se registró el peso de mazorca con totomoxtle, peso de mazorca sin totomoxtle, peso de totomoxtle, peso de elote y peso de grano.

Análisis de datos

Para comparar el efecto de los tratamientos se realizó un análisis de varianza y análisis de comparación medias de Tukey, ambos con un 95% de probabilidad ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En cuanto a los AV, la materia seca de CROJUN fue similar a la de CANENS+ME+MI y CROJUN+ME+MI, pero superior a los otros. Se detectó similar materia seca de malezas y materia seca total entre tratamientos (Cuadro 2). En cuanto al maíz, el rendimiento de forraje verde y forraje seco detectado con BOK+MEA+MI fue similar al de CANENS, CROJUN, CANENS+MEA+MI y CROJUN+MEA+MI, pero superior al de CAJCAJ (Cuadro 2). Un menor peso fresco, diámetro, longitud y rendimiento de elote se detectó con CAJCAJ en comparación con CANENS, CROJUN y BOK+MEA+MI (Cuadro 3).

Cuadro 2. Producción de materia seca (MS) de leguminosas y maleza y rendimiento de forraje verde y seco de maíz de diferentes tratamientos de nutrición en Medellín, Veracruz.

Tratamientos	MS de leguminosa (t/ha)	de MS maleza (t/ha)	de MS (leguminosa + malezas) (t/ha)	total Rendimiento de forraje verde de maíz (t/ha)	Rendimiento de forraje seco de maíz (t/ha)
1. CAJCAJ	0.8 b	7.2 a	8.0 a	20 c	6 c
2. CANENS	2.1 b	6.7 a	8.8 a	35 a	10 ab
3. CROJUN	6.3 a	5.8 a	12.1 a	31 ab	8 abc
4. CAJCAJ+MEA+MI	0.8 b	8.6 a	9.4 a	23 bc	7 bc
5. CANENS+MEA+MI	2.4 ab	6.9 a	9.3 a	28 abc	8 abc
6. CROJUN+MEA+MI	4.8 ab	4.0 a	8.8 a	29 abc	8 abc
7. BOK+MEA+MI	-	6.5 a	6.5 a	34 a	11 a
8. FI100	-	5.2 a	5.2 a	24 abc	7 bc
9. FI50	-	8.7 a	8.7 a	23 bc	7 bc
10. Testigo	-	7.2 a	7.2 a	26 abc	8 abc
C.V.	80.51	52.34	46.03	31.53	32.09

C.V. - Coeficiente de variación. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$).

CAJCAJ: *Cajanus cajan*, CANENS: *Canavalia ensiformis*; CROJUN: *Crotalaria juncea*; BOKA: abono orgánico bokashi; F: fertilizantes minerales; MEA: Microorganismos Eficientes Autóctos, y MI: hongos micorrízicos arbusculares.

Al momento de la cosecha del maíz, el rendimiento de totomoxtle de CROJUN+MEA+MI fue superior a la FI50. El rendimiento de olote y de grano obtenido con BOK+MEA+MI fue similar al de CROJUN y CROJUN+MEA+MI, pero superior al resto de tratamientos (Cuadro 3).

Los máximos rendimientos de forraje que se alcanzaron con CANENS, BOK+MEA+MI, CROJUN, CROJUN+MEA+MI y CAJCAJ+MEA+MI (35, 34, 31, 29 y 28 t/ha, respectivamente) son similares o incluso superiores a los 22 - 30 t/ha reportado por Sánchez *et al.* (2013; 2019) utilizando la misma densidad de plantación (50,000 plantas/ha) y la misma variedad (H-520), con la dosis de fertilización 161-46-00 kg/ha de N-P-K. En cuanto al elote, Ortiz-Torres *et al.*

(2013) y Fernández (2015) reportan que las características deseables son un peso entre 370 a 480 g, rendimientos de entre 14 y 18 t/ha, diámetros de 5 cm y longitud de 18 a 20 cm, con 15 a 18 hileras de grano, estos valores se reportan para variedades eloterar como V-525 y A7573.

Cuadro 3. Características del elote y rendimiento de elote, totomoxtle, olote y grano del maíz H-520 en función de diferentes tratamientos de nutrición en Medellín, Veracruz.

Tratamientos	Peso fresco de elote con totomoxtle (g)	Diámetro del elote con totomoxtle (cm)	Longitud del elote (cm)	Número de hileras de grano del elote	Rendimiento t/ha			
					Elote	Totomoxtle	Olote	Grano
1. CAJCAJ	128 c	3.8 b	13 b	12 a	7 b	0.7 ab	0.6 d	3.3 d
2. CANENS	218 a	4.9 a	16 a	12 a	12 a	0.7 ab	0.8 bcd	4.1 bc
3. CROJUN	221 ab	5.0 a	16 a	13 a	11 a	0.8 ab	0.9 ab	4.7 ab
4. CAJCAJ+ME+MI	173 abc	4.5 a	14 ab	13 a	9 ab	0.7 ab	0.8 bcd	3.8 cd
5. CANENS+ME+MI	191 abc	4.6 a	14 ab	13 a	10 ab	0.8 ab	0.8 bcd	4.0 bc
6. CROJUN+ME+MI	216 ab	4.9 a	15 ab	12 a	11 a	0.9 a	0.8 bcd	4.4 abc
7. BOK+MEA+MI	238 a	5.0 a	16 a	13 a	13 a	0.8 ab	1.0 a	5.0 a
8. FI100	169 bc	4.4 ab	14 ab	13 a	9 ab	0.7 ab	0.7 cd	3.3 d
9. FI50	168 bc	4.4 ab	14 ab	12 a	9 ab	0.6 b	0.6 d	3.3 d
10. Testigo	180 abc	4.5 a	15 ab	12 a	9 ab	0.8 ab	0.7 cd	3.6 d
11. C.V.	27.57	12.17	13.18	12.98	33.53	60.14	33.60	37.35

C.V.- Coeficiente de variación. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$).

CAJCAJ: *Cajanus cajan*, CANENS: *Canavalia ensiformis*; CROJUN: *Crotalaria juncea*; BOKA: abono orgánico bokashi; F: fertilizantes minerales; MEA: Microorganismos Eficientes Autóctos, y MI: hongos micorrízicos arbusculares.

En este estudio ningún tratamiento logró alcanzar los parámetros deseados y se atribuye a la variedad utilizada, ya que, por genética, el tamaño del elote del H-520 es menor en comparación con las variedades eloterar (Ortiz-Torres *et al.*, 2013; Fernández, 2015). En cuanto al rendimiento de granos, los máximos valores detectados en este estudio (4.4 – 5.0

t/ha) con la aplicación de BOK+MEA+MI, CROJUN, CROJUN+ME+MI, CANENS y CANENS+ME+MI, son superiores a los 4.28 y 2.29 t/ha de rendimiento promedio a nivel nacional y del estado de Veracruz, pero si concuerda con el rendimiento promedio del Distrito de Veracruz (5.4 t/ha), donde la producción es mediante un sistema convencional que incluye el uso de fertilizantes minerales (SIAP, 2023).

En esta investigación, los abonos verdes, el BOK, los MEA y las MI fueron alternativas utilizadas para una nutrición agroecológica del maíz. De acuerdo con los resultados, la combinación del BOK con MEA y MI promovieron los mejores efectos desde que, las 34 y 11 t/ha de forraje verde y forraje seco superaron o fueron similares a los obtenidos con la fertilización mineral (23 – 24 y 7 t/ha de forraje verde y seco, respectivamente); de igual forma, promovieron elotes de mayor peso (238 g) y dimensión (5 y 16 cm de diámetro y longitud), en consecuencia, alcanzaron el mayor rendimiento de elote y de grano por hectárea (13 y 5 t/ha, respectivamente). El mejor efecto del BOK se atribuye a que fue el tratamiento que suministró la mayor cantidad y diversidad de nutrientes al suelo. Con las 28 t/ha se suministró al suelo alrededor de 4888, 2830, 225, 293, 210, 668, 170, 238, 13, 8 y 8 kg/ha de materia orgánica, C, N total, P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y B^{2+} , respectivamente. Con estas cantidades, en los primeros 20 cm del suelo, se espera un incremento de un 0.24% en el nivel de materia orgánica, además de un incremento en la capacidad de intercambio catiónico. Mejorar estas dos características del suelo tiene un impacto positivo en la eficiencia nutrimental ya que, asegura una mayor retención de humedad y aumenta la capacidad del suelo para retener los nutrientes en la zona de la rizósfera (Martins Neto *et al.*, 2020). A pesar de estas ventajas agronómicas del BOK, es importante mencionar que esta alternativa también tiene limitaciones que deben ser considerado por el productor. La primera limitación es la elevada cantidad de insumo que se requiere por hectárea y por ciclo de producción. En este estudio, durante el proceso de la elaboración del BOK, se estimó un costo aproximado de \$1,150.00 MXN por tonelada, considerando las 28 t/ha utilizadas, esto representa una inversión de \$32,000.00 MXN. A esta inversión de la elaboración, se le debe sumar el costo de transporte y de aplicación del insumo. Por lo anterior, esta tecnología se recomienda para productores de pequeña escala, que producen menos de una hectárea. También se recomienda a productores o empresas ganaderas que disponen de excedentes de estiércol y otros recursos vegetales y minerales, para que elaboren su propio insumo y lo utilicen en la producción de forraje.

Los abonos verdes también tienen potencial para favorecer la nutrición agroecológica del maíz. El efecto positivo de un abono verde aumenta a medida que se incrementa la cantidad de biomasa vegetal producida por hectárea y cuando hay sincronía entre la liberación de nutrientes al suelo y la demanda nutrimental del cultivo (Watthier *et al.*, 2023). Para este estudio, los resultados indican que, en la región costera central de Veracruz, la *C. juncea* y la *C. ensiformis* son abonos verdes promisorios para ser utilizado en condiciones de temporal. Considerando la producción de forraje verde, forraje seco, rendimiento de elote y rendimiento de grano, la *C. juncea* aplicado solo o en conjunto con MEA y MI, alcanzó valores de 29 - 31, 8, 11 y 4.4 - 4.7 t/ha; en el caso de *C. ensiformis*, aplicado solo o en conjunto con MEA y MI, los valores fueron de 28 - 35, 8 - 10, 10 - 12 y 4.0 - 4.1 t/ha, respectivamente. Los valores alcanzados con estos abonos verdes fueron estadísticamente similares a los que se alcanzó con el BOK y específicamente para la producción de grano, fueron superiores al que se obtuvo con los FI y plantas sin fertilizar. Un mejor efecto de *C. juncea* y *C. ensiformis* se atribuye a su mayor capacidad crecimiento. En orden descendente, la cantidad de biomasa vegetal total suministrada fue de 8.8 - 12.1, 8.8 - 9.3 y 8.0 - 9.4 t/ha con *C. juncea*, *C. ensiformis* y *C. cajan*. La biomasa vegetal total producida en las diferentes áreas no presentó diferencias estadísticas, por lo tanto, los diferentes efectos promovidos por los abonos verdes se atribuyen principalmente a la cantidad de biomasa producida por cada leguminosa. Es importante mencionar que las malezas consistieron principalmente de especies no leguminosas, sobresaliendo las gramíneas como el *Sorghum halepense* y *Cyperus rotundus* las cuales son característicos de regiones tropicales de México (González-Elizondo *et al.* 2018; Herrera Solano *et al.* 2023). Al no pertenecer a la familia de las leguminosas, el principal aporte de las malezas fue el suministró de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Por lo tanto, el único nutriente exógeno fue el N suministrado a través de la biomasa de las leguminosas. Tomando en cuenta que la cantidad de N suministrado al suelo depende de la cantidad de biomasa producida (Watthier *et al.*, 2023), en orden descendente, el aporte de N fue *C. juncea* > *C. ensiformis* > *C. cajan*, ya que, la biomasa producida fue de 4.8 - 6.3, 2.1 - 2.4 y 0.8 t/ha, respectivamente. Para la misma región geográfica, Ávila-Escobedo *et al.* (2022) reporta que, por cada tonelada de biomasa seca producida por *C. juncea*, *C. ensiformis* y *C. cajan* se suministra al suelo 18.3 - 18.4, 24.7 - 26.1 y 14.9 - 15.1 kg de N, por lo tanto, para este estudio se estima un aporte de 88 - 116, 52 - 63 y 11.9 - 12.1 kg/ha, respectivamente.

La sincronía entre la liberación de nutrientes y la demanda del cultivo agrícola depende principalmente de la relación C/N de los residuos orgánicos y el comportamiento del clima. Una menor relación C/N significa mayor velocidad de mineralización (Wattthier *et al.*, 2022). De los diferentes residuos orgánicos utilizados, la menor relación C/N fue 12.6 y correspondió al BOK; por otra parte, para *C. juncea*, *C. ensiformis* y *C. cajan*, en la misma región de estudio se detectó una relación C/N de 21.6 – 24.3, 17.0 - 18.0 y 31.7 - 33.7, a los 75 – 89, 69 – 90 y 118 – 124 días posteriores a la siembra, que corresponde a la etapa de floración (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022). Si consideramos que en este estudio el corte de biomasa de los abonos verdes fue a los 56 DPS, se espera que la relación C/N en la biomasa de los tres abonos verdes haya sido menor al que se encontró en la etapa de floración, debido a una menor lignificación de las plantas. En los primeros tres meses posteriores a la incorporación de los residuos vegetales, la temperatura fluctuó entre 21 y 35°C, con una precipitación acumulada de 480 mm, por lo tanto, se asume que las condiciones ambientales fueron propicias para la mineralización de nutrientes presentes tanto en el BOK como en los residuos vegetales, lo que ayuda a explicar los efectos positivos obtenidos con estas dos tecnologías.

Actualmente, la principal limitante para el uso de la tecnología de los abonos verdes a nivel extensivo es la disponibilidad y el costo de semilla. Para este estudio, la cantidad de semilla de *C. juncea* y *C. ensiformis* utilizado por hectárea corresponde a 50 y 125 kg. El costo de la semilla en el mercado regional es alrededor de \$130.00 y \$95.00 MXN, lo que representa una inversión de adquisición de \$6,500.00 y \$11,875.00, respectivamente. A este valor se le debe sumar el costo de preparación del suelo para la siembra de dichos abonos verdes. Una ventaja de los abonos verdes es que el productor puede producir sus propias semillas, lo que significa una reducción en la inversión para los ciclos siguientes. Comparando a los abonos verdes y al BOK desde el punto de vista económico y operativo, los abonos verdes representan una mejor opción para el productor ya que, además de requerir una menor inversión, el trabajo en campo se centra en la preparación del suelo, la siembra y la incorporación de los abonos verdes, con la posibilidad de que todo se realice a través de maquinaria agrícola. Por lo anterior, para trabajos futuros se recomienda considerar la aplicación conjunta de abonos verdes con bajas dosis de BOK.

Conclusiones

En la región costera central de Veracruz, en condiciones de temporal, el bokashi aplicado en dosis de 28 t/ha, junto con los microorganismos eficientes autóctonos y semillas inoculadas con esporas de hongos micorrícicos, así como los abonos verdes *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformis* con una producción de biomasa de 2.1 o 6.3 t/ha junto con la biomasa de las arvenses locales, son alternativas con las que se pueden obtener rendimientos de forraje, elote y de grano del maíz H-520 similares o mayores al que se obtiene con la fertilización mineral 62-00-00 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

Literatura citada

- Ávila-Escobedo, M. J., N. Peralta-Antonio, G. Montiel-Vicencio, L. I. Trejo-Téllez, A. Rebolledo-Martínez, P. Sánchez-García. 2022. Screening of potential legume to be used as green manure in tropical areas of Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22(3):3172-3188.
- Capetillo-Burela, A., C. J. López-Collado, R. Zetina-Lezama, M. A. Reynolds-Chávez, C. Matilde-Hernández, M. Cadena-Zapata, J. A. López-López. 2021. Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maíz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 7(14):1636-1650.
- Fernández, G. I. 2015. Evaluación agronómica de maíz elotero y preferencias de consumidores en los municipios de Villaflores, Tuxtla Gutiérrez y Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla. 49 p.
- Gómez-Leyva, J. F., M. A. Segura-Castruita, L. V. Hernández-Cuevas, M. Íñiguez-Rivas. 2023. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Maize (*Zea mays* L.) in the Formation and Stability of Aggregates in Two Types of Soil. *Microorganisms* 11(11):2615.

- González-Elizondo, M. S., A. A. Reznicek, J. A. Tena-Flores. 2018. Cyperaceae in Mexico: Diversity and distribution. *Botanical sciences* 96(2):305-331.
- Herrera Solano, A. H., R. A. V. Lara, C. J. R. Garrido, A. H. Gastelú, A. C. Morán. 2023. Caracterización de las principales malezas (Poacea) de la caña de azúcar en la zona de influencia del ingenio la providencia, SA de CV, Veracruz". *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 11(2):01-05.
- Mata, V. H., M. A. García D., J. Castellanos R. 2015. Métodos de diagnóstico para determinar la fertilidad del suelo y los requerimientos de nutrición de los cultivos: Descripción del método racional para calcular necesidades suplementarias de nutrientes. p. 85-94. *In*. Hernández Tejeda, T. Buenas prácticas para el uso de fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. CENID-COMEF
- Matías-Ramos, M., C. I. Hidalgo-Moreno, M. Fuentes-Ponce, J. Delgadillo-Martínez, J. D. Etchevers. 2023. Potential of legume species as soil fertility enhancers in tropical regions. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 14(4):531-541.
- Martins Neto, F. L., N. Peralta-Antonio, M. De Paula Pimenta, J. Pinto Coelho Evangelista, R. H. Silva Santos. 2020. Soil chemical characteristics on coffee plantations fertilized with continuous application of compost and green manure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(6):829-838.
- Oberholzer, S., C. Herrmann, N. Bodenhausen, H. M. Krause, A. Mestrot, C. I. Speranza, K. A. et al. 2024. No effect on biological or chemical soil properties when amended with effective microorganisms for improved cover crop decomposition. *Applied Soil Ecology* 197:105358.
- Ortiz-Torres, E., P. Antonio L., A. Gil-Muñoz, J. D. Guerrero-Rodríguez, H. López-Sánchez, O. R. Taboada-Gaytán, et al. .2013. Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 19(2):225-238.

- Palafox-Caballero, A., O. H. Tosquy-Valle, M. Sierra-Macías, A. Turrent-Fernández, A. Espinosa-Calderón. 2005. Respuesta de híbridos de maíz normales y de alta calidad de proteína a la fertilización química. *Terra Latinoamericana* 23(1):129-135.
- Rebolledo, M. L., J. Natarén V., A. Rebolledo M., A. L. del Angel P. 2012. Elaboración de productos orgánicos: composta, bocashi, biostimulantes, humo líquido y sulfocalcio. Folleto Técnico para Productores Núm. 17. INIFAP. CIRGIC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz.
- Sánchez, H. M. A., C. U. Aguilar M., N. Valenzuela J., B. M. Joaquín T., C. Sánchez H., M. C. Jiménez R., C. Villanueva V. 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4(3):271-288.
- Sánchez, H. M. Á., M. Cruz V., C. Sánchez H., G. Morales T., M. A. Rivas J., C. Villanueva V. 2019. Forage yield of maize adapted to the humid tropic of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3):699-712.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 11 de junio de 2024].
- Vásquez, H. A., R. Zetina L., I. Meneses M. 2014. Extracciones nutrimentales en tres cultivos básicos en Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1):229-235.
- Wattthier, M., N. Peralta-Antonio, F. S. Oliveira, R. H. S. Santos. 2022. Residual effect of green manure with different grass/legume ratios on the sequential cultivation of broccoli and brachiaria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22(1):619–630.

Watthier, M., N. Peralta-Antonio, M. C. Soares, R: H. S. Santos. 2023. The mixture of legumes and gramineous as green manure and Its effect on nutrient efficiency and soil solution characteristics in three successive crops. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 23(4):5798–5809.

FERTILIZANTES INORGÁNICOS COMBINADOS CON ABONO ORGÁNICO BOKASHI PARA LA NUTRICIÓN DE PIÑA 'MD-2'

Nain Peralta Antonio^{49*}, Andrés Rebolledo Martínez⁴⁹, María Enriqueta López Vázquez⁴⁹,
Rosa Laura Rebolledo García⁴⁹, Francisco Martínez Gutiérrez⁵⁰, Luisa Alondra Osorio Magdalena⁵¹
y Raquel Ramírez García⁵¹

Resumen

El bokashi (BO) es un abono orgánico con potencial para disminuir parcialmente la aplicación de fertilizantes inorgánicos, y a la vez, potencia los efectos positivos del acolchado plástico total en el cultivo de la piña. El objetivo de esta investigación fue determinar el crecimiento y el rendimiento de la piña 'MD-2', en función de diferentes dosis de N y K, aplicados exclusivamente con fertilizantes inorgánicos o combinados con una baja dosis de BO, con la finalidad de definir nuevas estrategias para la fertilización sustentable de dicho cultivo. La piña 'MD-2' se fertilizó con el 50, 75 y 100% de la dosis recomendada de N y K₂O. Estas tres dosis de fertilización se suministraron utilizando exclusivamente fertilizantes inorgánicos (100N/100K, 75N/75K y 50N/50K). El 45, 67 y 90% de la dosis recomendada de N y K₂O se aplicó combinando FI y el BO en la proporción 33%:67% [90N/90K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO), respectivamente]. Se utilizó un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones. En el tamaño de planta solo se detectaron diferencias estadísticas a los 596 días después de la plantación de la piña. Las plantas fertilizadas con 100N/100K, 90N/90K(FI+BO), 75N/75K, 67N/67K(FI+BO) y 50N/50K fueron iguales y todas superaron al tratamiento testigo sin fertilización. En cuanto al rendimiento, los tratamientos 100N/100K, 75N/75K, 67N/67K(FI+BO) y 50N/50K, fueron estadísticamente similares a 90N/90K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO), pero superiores en comparación con el testigo sin fertilización. Se concluye que, un peso fresco de planta y rendimiento de fruto alrededor de 8 kg y 119 t/ha respectivamente, fueron obtenidos con la dosis de 15-6-15-4 g/planta de (N), fósforo (P₂O₅), potasio (K₂O) y magnesio (MgO). Estos resultados, también se obtienen al reducir esa dosis en un 25%. Por otra parte, hasta el 33% del N y K₂O aplicados con fertilizantes inorgánicos se puede reemplazar por el abono orgánico BO sin que esto afecte a la producción de frutos.

Palabras clave: *Ananas comosus* var. *Comosus*, fertilidad de suelo, fósforo, nitrógeno

⁴⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 91700, México. *peralta.nain@inifap.gob.mx; peraltanain@gmail.com

⁵⁰ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica Extensión Tezonapa. Ant. Recinto Ferial, Carr. a El Palmar s/n. CP 95080, Tezonapa, Veracruz.

⁵¹ Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Desviación Lindero Tametate S/N, La Morita, 92100 Tantoyuca, Ver.

Introducción

La piña es un cultivo de importancia en el estado de Veracruz, ya que, a nivel nacional es el mayor productor. En el estado destacan las regiones del Bajo Papaloapan (municipio de Isla, Rodríguez Clara, José Azueta y Playa Vicente) y de Los Robles (municipio de Medellín y Tlalixcoyan). Se reporta una superficie sembrada y cosechada de 38,642 y 17,695 hectáreas, respectivamente. Con esto se logra una producción anual de 840,317 toneladas que representan un valor de producción alrededor de 3.9 mil millones de pesos mexicano (SIAP, 2023).

En México, la piña se produce bajo un sistema convencional que implica el uso de agroquímicos y fertilizantes inorgánicos. La piña es un cultivo muy demandante de nutrientes, que dependiendo de la densidad de plantación se recomienda aplicar entre 8 – 18, 3 – 6, 8 – 18 y 2 – 4 g/planta de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O) y magnesio (MgO), respectivamente (Uriza *et al.*, 2018), esto representa una aplicación por hectárea y por ciclo de producción que fluctúa entre 4 y 5 toneladas de fertilizantes inorgánicos. Incluso, en algunos casos, los productores con el afán de aumentar la producción de frutos aplican cantidades superiores a las recomendadas. A pesar de la ventaja operativa del uso de fertilizantes inorgánicos, su uso intensivo y en algunos casos excesivos ha generado problemas ambientales (como la contaminación de acuíferos y depósitos de agua) y también ha provocado el desequilibrio y la pérdida de fertilidad del suelo; otro factor negativo es la volatilidad del precio en función del comportamiento de combustibles fósiles. Lo anterior conlleva al planteamiento del uso de otras alternativas de nutrición que ayuden a mejorar la fertilidad del suelo, reducir problemas ambientales y aprovechar recursos orgánicos de la región.

Una alternativa de nutrición es el uso del abono orgánico bokashi (BO). En la elaboración de este insumo se puede aprovechar una serie de residuos orgánicos regionales tales como, estiércol de animales de cría intensiva, arvenses locales, residuos de cosecha, residuos de agroindustria, residuos de minas, mineral de río, etc.; además de que, puede ser elaborado el mismo productor y utilizar la mano de obra familiar. Una desventaja de este abono orgánico es su estandarización ya que, sus características químicas cambian en función de los materiales utilizados. Otra desventaja es su baja concentración de nutrientes en comparación con los

fertilizantes inorgánicos, lo que implica el uso de una gran cantidad para poder suplir la necesidad de los cultivos agrícolas (Pérez *et al.*, 2008).

La cantidad de abonos orgánicos a utilizar en algún cultivo agrícola normalmente se define con base en su concentración de N, esto significa que, a medida que aumente el requerimiento del cultivo, mayor será la cantidad de BO que se tenga que aplicar por hectárea. Considerando que la piña requiere entre 8 y 18 g de N por planta y que el BO tiene una concentración promedio de 1.44% de N (Pérez *et al.*, 2008), se debe aplicar entre 0.556 y 1.249 kg/planta. Para las fincas de piña se utilizan densidades de plantación que fluctúan entre 30 mil y 80 mil plantas/ha, lo que significa que por cada hectárea se podría aplicar entre 16.7 y 99.9 toneladas de BO. Esta cantidad de abono requerida por hectárea es elevada lo que dificulta el uso extensivo de esta tecnología en plantaciones intensivas, por ello, se propone un cambio paulatino en la fertilización sustentable de la piña que involucre una combinación del BO con fertilizantes inorgánicos.

Otra tecnología en la producción de piña es el uso del acolchado plástico total, que consiste en cubrir el 100% del suelo, con plástico negro calibre 150. Esta práctica tiene beneficios en el control de malezas, control de la erosión del suelo, mantiene la humedad del suelo y reduce la pérdida de nutrientes por escorrentía o lixiviación. Se espera que el acolchado plástico junto con el uso del abono orgánico BO mejore la eficiencia de los nutrientes, lo que significaría una reducción de la dosis de fertilización. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar el crecimiento y el rendimiento de piña 'MD-2' en función de diferentes dosis de N y K, aplicados exclusivamente con fertilizantes inorgánicos o combinados con baja dosis de BO. Lo anterior con la finalidad de definir nuevas estrategias para la fertilización sustentable de dicho cultivo.

Materiales y métodos

Área de estudio

Una plantación de piña 'MD-2', fue establecida en el sitio denominado El Guayabo (18°55'12.0"N 96°06'57.8"W) ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, México. Para el establecimiento se prepararon camas para hileras doble. El diámetro de la base y de la parte

superior de la cama fue de 1 y 0.6 m, respectivamente. El espacio de centro a centro de camas fue de 1.2 m y el espacio entre camas fue de 0.3 m. Estas camas fueron cubiertas con acolchado plástico total, lo cual consistió en que antes de realizar la plantación, el 100% del suelo se cubrió con plástico negro de calibre 150. La plantación se realizó el 10/04/2022, empleando vástagos de aproximadamente 600 g. La distancia entre hileras fue 0.3 m y la distancia entre plantas de 0.27 m (Figura 1), que corresponde a una densidad de 61 700 plantas/ha.

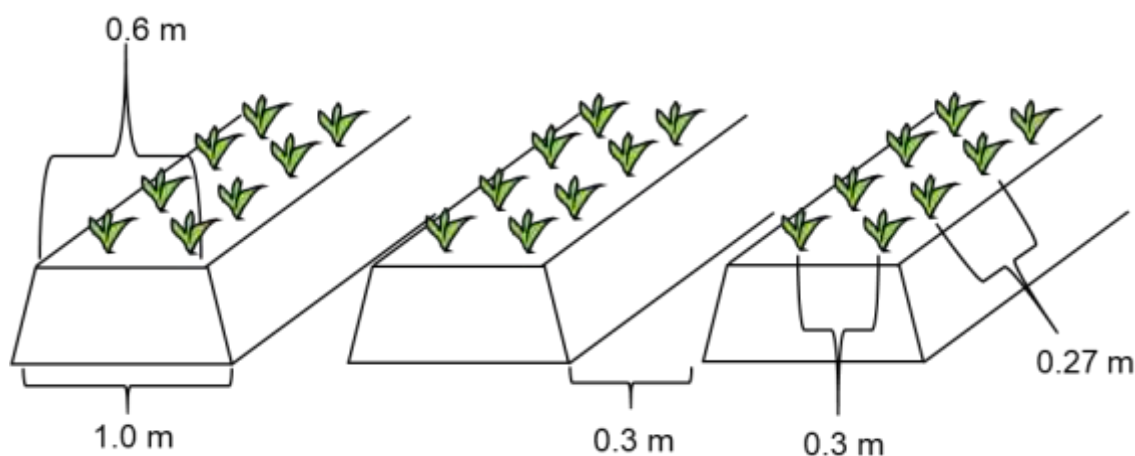


Figura 1. Plantación de piña MD-2 en Medellín, Veracruz, indicando las medidas de cama y distancia entre plantas y camas.

El suelo del sitio experimental es de textura franco-arenosa (13, 73 y 14% de arcilla, arena y limo), presentó un pH de 5.69, y 2.14% de materia orgánica. La concentración de N (nitrógeno), P- PO_4^{3-} , S- SO_4^{2-} , K^+ y Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y B^{3+} fue de 64.0, 3.0, 23.7, 135.0, 2280.0, 610.0, 46.7, 1.6, 1.1, 7.9 y 0.26 ppm, respectivamente. Durante el periodo del experimento se monitoreó la temperatura y la precipitación (Figura 2).

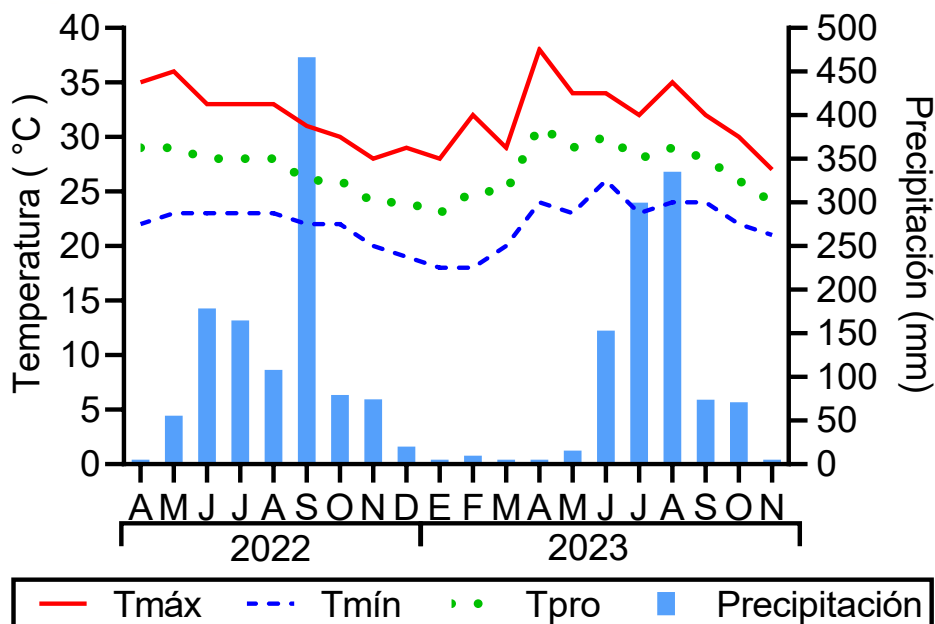


Figura 2. Temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (Tpro) y precipitación acumulada en la región de Medellín (abril de 2022 a noviembre de 2023).

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los tratamientos se generaron a partir de dos factores de estudio, el primero fue la dosis recomendada de N y K, el segundo factor fue la fuente de nutrientes. Se emplearon exclusivamente fertilizantes inorgánicos para suministrar 50, 75 y 100% de la dosis de N y K₂O, que para ambos nutrientes correspondió a 15, 11.3 y 7.5 g/planta, respectivamente (Cuadro 1). Rango recomendado para las regiones productoras de Veracruz (Uriza *et al.*, 2018). Para los tratamientos que incluyeron la fertilización combinada, la dosis de N y K suministrada corresponden a 45, 67 y 90% de lo recomendado. Del total de nutrientes correspondiente a cada tratamiento, 33% fue suministrado a través del BO y el resto a través de fertilizantes inorgánicos. La unidad experimental constó de cuatro camas de 5 metros. En cada cama se establecieron 37 plantas, resultando un total de 148 plantas por unidad experimental.

Fertilización

Para los tratamientos que incluyeron la fertilización combinada, la cantidad de BO utilizado se definió con base en su concentración de N. Del total de nutrientes suministrados a través de fertilizantes inorgánicos, el 50% se aplicó en forma sólida, en una aplicación, mientras que otro 50% se aplicó de forma líquida, dividida en cuatro aplicaciones iguales (25% en cada aplicación).

El BO utilizado se elaboró el 18/04/2022. Los insumos utilizados fueron gallinaza, estiércol vacuno, pasto pangola, tierra y arena, en proporción 2:2:2:1:1 (volumen/volumen). La mezcla se humedeció con una solución de melaza y agua, adicionando 5 litros de melaza en 100 litros de agua. Los ingredientes se humedecieron hasta alcanzar 75 y 80% de humedad, lo cual se corroboró mediante la prueba de puño de acuerdo con las indicaciones de Méndez y Viteri (2007). Las características del BO fueron las siguientes: 20.04% materia orgánica, 1.62% de C; pH de 6.56; relación C/N de 8.18; 1.42, 0.23, 1.47, 1.42, 3.64, 0.8, 1.02, 0.04, 0.00, 0.06 y 0.03% de N total, N nítrico, P_2O_5 , K_2O , $CaCO_3$, MgO , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} y B^{2+} , respectivamente. Para los tratamientos que incluyeron BO, el abono se aplicó 30 días posteriores a la plantación (DPP) (10/05/2022). Se depositó en la parte superficial del suelo, en la parte superior de la cama y se distribuyó cerca del tallo. En los tratamientos que incluyeron fertilización combinada, la dosis de BO (peso seco) utilizada fue de 316, 237 y 158 g/planta, correspondientes a los tratamientos 90N/90K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO), respectivamente. Al momento de la aplicación, el BO presentó 37% de humedad, por lo tanto, las dosis ajustadas fueron 500, 375 y 250 g/planta, para 90N/90K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO), respectivamente.

A los tratamientos que incluyeron la aplicación exclusiva de fertilizantes inorgánicos (100N/100/K, 75N/75K y 50N/50K), se aplicó la misma cantidad de P y Mg. Se utilizó una dosis de 6 y 4 g/planta de P_2O_5 y MgO , de acuerdo con las recomendaciones de Uriza *et al.* (2018). El 80% de los nutrientes se aplicó de forma sólida y dividido en tres aplicaciones (40, 30 y 30% en cada aplicación) y el 20% restante de forma líquida, dividido en cuatro aplicaciones iguales (25% en cada aplicación). La primera fertilización inorgánica sólida se realizó al inicio de la temporada de lluvia, a los 51 DDP (01/06/2022), la segunda y tercera fertilización se realizó a los 142 y 222 DDP (26/09/2022 y 15/12/2022, respectivamente). Las aplicaciones líquidas de

los fertilizantes inorgánicos se realizaron a los 252, 294, 321 y 359 DDP (17/01/2023, 28/02/2023, 27/03/2023 y 04/05/2023, respectivamente).

Cuadro 1. Cantidad de nitrógeno (N), fosforo (P_2O_5), potasio (K_2O) y magnesio (MgO) aplicados a la planta de piña 'MD-2', a través de diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamientos	N	P_2O_5	K_2O	MgO
	g/planta			
1. Sin fertilización	0	0	0	0
2. 100N/100K	15.0	6.0	15.0	4.0
3. 90N/90K(FI+BO)	13.5	4.6	13.5	4.5
4. 75N/75K	11.3	6	11.3	4.0
5. 67N/67K(FI+BO)	10.1	3.5	10.1	3.4
6. 50N/50K	7.5	6	7.5	4.0
7. 45N/45K(FI+BO)	6.7	2.3	6.7	2.3
Proporción suministrada a través del BO en la fertilización combinada (%)				
8. 90N/90K(FI+BO)	33	100	33	56
9. 67N/67K(FI+BO)	33	100	33	56
10. 45N/45K(FI+BO)	33	100	33	56

El 100, 75 y 50% de la dosis recomendada de N y K se suministraron exclusivamente a través de fertilizantes inorgánico (100N/100K, 75N/75K y 50N/50K); o bien el 90, 67 y 45% de N y K suministrados combinando fertilizantes inorgánicos y el abono orgánico Bokashi (BO) (90N/90K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO)).

Para aplicar N, P, K y Mg de forma sólida se utilizaron los siguientes fertilizantes inorgánicos: sulfato de amonio (21% de N), difosfato de amonio (18-46% de N- P_2O_5), cloruro de potasio (60% de K_2O) y sulfato de magnesio (9.8% de MgO). Para la fertilización líquida se utilizaron los fertilizantes urea (46% de N), difosfato de amonio, cloruro de potasio soluble (60% de K_2O) y sulfato de magnesio. En cada fecha de fertilización líquida, para diluir los fertilizantes se consideró una dosis de 40 mL de solución por planta.

Crecimiento de planta

Se realizaron tres muestreos a través del ciclo de la piña, a 36, 218, 389 y 596 DDP. En cada fecha de muestreo, se registró por unidad experimental el peso fresco de tres plantas de piña, tomadas al azar.

Manejo de la plantación

El riego del cultivo dependió exclusivamente de la presencia de lluvia. El control fitosanitario se realizó de acuerdo con el manejo del productor cooperante, el cual se basa en las recomendaciones de Uriza *et al.* (2018). El tratamiento de inducción floral se realizó a los 412 DDP (26/06/2023), utilizando 3 kg de etileno gas + 20 kg de carbón activado por cada 3000 L de agua.

Rendimiento y calidad de frutos

A los 596 días posteriores de la plantación se realizó la cosecha de frutos (27/11/2023). En cada unidad experimental se colectaron 15 frutos representativos. Con el peso promedio de frutos y la densidad de plantación, se estimó el rendimiento por hectárea. Los frutos de piña fueron trasladados al Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Medellín, Veracruz.

Análisis de datos

Para comparar el efecto de tratamientos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey, ambos análisis con una probabilidad del 95% ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En el tamaño de planta solo se detectaron diferencias estadísticas a los 596 DDP de la piña. Las plantas fertilizadas con 100N/100K, 90N/90K(FI+BO), 75N/75K, 67N/67K(FI+BO) y 50N/50K fueron iguales y todas superaron al tratamiento testigo sin fertilización (Figura 3).

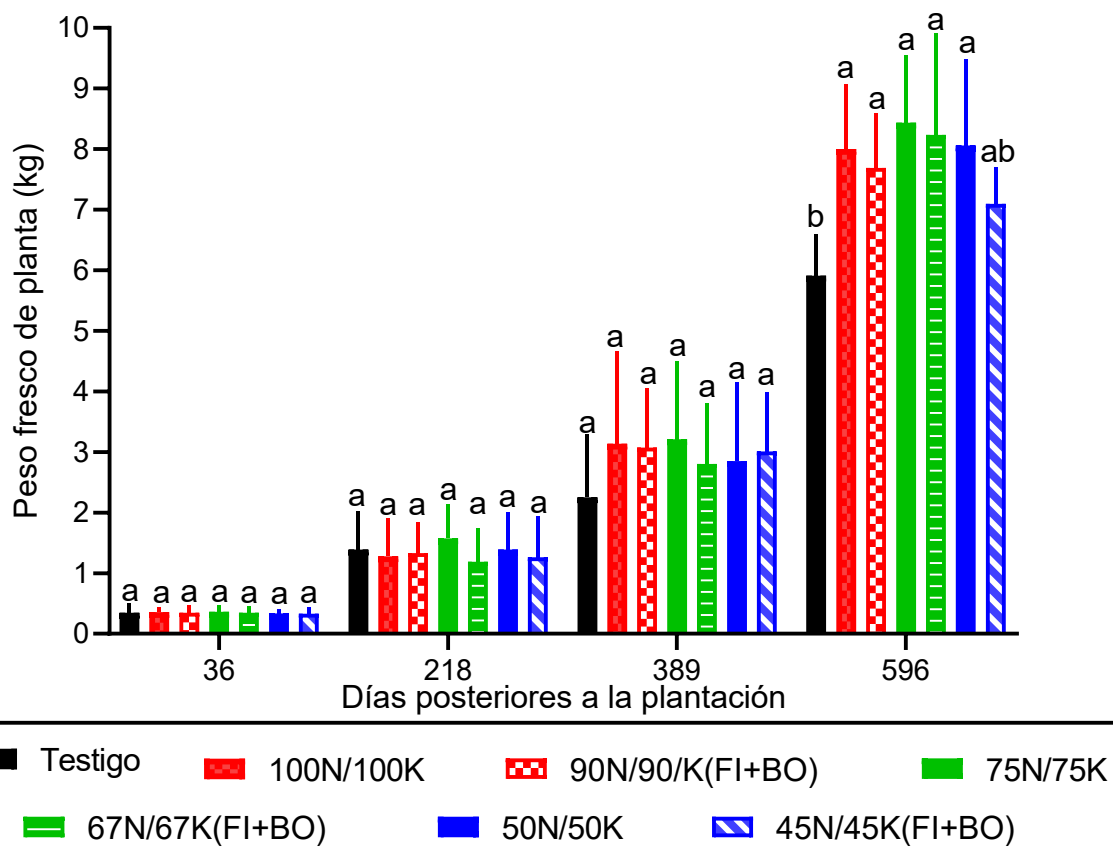


Figura 3. Peso fresco de plantas de piña ‘MD-2’ establecido en Medellín, Veracruz y manejado con 100, 75 o 50% de la dosis recomendada de N y K₂O, aplicados exclusivamente con fertilizantes minerales (100N/100/K, 75N/75/K, 50N/50/K). O bien 90, 67 y 45% de la dosis recomendada, aplicado combinando fertilizantes minerales y el abono orgánico bokashi (90N/90/K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO). El 100% de N y K corresponde a 15-15 g/planta de N-K₂O. Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo, representan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras $\pm$ error estándar.

En cuanto al rendimiento, los tratamientos 100N/100K, 75N/75K, 67N/67K(FI+BO) y 50N/50K, fueron estadísticamente similares a 90N/90K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO), pero superiores en comparación con el testigo sin fertilización (Figura 4).

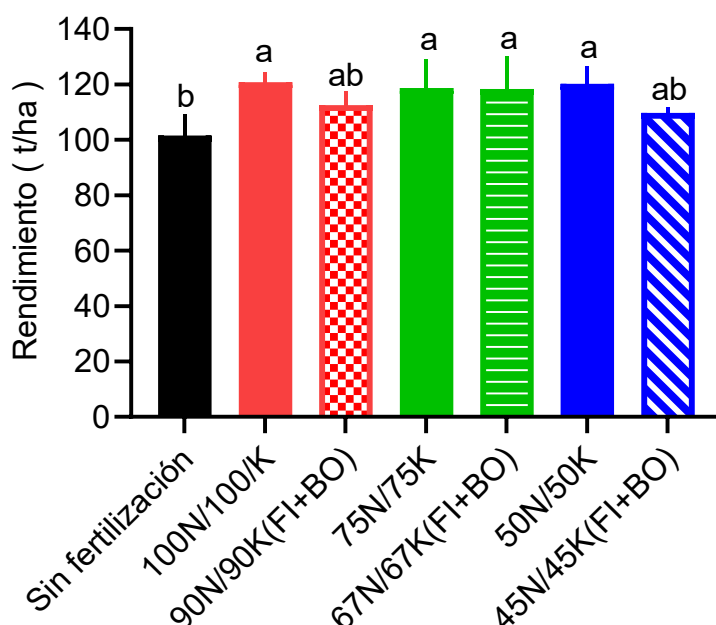


Figura 4. Rendimiento de piña ‘MD-2’ establecido en Medellín, Veracruz y manejado con 100, 75 o 50% de la dosis recomendada de N y K₂O, aplicados exclusivamente con fertilizantes minerales (100N/100/K, 75N/75/K, 50N/50/K) o bien 90, 67 y 45% de la dosis recomendada, aplicado combinando fertilizantes minerales y el abono orgánico bokashi (90N/90/K(FI+BO), 67N/67K(FI+BO) y 45N/45K(FI+BO)). El 100% de N y K corresponde a 15-15 g/planta de N-K₂O. Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo, representan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras $\pm$ error estándar.

De acuerdo con los pesos frescos de la planta de piña a través del tiempo, el suelo logró suministrar el nutriente requerido por las plantas, únicamente hasta los 390 DDP, periodo en que no se detectaron diferencias entre plantas fertilizadas y plantas no fertilizadas. De acuerdo con los resultados del análisis de suelo, considerando una densidad aparente de 1.0 g/cm³ y una profundidad de 0.2 m, donde se desarrolla la mayoría de las raíces (Inforzato *et al.*, 1968; Jean-Louis *et al.*, 2015), la cantidad disponible de N (nitrógeno), P₂O₅, K₂O y MgO fue de 128, 6, 234 y 2025 kg/ha, respectivamente. Estos valores representan el 14, 2, 35 y 821% de la cantidad suministrada con los tratamientos de fertilización mineral. Lo anterior muestra claramente una deficiencia de N, P y K para las plantas de piña, lo cual explica el menor tamaño

de planta y el menor rendimiento de fruto en las plantas no fertilizadas. Para esta primera producción, el rendimiento promedio del tratamiento testigo fue de 100 t/ha, el doble del rendimiento medio a nivel nacional de acuerdo con el SIAP (2023) de 49 t/ha. Este elevado rendimiento en las plantas sin fertilizar se atribuye a dos factores. El primer factor, es la fertilidad inicial del suelo. El suelo utilizado, previo a la plantación de piña se encontrada en condiciones de acahual, es decir, se mantuvo en descanso por un periodo mayor a 5 años y la vegetación incluía especies de leguminosas, tanto árboles como especies anuales. Lo anterior explica un nivel de 2.14% de materia orgánica, lo cual, no es común para suelos tropicales donde se cultiva piña, donde el promedio es menor a 1% (Zetina *et al.*, 2005). Con ese nivel de materia orgánica y con la presencia del acolchado plástico total, se espera una mejor eficiencia de los nutrientes, principalmente por la retención de humedad y una mínima pérdida de nutrientes por lixiviación o escorrentía. Se espera que, para la segunda y tercera cosecha, el rendimiento de frutos disminuya en los suelos sin fertilizar, debido a que en cada cosecha se reduce la fertilidad y se incrementa la deficiencia de nutrientes. El segundo factor es la duración del ciclo del cultivo. El peso del fruto al momento de la cosecha está asociado con el peso fresco de la planta al momento de la inducción floral (Vilela *et al.*, 2015). Normalmente, para plantaciones de piña donde se utiliza acolchado plástico total y malla sombra, como fue en este caso, el ciclo de producción dura entre 14 y 18 meses (Uriza *et al.*, 2018). Para obtener frutos de calidad para el mercado de exportación o mercado nacional, el momento de la inducción floral se realiza cuando la planta alcanza un peso mínimo de 2.5 o 3.5 kg, respectivamente. Para este estudio el ciclo productivo fue cercano a 20 meses y el tratamiento de inducción floral se realizó cuando las plantas tenían 13.7 meses de edad, Para esta fecha, el peso fresco de las plantas sin fertilizar ya había alcanzado un peso superior 2.5 kg, por lo tanto, se obtuvieron frutos con un peso promedio de 2 kg, lo que explica su alto rendimiento por hectárea.

Los resultados demostraron que utilizar acolchado plástico total, reduce la dosis de N y de K sin repercutir negativamente en el crecimiento de la planta y el rendimiento en fruto. El utilizar 100% de la dosis de fertilización inorgánica por planta (15, 6, 15 y 4 g/planta de N, P_2O_5 , K_2O y MgO), representa un total de 925, 370, 925 y 247 kg/ha. De acuerdo con los resultados, si se utiliza exclusivamente fertilizantes inorgánicos, la dosis de fertilización se puede reducir hasta un 50% (462.5, 185.0, 462.5 y 123.5 kg/ha de N, P_2O_5 , K_2O y MgO, respectivamente),

incluso para este suelo en específico, se puede restringir la aplicación de MgO en la primera cosecha. Es importante mencionar que la disminución de la dosis de fertilización no afectará la primera cosecha, sin embargo, se debe tener cuidado en realizar una fertilización extra para la producción de hijuelos y para mantener rendimientos atractivos para la segunda y tercera cosecha de frutas. Para definir la cantidad específica de las fertilizaciones complementarias, se recomienda realizar un análisis de fertilidad del suelo, inmediatamente después de la cosecha.

A nivel productivo, para definir la cantidad de un abono orgánico, normalmente se toma como referencia la concentración del N. Por ejemplo, para este estudio, considerando que el BO presentó una concentración de 1.42% de N total, para poder suministrar los 15 g de N por planta, se debió aplicar 1.056 kg de BO en peso seco. La humedad del BO al finalizar su elaboración es de aproximadamente 30%. Esto indica que se tendría que aplicar alrededor de 1.372 kg BO fresco/planta, y con la densidad de plantación utilizada en este estudio equivaldría a 84.6 t/ha. Este requerimiento por hectárea es inviable desde el punto de vista operativo, por la dificultad de elaborar, transportar y aplicar en campo este insumo orgánico. Por lo tanto, la estrategia que se plantea es que el BO solo aporte una proporción del N que requiere la piña. Los resultados de este estudio muestran que 67% de la dosis de N y K (equivalente a 620 kg/ha), suministra el 33% del N a través de 14.4 t/ha de BO (con 30% de humedad), obteniendo resultados similares al que se logra con el 100% de la fertilización inorgánica. Se espera que esta fertilización combinada tenga un mayor impacto en la fertilidad de las plantas establecidas en suelos degradados y pobres en materia orgánica ($\leq 1\%$) ya que, con el BO se aportó al suelo al redor de 2.8 t/ha de materia orgánica, lo cual promueve el incremento de la capacidad del suelo para retener nutrientes en zona de la rizósfera.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados se concluye que, un peso fresco de planta y rendimiento de fruto alrededor de 8 kg y 119 t/ha obtenido con dosis de 15-6-15-4 g/planta de (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O) y magnesio (MgO), también se obtiene al reducir esa dosis en un 25%. Por otra parte, hasta el 33% del N y K_2O aplicado con fertilizantes inorgánicos se puede

reemplazar por el abono orgánico Bokashi, sin que esto afecte el crecimiento de la planta y la producción de frutos.

Literatura citada

- Inforzato, R., E. J. Giacomelli, L. A. Rochelle. 1968. Sistema radicular do abacaxizeiro, aos 4, 8 e 12 meses, plantado no início da" estação seca, em solo Latosol Vermelho Escuro-Orto. *Bragantia* (27):135-141.
- Jean-Louis, C., L. Debaut-Henoque, M. A Paul-Alex, R. Asensio, A. Soler. 2015. Estimating root length density of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) from root counts on soil profiles in Martinique (French West Indies). *Fruits* 70(3):143-151.
- Méndez, M. J. y S. E. Viteri. 2007. Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. *Agronomía Colombiana* 25(1):168-175.
- Pérez, A., C. Céspedes, P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8(3):10-29.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 11 de junio de 2024].
- Uriza-Ávila, D.E., A. Torres-Ávila, J. Aguilar-Ávila, V. H. Santoyo-Cortés, R. Zetina-Lezama, A. Rebolledo-Martínez. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Chapingo, Estado de México, México. Colección Trópico Húmedo. UACH. 484 p.

Vilela, G. B., R. F. Pegoraro, V. M. Maia. 2015. Predição de produção do abacaxizeiro 'Vitória' por meio de características fitotécnicas e nutricionais. Revista Ciência Agronômica 46:724-732.

Zetina L, R., A. Rebolledo M, D. E. Uriza A. 2005. Soil characterization of pineapple producing regions of Mexico. Acta Horticulturae (666):51–58.

LEGUMINOSAS TROPICALES INTERCALADAS CON LIMÓN PERSA EN LA REGIÓN DEL BAJO PAPALOAPAN

Nain Peralta Antonio^{52*}, Andrés Rebolledo Martínez⁵², Rigoberto Zetina Lezama⁵²,
María Enriqueta López Vázquez⁵² y Rosa Laura Rebolledo García⁵²

Resumen

Las leguminosas tropicales pueden complementar los sistemas de producción de pequeños productores del estado de Veracruz, ya sea para servir como una fuente de nitrógeno, para reducir la presencia de malezas, para alimento humano y animal, o bien, para la protección suelo. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el crecimiento y la producción de biomasa de cinco especies de leguminosas y de las arvenses locales, en una plantación de limón persa de dos años, en la región del Bajo Papaloapan, e identificar los usos potenciales de cada una de ellas. En Tres Valles, Veracruz, se establecieron las leguminosas *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria juncea* y *Cajanus cajan* intercaladas con árboles de limón persa de dos años. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, el factor del bloqueo fue la pendiente del terreno. Los tratamientos consistieron en cada una de las especies de leguminosas, sembradas individualmente o en combinación considerando las tres especies del género *Crotalaria*. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en la altura de plantas de leguminosas y en el tipo de arvenses presentes en el área de estudio. No se detectaron diferencias en la producción de biomasa vegetal fresca y biomasa vegetal seca. De las cinco especies de leguminosas, la mayor altura se observó en *C. juncea*, *C. ochroleuca* y *C. cajan* (1.5 a 2.0 m), convirtiéndolas en las mejores alternativas para intercalar con cítricos en etapa vegetativa con el objetivo de controlar las arvenses y proteger el suelo. Desde el punto de vista pecuario, *C. ensiformis* y *C. cajan*, son alternativas que pueden proveer alrededor de 9.1 y 3.7 t/ha de forraje verde. Para mejorar el nivel de fertilidad del suelo, la mejor opción es mezclar las tres especies de crotalarias y aprovechar la biomasa de las arvenses locales para suministrar alrededor de 6.5 t/ha de biomasa seca.

Palabras clave: abono verde, *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Cajanus cajan*

⁵² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 94270, México. *peralta.nain@inifap.gob.mx; peraltanain@gmail.com

Introducción

Existen cerca de 19 300 especies de plantas leguminosas, entre árboles, arbustos y plantas herbáceas, que se adaptan a entorno templados y tropicales. Algunas especies se utilizan en la alimentación humana, alimentación animal, uso medicinal, fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N_2), como cultivo de cobertura y control de nematodos (Vasconcelos *et al.*, 2020). Debido a sus múltiples usos, las leguminosas son una alternativa atractiva para el sector agrícola, principalmente para sistemas de producción de pequeña escala.

A partir de 2019, el Gobierno de México implementó el programa “Sembrando Vida”, que junto con el “Programa Producción para el Bienestar” y el “Programa de Apoyo a Cafetaleros y Cañeros del País”, son estrategias para lograr la producción de alimentos vegetales a través de un sistema amigable con el ambiente (DOF, 2019). En el programa “Sembrando Vida”, se fomenta el establecimiento de árboles frutales intercalados con diversos cultivos anuales, para obtener diferentes productos durante varios meses del año. Una de las tecnologías que fomenta dicho programa, es el uso de especies leguminosas, principalmente para el control de arvenses, proteger el suelo de la erosión y actuar como una fuente de nutriente, específicamente de nitrógeno (N).

El uso de leguminosas en la producción agrícola es común en diversos países del mundo; en México, aún existe desconocimiento y muchas interrogantes por responder, lo cual limita el uso de esta tecnología. Por ejemplo, un conocimiento básico que se debe tener es, la identificación de las especies que mejor se adaptan a las condiciones climáticas, tipo de suelo y factores bióticos de cada región geográfica. Cada especie de leguminosa responde de forma diferente en función de las características del suelo, factores meteorológicos, presencia de arvenses, plagas y enfermedades; por lo tanto, conocer su respuesta ayudará al productor a definir su utilidad en su sistema de producción.

En México, el estado de Veracruz destaca por su importancia en la agricultura, siendo el principal productor de cítricos, caña de azúcar y piña. Estos tres cultivos en conjunto abarcan cerca del 25% del área agrícola del Estado. En la región del Bajo Papaloapan, estos tres cultivos en conjunto representan alrededor de 215,538 ha (SIAP, 2023). Debido a la importancia de esta región en el ámbito agrícola, es necesario determinar la respuesta de las leguminosas tropicales en función de sus condiciones edafoclimáticas, para determinar si

dichas especies se pueden utilizar como abonos verdes, cultivos de cobertura, forraje o algún otro uso potencial. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el crecimiento y la producción de biomasa de cinco especies de leguminosas y de las arvenses locales, en una plantación de limón persa, en la región del Bajo Papaloapan; asimismo, identificar los usos potenciales de cada una de ellas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en una plantación de limón persa de dos años, propiedad del productor cooperante C. Rubén Aly González, incluido en el Programa Sembrando Vida. La plantación se ubica en el municipio de Tres Valles, Veracruz, en las coordenadas 18°14'50.7"N 96°06'51.3"W. En el terreno, se establecieron cinco especies de leguminosas: *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria juncea* y *Cajanus cajan* intercaladas con los árboles de limón persa de dos años, establecidos en hileras, con distanciamiento entre árboles y entre hileras de 4 y 6 m, respectivamente. El suelo del terreno presentó las siguientes características: textura franca-arenosa (3, 83 y 14% de arcilla, arena y limo, respectivamente) y pH de 4.29. La concentración de N nítrico, P- PO_4^- , S- SO_4^{-2} , K^+ y Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^+ y B^{3+} fue de 11.2, 6.0, 20.0, 38.0, 158.0, 28.0, 206.0, 0.9, 0.9, 2.5 y 0.43 ppm, respectivamente.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con cuatro repeticiones; el factor del bloqueo fue la pendiente del terreno. Los tratamientos consistieron en cada una de las especies de leguminosas, ya sea sembradas individualmente o en combinación de las tres especies del género *Crotalaria*. La unidad experimental constó de una superficie de 36 m².

Establecimiento de las leguminosas

Después del inicio de la temporada de lluvias, el suelo se preparó mediante dos pasos de rastra. La siembra de todas las leguminosas se realizó en la misma fecha (12/07/2023). C.

breviflora, *C. ochroleuca*, *C. juncea* y *C. cajan* se sembraron al voleo, utilizando 8, 8, 8 y 10 g de semilla por metro cuadrado. La siembra de *C. ensiformis* se hizo con espeque, en hileras con 0.8 m de separación entre surcos, depositando 10 semillas por metro lineal. No se realizó control de arvenses, plagas ni enfermedades. El suministro de agua a las leguminosas dependió exclusivamente de la lluvia. Se monitoreó la temperatura y la precipitación durante el periodo de conducción del experimento (Figura 1).

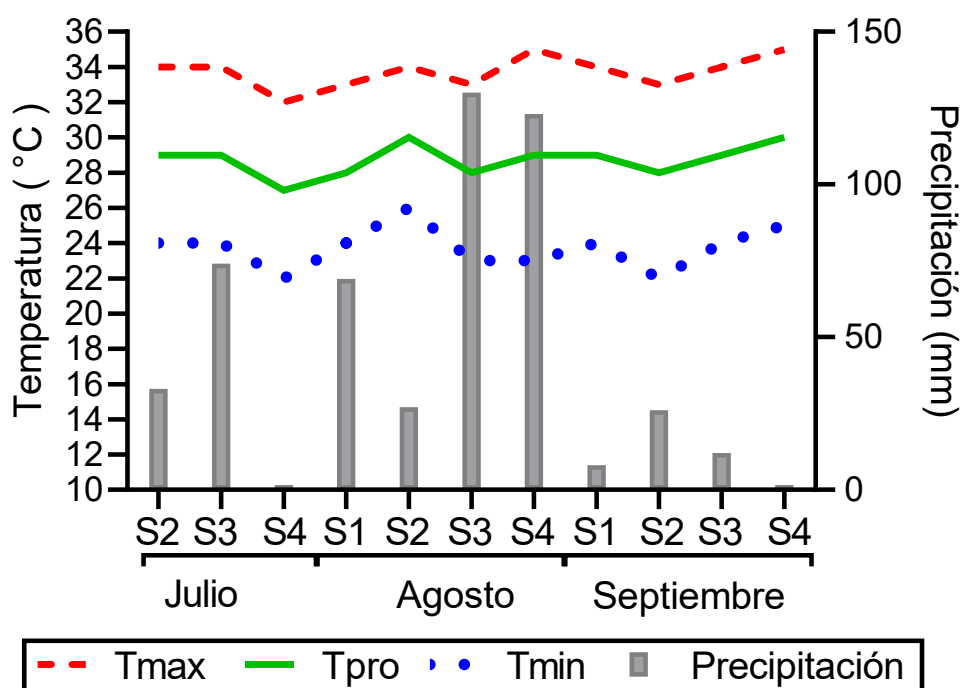


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura promedio (Tpro) y la precipitación en Tres Valles, Ver., de julio a septiembre de 2023.

Se realizó un muestreo destructivo el 25 de septiembre de 2023, a los 105 días posteriores a la siembra de las leguminosas. En cada unidad experimental, se seleccionó al azar un área de 1 m². En dicha área se colectó y cuantificó el peso fresco de la parte aérea de cada una de las especies de leguminosas. Posterior a la colecta de las leguminosas, le colectó y cuantifico el peso fresco de las arvenses. Del total de peso fresco, se estimó el porcentaje de arvenses correspondiente a especies de hoja angosta y especies de hoja ancha. Las especies de hoja

angosta incluyen a diferentes gramíneas, mientras que las hojas anchas, corresponden a especies no gramíneas. Además, se registró la altura de las plantas de leguminosas y de las arvenses locales. Para estimar el peso seco de la biomasa de las leguminosas y de las arvenses, una muestra representativa obtenida de cada unidad experimental se depositó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 70°C hasta alcanzar peso constante. Con los datos de porcentaje de materia seca de las muestras y el área del espacio donde se establecieron las leguminosas, se estimó la cantidad de biomasa seca producida por hectárea.

Análisis de datos

Para comparar los tratamientos, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey, ambos con un 95% de probabilidad ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

La mayor altura de planta de leguminosas se detectó en el área donde se estableció la mezcla de las tres especies del género *Crotalaria*, mientras que, la menor altura de planta se registró con *C. ensiformis* y *C. breviflora* (Figura 2a). Similar altura de arvenses se detectó en las diferentes áreas sembradas con las leguminosas tropicales (Figura 2 b). Menor porcentaje de arvenses de hoja ancha y mayor porcentaje de arvenses gramíneas se registró con *C. ensiformis* (Figuras 2 c, d).

No se detectaron diferencias significativas en la biomasa fresca y biomasa seca de las leguminosas y las arvenses, tampoco en biomasa vegetal total (Figuras 3 a, b, c, f, g, h). Un mayor porcentaje de materia seca se detectó en la biomasa de *C. cajan* en comparación con la biomasa obtenida de la mezcla de las tres especies de crotalarias (Figura 3 d). No se detectaron diferencias en el porcentaje de materia seca en la biomasa de las arvenses ni en la proporción de materia seca suministrada a través de la biomasa de las leguminosas (Figura 3 e, i).

Los resultados indican que las leguminosas tropicales son una alternativa viable para ser utilizadas como cultivos intercalados en áreas agrícolas de la región del Bajo Papaloapan. De acuerdo con el análisis de suelo, el suelo es arenoso, extremadamente ácido, pobre en

fertilidad, donde se espera deficiencia de N, P, K, Ca, Mg, Mn, B, Cu y Zn (Salgado-García *et al.*, 2006), por lo tanto, para mejorar su nivel de fertilidad es recomendable la práctica de encalado y también la adición de materia orgánica. Para este caso, la biomasa de las leguminosas y de las arvenses locales son una fuente de materia orgánica. Con una precipitación acumulada de 502 mm en aproximadamente 105 días, se logró obtener plantas de leguminosas con alturas mínimas y máximas de 0.85 y 2.0 m, respectivamente.

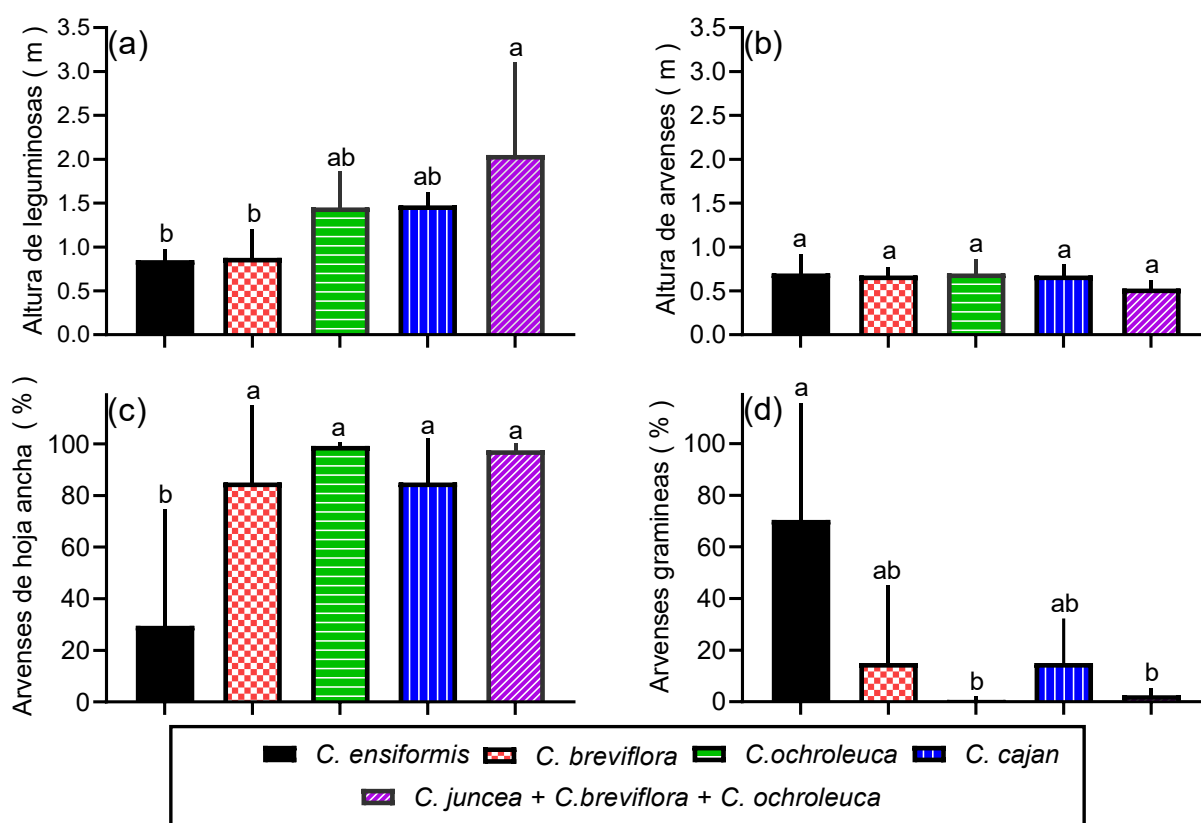


Figura 2. Altura de planta de leguminosas y de arvenses, en una plantación de limón persa, donde se establecieron las leguminosas: *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Cajanus cajan* y una mezcla de *Crotalaria juncea* + *C. breviflora* + *C. ochroleuca*, en Tres Valles, Veracruz. Letras diferentes entre barras indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras $\pm$ error estándar.

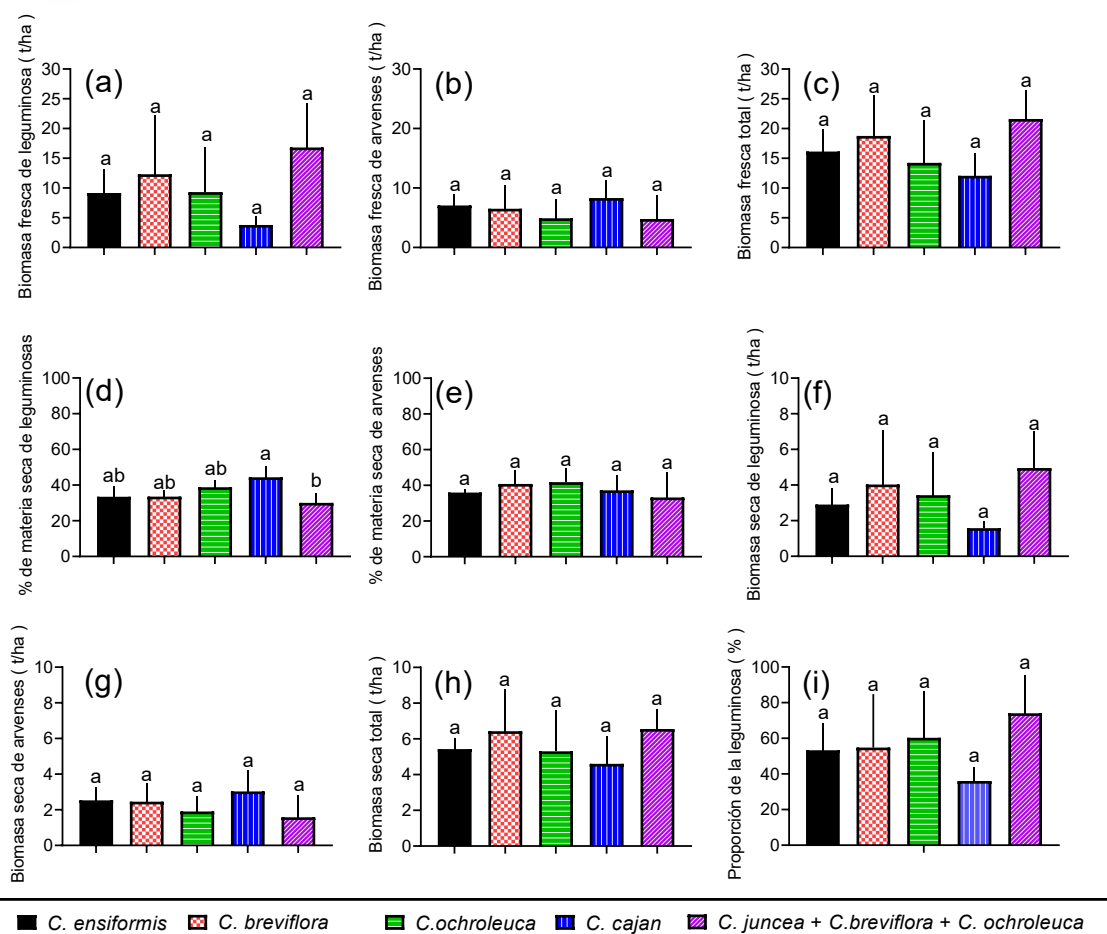


Figura 3. Producción de biomasa fresca y biomasa seca, así como el porcentaje de materia seca de arvenses y de las leguminosas *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, *Cajanus cajan* y una mezcla de *Crotalaria juncea* + *C. breviflora* + *C. ochroleuca*, en una plantación de limón persa, en Tres Valles, Veracruz. Letras diferentes entre barras indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Barras $\pm$ error estándar.

Las arvenses locales correspondieron principalmente a especies de hoja ancha, de bajo porte, con una altura inferior a 0.8 m. Si el objetivo del productor es reducir la población de arvenses en su plantación de frutales mediante el uso de leguminosas tropicales, cualquiera de las especies evaluadas en este estudio tiene potencial para realizar esa función. No obstante, si las malezas predominantes pertenecen a especies que superan 1 metro de altura, las mejores

alternativas para su control serían *C. juncea*, *C. ochroleuca* o *C. cajan*, debido a que alcanzan una mayor altura, por lo tanto, pueden competir más con las arvenses locales.

Las leguminosas también se pueden aprovechar para la dieta animal, ya sea utilizando el forraje o bien el grano. De las especies utilizadas en este estudio, *C. ensiformis* y *C. cajan* se utilizan como suplemento alimenticio para el sector pecuario (Castro-Rincon *et al.*, 2018) con una producción de biomasa fresca de 9.1 y 3.7 t/ha que se podría utilizar en la dieta animal o para ensilar. Es importante indicar que el *C. cajan* es una especie perenne, que también sirve para el consumo humano; en la región costera central de Veracruz se llegó a estimar un rendimiento de grano de 1.9 a 2.6 t/ha (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022). Por lo anterior, esta especie se puede utilizar como un cultivo intercalado permanente con los frutales, obteniendo a su vez múltiples beneficios. Por ejemplo, después de la cosecha de granos, las plantas se podan a la altura conveniente para el control de arvenses o para evitar la erosión del suelo; la biomasa podada se puede utilizar como forraje o bien como mantillo en el área de copa de los árboles.

Desde el punto de vista de fertilidad del suelo, la biomasa vegetal de las leguminosas se complementó con la biomasa de las arvenses locales, logrando que en un periodo de tres meses se suministre al suelo entre 4.6 y 6.5 t/ha de materia seca, aportando las leguminosas entre el 36 y 74% de la materia seca. En la región costera central de Veracruz, se detectó que por cada tonelada de biomasa seca producida por *C. ensiformis*, *C. breviflora*, *C. ochroleuca*, *C. cajan* y *C. juncea* se puede suministrar alrededor de 24.7 a 26.1, 22.0, 19.9 a 23.3, 14.9 a 15.1 y 18.3 a 18.4 kg de N (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022); si consideramos que en este estudio la biomasa seca suministrada por *C. ensiformis*, *C. breviflora*, *C. ochroleuca*, *C. cajan* y la mezcla de crotalarias fue de 2.9, 4.0, 3.4, 1.5 y 4.9 t/ha, se estima que la cantidad de N proporcionado al suelo fue alrededor de 71 a 76, 88, 68 a 79, 22 a 23 y 90 kg/ha, respectivamente. La cantidad de N que pueden suministrar las leguminosas al suelo depende de la cantidad de biomasa seca que pueden producir por hectárea, esto a su vez, está relacionado con el comportamiento del clima, siendo la disponibilidad de lluvia un factor determinante. En la región costera central de Veracruz, en un suelo arcilloso, con una precipitación de 614 mm, en un periodo de 75 a 124 días posteriores a la siembra de las leguminosas, se ha reportado un suministro máximo de 217, 116, 114, 242 y 308 kg/ha con *C. ensiformis*, *C. breviflora*, *C. ochroleuca*, *C. cajan* y *C. juncea*, por lo tanto, se espera que, con

una adecuada distribución de lluvia, aumente el suministro de N en la región del bajo Papaloapan.

Conclusiones

La altura *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochoreluca* y *Cajanus cajan* (1.5 a 2.0 m) intercaladas con limón persa fue mayor que de las otras especies de leguminosas, lo que, las convierte en las mejores alternativas para intercalar con cítricos en etapa vegetativa con el objetivo de controlar las arvenses y proteger el suelo. La *Canavalia ensiformis* y *C. cajan* tienen mayor potencial para producir forraje, pueden proveer alrededor de 9.1 y 3.7 t/ha de forraje verde. Para mejorar el nivel de fertilidad del suelo, la mejor opción es mezclar las tres especies del género *Crotalaria* y aprovechar la biomasa de las arvenses locales para suministrar alrededor de 6.5 t/ha de biomasa seca.

Literatura citada

- Ávila-Escobedo, M. J, N. Peralta-Antonio, G. Montiel-Vicencio, L. I. Trejo-Téllez, A. Rebolledo-Martínez y P. Sánchez-García. 2022. Screening of potential legume to be used as green manure in tropical areas of Mexico. J. Soil Sci. Plant Nutr. 22(3):3172-3188.
- Castro-Rincon, E., J. E. Mojica-Rodríguez, J. E. Corulla-Fornaguera y C. E. Lascano-Aguilar. 2018. Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. Agron. Mesoam. 29(3):711-729.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2019–2024. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0 [consultado el 26 de junio de 2023].

- Salgado-García, S., D. J. Palma-López, L. C. Lagunes-Espinoza y M. Castelán-Estrada. 2006. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. 2ª ed. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 89 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 11 de junio de 2024].
- Vasconcelos, M. W., M. A. Grusak, E. Pinto, A. Gomes, H. Ferreira, B. Balázs, B. *et al.* 2020. The biology of legumes and their agronomic, economic, and social impact. p. 3-25. In: Hasanuzzaman, M., S. Araújo and S. Singh G. (eds.). The plant family Fabaceae: biology and physiological responses to environmental stresses. Springer Singapore. Singapore.

CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN TOLUCA, MUNICIPIO DE MONTECRISTO DE GUERRERO, CHIAPAS

Isidro Fernández González^{53*}, Francisco Javier Cruz Chávez⁵³ y José Rafael Contreras Hinojosa⁵³

Resumen

Las zonas cafetaleras de Chiapas se caracterizan por sus contrastes ambientales, técnicos, económicos y socio-culturales, que influyen en la producción del grano. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el sistema de producción de café orgánico que realizan los productores e identificar los principales problemas y limitantes que se presentan en el proceso productivo. Para ello se diseñó un instrumento que permitió conocer todos los aspectos del proceso productivo hasta la comercialización. Se determinó un tamaño de muestra de 35 a una población de 110 productores. De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que la edad de los productores está en el rango de 50 a 59 años, la unidad familiar está integrada de 4 a 6 individuos, quienes dependen económicamente del cultivo de café el cual cultivan en parcelas de 3.2 hectáreas en promedio, y llevan cultivando café 25 años con la variedad bourbón, principalmente. El sistema de cultivo es orgánico (80%) desde hace 8 años en promedio; para la nutrición del cultivo los productores aplican compostas que ellos mismo elaboran en dosis de dos cuatro kilogramos por planta; la principal plaga que se presenta es la broca del café, la cual controlan con trampas; en el caso de las enfermedades, la roya es la que más afecta el cultivo, la cual controlan con la regulación de sombra que, además, contribuye a mejorar los niveles de producción. Los rendimientos obtenidos en promedio son de 12.2 quintales por hectárea, y lo venden principalmente en pergamino; la mano de obra, principalmente familiar, ocupa el mayor costo de producción (\$ 8,380) y se tiene una utilidad media de \$11,778 por hectárea. El 55% de los productores manifestaron que sus principales problemas son, la falta de infraestructura y equipo para realizar el lavado, despulpado, secado del grano, la falta de caminos y apoyos económicos.

Palabras clave: caracterización, sistema producción, rentabilidad

Introducción

En México, el café es un cultivo estratégico; su producción emplea a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios. La producción mexicana de café

⁵³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro de Chiapas. *Autor de correspondencia: fernandez.isidro@inifap.gob.mx.

cereza fue en promedio de 899 mil toneladas en el periodo 2017-2021; Chiapas es el principal estado productor, aporta el 41% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24%) y Puebla (15.3%).

De esta forma podemos observar que la importancia del cultivo del café en Chiapas no radica solamente en las divisas que genera al país, sino que su cultivo está estrechamente vinculado con las culturas indígenas, quienes manejan en su mayoría sistemas de producción tradicionales. De igual forma, el cultivo del café en Chiapas tiene una importancia ambiental que se refleja en términos económicos, al ser el mayor productor de servicios ambientales en el país (Pérez *et al.*, 2002).

El café orgánico es un sistema de producción que tiene como fundamento la conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo, con técnicas e insumos compatibles con el medio ambiente y la conservación de la biodiversidad vegetal y animal. El combate de plagas se realiza mediante prácticas de tecnología limpia tales como: control biológico, uso de trampas, podas, aplicación de productos funguicidas e insecticidas de origen orgánico, (SAGARPA, 2010).

La producción de café es la principal actividad económica de los productores de la localidad de Toluca, municipio de Montecristo de Guerrero Chiapas. Derivado de ello, este trabajo tiene como objetivo caracterizar el sistema de producción de café orgánico que realizan los productores, identificar las principales problemáticas y limitantes que se presenta en el proceso productivo.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La localidad de Toluca se ubica a 14 kilómetros al noroeste del municipio de Montecristo de Guerrero; Chiapas; en las coordenadas 92.738056 de longitud y 15.639167 de latitud, La localidad se encuentra a una altura de 1295 metros sobre el nivel del mar.

Elaboración de cuestionario

Se elaboraron preguntas para describir aspectos como: datos generales del productor, preparación del terreno, variedades empleadas, manejo del cultivo y costos de producción. Se diseñó el instrumento de tal forma que fuera lo más accesible posible para ser entendido por los productores y así obtener información más precisa y confiable.

Toma de muestra

De acuerdo con el padrón de productores proporcionado por la autoridad ejidal se tiene un total de 110 productores, a los cuales se aplicó la fórmula para el cálculo de muestra de una población finita.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Parámetro	Valor
N	110
Z	1.96
P	90%
Q	10%
e	10%
Tamaño de muestra	35

Aplicación de encuestas

Los productores fueron visitados en su domicilio o en su área de trabajo; ahí las encuestas se aplicaron de manera directa, la información recabada se registró en formatos especiales denominadas hojas de respuesta, diseñadas para la captura de datos, estos se analizaron posteriormente en la computadora.

Análisis de datos

Los datos de campo se obtuvieron mediante los cuestionarios, se registraron en hojas de Excel para después analizarlos mediante el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, V17.0).

Resultados y discusión

Características generales del productor

Edad del productor

La edad de los individuos es un factor importante de energía que cada uno ejerce en el proceso productivo, sobre todo si hablamos de individuos que desarrollan tareas donde se requiere la fuerza humana, como es el caso del trabajo de campo. Los resultados obtenidos y que se muestran en el cuadro uno se observa que el 28% de los productores se encuentran en edades de 50 a 59 años, lo cual coincide con lo reportado por la FAO (2014), quien menciona que la edad promedio de los productores es de 54 años y los intervalos de edades van desde 30 hasta 70 años, esto concuerda con la encuesta nacional agropecuaria (ENA, 2019), quien señala que solo 2% de los productores (varones) responsables del manejo y la toma de decisiones en las unidades de producción son jóvenes de 18 a 30 años.

Cuadro 1. Edad de los productores del cultivo de café del ejido Toluca.

Edad de los productores	Porcentaje (%)
30 -39	9
40 - 49	26
50 - 59	28
60 - 69	20
70 -79	13
Total	100

Personas que integran su familia

La mayoría de los productores (65%) tienen de 4 a 6 integrantes en su familia, (Cuadro 2). Cabe mencionar que en los diferentes sistemas de producción de la zona de estudio se emplea la mano de obra familiar (63.4%) para las actividades en todo el proceso productivo. La agricultura familiar es una actividad esencial asociada con temas de seguridad alimentaria, agro diversidad y uso sustentable de los recursos naturales.

Cuadro 2. Número de personas que integran la familia.

Personas que integran la familia	Porcentaje (%)
1 - 3	20
4 - 6	65
7 - 10	15
Total	100

Nivel de escolaridad de los productores

El 34.7% de la población solo tienen nivel de educación primaria terminada, 45.6% tiene primaria incompleta y el 8.7% no la estudió, esto está muy relacionado con la edad promedio que presentan los productores (46.8 años) porque se observa que a mayor edad menor grado de escolaridad (Figura 1).

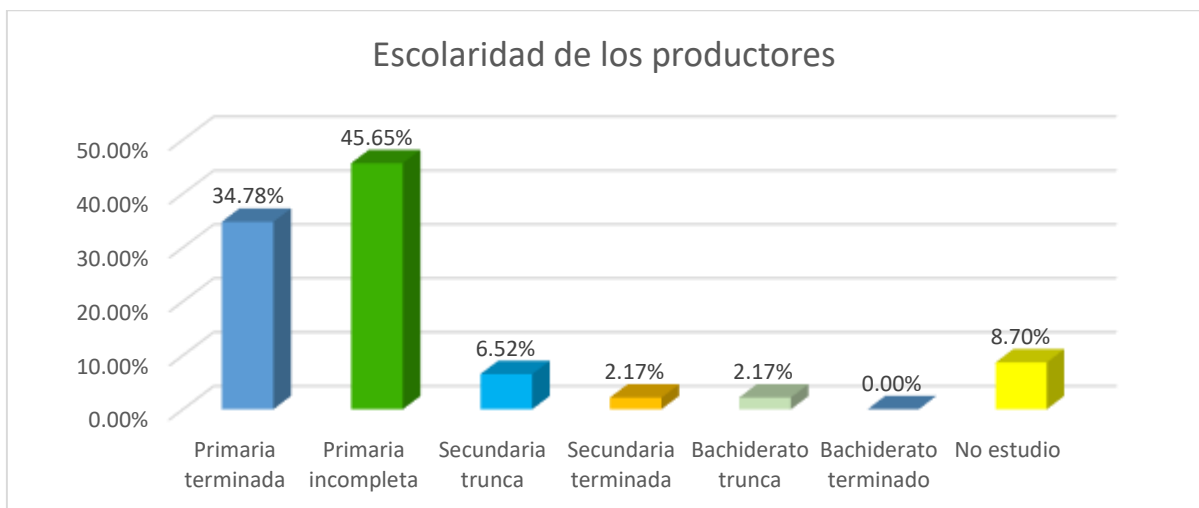


Figura 1. Nivel de escolaridad de los productores.

Otro factor que puede estar influyendo es que habitan en comunidades de alta marginación las cuales carecen de centros educativos, lo que pudo evitar que alcanzaran un mayor grado de estudio. Esta situación ha cambiado actualmente y se espera que habitantes al tener mayores niveles de escolaridad se asocien con mayores tasas de adopción tecnológicas, debido a que el nivel educativo puede hacer que el agricultor sea más receptivo a los consejos de los

extensionistas o tener mayor capacidad para aplicar las recomendaciones técnicas para el uso de tecnologías complejas que requieren cierto grado de instrucción (CIMMYT, 1993).

Uso del suelo

La comunidad tiene en total 2,662 hectáreas. Las principales actividades productivas de la población son el café, maíz y frijol; el primero es la principal fuente de ingresos, el segundo y el tercero son de autoconsumo. La actividad ganadera no se practica. La comunidad dispone de 1500 hectáreas con cubierta forestal, de las cuales en 949 hectáreas recibe ingresos de la CONAFOR por concepto del Pago del Servicio Ambiental Hidrológico. En el área de estudio el cultivo de café se produce principalmente bajo la modalidad orgánica, y de acuerdo con el padrón de la COMCAFE en la localidad, 110 productores cultivan 239.87 ha.

Actividades económicas

En el área de estudio el café fue reportado como la principal fuente de ingresos por el 100% de los entrevistados, sin embargo, en la Figura 2, se observa que el cultivo de café es combinado con otras actividades productivas como el cultivo de frijol y maíz principalmente para autoconsumo. Dentro de las otras actividades señaladas los productores manifestaron que complementan sus ingresos como jornaleros (Figura 2).

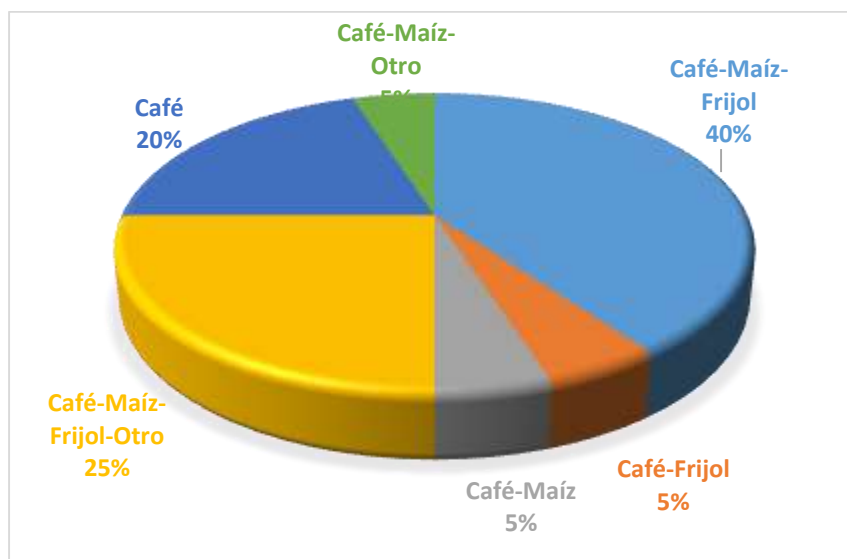


Figura 2. Principales actividades económicas de los productores de café.

La diversificación de las actividades de los productores es una estrategia importante para fortalecer la seguridad alimentaria y mejorar el nivel de vida de las familias productoras de café (Anderzén *et al.*, 2020).

En promedio la superficie de terreno que poseen los habitantes de la comunidad es de 5.5 hectáreas, las cuales en el 70% de los casos se encuentran distribuidas entre dos y cuatro predios. Esto es consecuencia de que la reproducción social de la población se da fundamentalmente en la agricultura, que debe hacer frente al crecimiento natural de la población económicamente activa (PEA). En este escenario, tenemos a los propietarios menores de 5 hectáreas (Tarrio y Concheiro, 2006).

El café está catalogado como la actividad que más utilidades genera, pero también la que más tiempo les requiere, más problemas genera, ocupa más mano de obra y la que más riesgo les genera. Alrededor de la mitad de los productores señaló que el café daña menos al ambiente y que es la actividad que más ha crecido en superficie.

Características de las plantaciones de café

En el área de estudio se encontró que la tenencia de la tierra se encuentra muy fraccionada, es por ello que los productores cultivan el café en una superficie de 3.2 hectáreas en promedio, de los cuales el 60% tiene el cultivo en una sola parcela y el 40% lo tienen fraccionados de dos a cuatro predios superficie en la cual los productores llevan produciendo café 25 años en promedio, en plantaciones que van de los 8 a 50 años edad. Para obtener una mayor producción y aumentar la rentabilidad es importante la inversión en plantas nuevas y la renovación de plantaciones viejas. De acuerdo con Morales y Adame (2021) es importante seguir estrategias para la renovación de las fincas cafetaleras: renovación de las plantas viejas por plantas nuevas y restauración del cultivo viejo con poda.

En cuanto a las variedades cultivadas los productores mencionaron que tienen diferentes variedades establecidas en la misma parcela de las cuales se encontró que las principales son Bourbon (100%), Arábica (95%), Caturra (80%), Marago (40%), Mundo Novo (15%) y Catimor (5%). Esto coincide con un trabajo similar realizado en la zona norte de Chiapas, donde se cultivan principalmente las variedades Caturra, Mundo Novo, Garnica, Oro Azteca, Catimor, Bourbon, Robusta y Costa Rica (Vázquez *et al.*, 2022).

El 100% de los productores produce su propio material de siembra. El 80% obtiene la planta a través del proceso de selección de semilla, construcción de semilleros para obtener pesetillas y desarrollo final de las mismas en bolsas. El 20% obtiene la planta, a partir de las pesetillas que nacen debajo del cafetal las cuales trasplantan a bolsas para su desarrollo final y otro 20% las obtiene directamente de las plántulas que nacen en el cafetal.

Las organizaciones disponen de una determinada estructura jerárquica y de puestos ordenados en unidades; además están orientadas a ciertos objetivos y se caracterizan por una serie de componentes como: poder, control, división del trabajo, liderazgo, motivación y logro de objetivos (Dávila, 2004). En el presente estudio se encontró que los productores pertenecen a una organización productiva, y por orden de importancia se encuentran Agroindustrias Unidas de México (AMSA) (31%), Indígenas de la Sierra Madre de Motozintla, San Isidro Labrador (ISMAM) (31%), Organización de Pequeños Productores de Café (OCAP) (25%) y Triunfo Verde (13%).

Los productores orgánicos tienen en promedio 8 años de experiencia con este sistema de producción con un intervalo de dos a 15 años. El 80% de los productores de café orgánico señalan entre sus ventajas el ahorro en costos de producción, el mejor precio que el convencional, mayores apoyos del gobierno y la obtención de productos más saludable por cultivarlo sin agroquímicos. Sólo 20% de los productores orgánicos señalaron desventajas de este sistema, entre las que destacan mayor ocupación de mano de obra, pagos retrasados y pocos apoyos.

Los cultivos de café en México, la mayoría de los predios cafetaleros se trabajan “bajo sombra” (99%) y más del 70% con sombra diversificada (SAGARPA, 2010), esto quiere decir que se incorporan varios tipos de cultivos que cohabitan, lo cual propicia una condición ambiental de suma importancia al proteger la biodiversidad y ofrecer benéficos servicios de índole ecológica al país. Para el área de estudio se encontró que el 100% de los cafetales se encuentran bajo sombra. Alrededor de 16 especies son usadas como sombra, sin embargo, el chalum (*Inga oerstediana*) es la especie preferida por el 100% de los entrevistados, seguido por el capulín con el 60%, caspirol (*Inga punctata*) con el 35%, palo blanco (*Llex disolor*) y aceituno (*Simarouba glauca*) con 30%. Las otras especies son usadas por menos de la tercera parte de los productores; palo amarillo (*Mahonia sp.*) 25%, palo de blanco (*Mahonia sp.*) 20%, liquidámbar (*Liquidambar styraciflua L*) 20%, trompillo (*Terstoemia tepezapota*) 20%, entre

otros. Además de la presencia de estos árboles dentro del cafetal, un 50% de los productores también intercala árboles frutales como aguacate (*Persea americana*), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limón L*), lima (*Citrus limetta*) y guineo (*Musa paradisiaca*).

Manejo del Cafetal

La eliminación de maleza es una actividad sustancial ya que evita la competencia por agua, luz y nutrientes, además de que pueden ser hospederos alternos de algunas plagas y enfermedades. En el presente estudio se encontró que los productores realizan dos limpiezas al cafetal y ocupan en promedio 8 jornales/hectárea/limpia. La primera limpia es realizada durante el período de marzo-agosto, la segunda durante el período de agosto-noviembre y en pocos casos se realiza una tercera limpia en el mes de noviembre donde la mano de obra es de origen familiar (30%), contratada (30%) o mixta (30%). Otras de las actividades que realizan son las dos primeras limpiezas, la poda, el deshije y los dos cortes de la cosecha. Un 97% realizan replantes, 90% regulan la sombra y sólo el 30% realizan prácticas de conservación de suelos. Se encontró que sólo el 30% de los productores fertilizan los cafetales. Lo hacen sólo una vez al año, durante junio, en donde aplican abonos orgánicos elaborados por ellos mismos con la pulpa del café, cenizas y materia orgánica de origen vegetal y animal en dosis de 3-4 kg/planta. Para el control de plagas los productores señalaron que el 40% presentaron daño por plagas, de los cuales el 88% manifestó que la broca del café es la principal plaga que afecta los cafetales; el 43% de los productores realizar un control mediante la colocación de trampas, por otra parte el 25% señaló que el gusano barrenador como segunda plaga de importancia el cual barrena la raíz, el tallo y la planta; para el control de estas plagas el 50% menciono que realizan el control cultural a través de deshierbes, quitar plantas enfermas o dañadas.

Para el caso de las enfermedades solo el 40% mencionó tener afectaciones por la roya (63% necrosis) y posteriormente la caída de las hojas; para el control de esta enfermedad el 85% de los encuestados mencionó que realizan la regulación de sombra para su control. Esto coincide con lo reportado por Casiano y Paz, (2019) en un estudio realizado en la zona de la Sierra Madre de Chiapas, quien menciona que la causa de la renovación es la muerte de plantas por la enfermedad de la roya del cafeto.

La poda de cafetales es una actividad que es realizada por el 100% de los productores una vez al año durante febrero y mayo, donde ocupan en promedio 10 jornales de los cuales el

85% es mano de obra familiar. Otra actividad común es el deshije el cual el 100% de los productores la realizan una vez al año, entre marzo y octubre; para esta actividad ocupan en promedio nueve jornales con mano de obra de origen familiar (70%).

Otra actividad importante es el replante, ya que ayuda a mantener una buena densidad de población sustituyendo las plantas que estén en mal estado o muertas, esta actividad realizada por el 97% de los productores una vez al año durante junio y julio (73%), para ello ocupan en promedio 5 jornales en su mayoría (70%) de origen familiar.

Los productores también regulan la sombra en sus cafetales, ya que mencionan que les ayuda a reducir la incidencia de enfermedades, además de que la producción mejora, esta actividad es realizada por el 90% de los productores una vez al año durante mayo y junio, ocupando en promedio 8 jornales, en su mayoría (83%) de origen familiar.

La cosecha se realiza en su mayoría (100%) en dos cortes y solo un 10% realiza un tercer corte, el primer corte se realiza en diciembre y enero, y el segundo en febrero y marzo. Se ocupan en promedio entre 20-23 jornales/ha/corte, y la mano de obra, a diferencia de las otras prácticas, en el 60% de los casos es contratada, 25% es familiar y contratada y el resto familiar. Los rendimientos obtenidos van desde los 4.2 a 38 Qq/ha, con un promedio de 12.2 Qq/ha; cabe mencionar que este rendimiento promedio es superior a lo reportado por COMCAFE (7.4 Qq/ha) en el estado de Chiapas. Para la comercialización, el 86% los productores venden la cosecha como café pergamino y el 14% restante como café cereza. Los costos de producción, principalmente mano de obra, son \$8,380/ha, con la que se cubre el costo de 124 jornales que se emplean en todo el proceso productivo, de los cuales el 36% se ocupan en la cosecha, el 15% en las limpias, 12% en la fertilización, y el resto en las otras prácticas de cultivo como regulación de la sombra, poda, deshijes y replantes.

Considerando los costos de producción y el promedio de venta del café se tiene una utilidad media de \$11,778.64 por hectárea. Los productores que presentan los rendimientos más bajos presentan una utilidad negativa si se le asigna un valor económico a la mano de obra familiar y son los productores que no realizan ningún tipo de fertilización a sus cultivos (28%).

Dentro de la problemática encontrada, el 85% de los productores manifestaron que los principales problemas que presentan son el manejo postcosecha entre los que destacan la falta de infraestructura y equipo para realizar el lavado, despulpado y secado del grano. Otros problemas reportados con menor frecuencia son la falta de caminos hacia los cafetales que

limitan el traslado para el mantenimiento, y falta de apoyos económicos para realizar mantenimiento de plantaciones y otros problemas relacionados con la lluvia lo cual ha provocado deslaves e inundaciones.

Conclusiones

Se presentan varios problemas que van desde el manejo del cultivo, beneficio húmedo y seco y falta de infraestructura, y su atención, ayudaría a los productores a mejorar los rendimientos por unidad de superficie.

Literatura citada

- Anderzén, L. A. Guzmán, G. D. V. Luna, S. C. Merrill, M. V. Caswell, E. V. Méndez, et al. 2020. Effects of on-farm diversification strategies on smallholder coffee farmer food security and income sufficiency in Chiapas, México. Revista. J. Rural Studies 77: 33-46.
- Casiano D. M. y Paz P. F., 2019. Opportunity costs of organic coffee production systems in the Sierra Madre de Chiapas, México Rev. Elementos para Políticas Públicas, 3: 257-266.
- CIMMYT, (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas. México DF.
- Dávila 2004. Teorías organizacionales y administración, enfoque crítico. 2ª. Edición. Colombia. Mc Graw Hill.
- ENA (Encuesta nacional Agropecuaria) 2019. Metodología / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, 2020.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/rrdp_ena2019.pdf

FAO-SAGARPA. 2014. Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México. México. 67 p.

Morales, R. E. I. y Adame, M. S. 2021. Caracterización de los agros ecosistemas de producción de café orgánico en cuatro municipios de Chiapas. *Agric. Soc. Des.* 18:197-223.

Pérez, V., Cervantes E., Burstein J., Carlsen L. y Hernández L. 2002. El café en México, Centroamérica y el Caribe. Una Salida Sustentable a la Crisis. Coordinadora de Pequeños Productores de Café de Chiapas, A.C. (Coopcafé) y Coordinadora Nacional de Organizaciones Cafetaleras (CNOC). Noviembre, México.

SAGARPA. 2005. Plan rector del sistema producto café en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Universidad Autónoma de Chapingo y Consejo Poblano del Café. REMEXCAFE S.C. INCA RURAL A.C. México.

SAGARPA, 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación www.sagarpa.gob.mx.

Tarrío G. M. y Concheiro B. L. 2006. Chiapas: los cambios en la tenencia de la tierra. *Argumentos (México, D.F.)*, 19(51), 31-71.

Vázquez-López, Patricia, Espinoza-Arellano, José de Jesús, González-Mancilla, Apolinar, & Guerrero-Ramos, Liliana Angélica. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(spe28), 101-111.

INDUCCIÓN DE FOTOMIXOTROFISMO *in vitro* EN VAINILLA (*Vanilla planifolia*) UTILIZANDO INYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

José Luis Spinoso Castillo⁵⁴, María Karen Serrano Fuentes⁵⁴, Ricardo Sánchez Páez⁵⁴,
Maurilio Mendoza Mexicano⁵⁵ y Jericó Jabín Bello Bello^{56*}

Resumen

Los frutos de vainilla son una fuente natural de vainillina, un compuesto aromático valioso para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. La industria vainillera requiere plantas libres de plagas y enfermedades con la capacidad de sobrevivir en sus primeras etapas de desarrollo. El fotomixotrofismo *in vitro* se refiere a la capacidad de los explantes para obtener energía metabólica del medio de cultivo y como producto de la fotosíntesis. El objetivo de esta investigación fue estudiar los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de *V. planifolia* durante la multiplicación *in vitro* utilizando un sistema fotomixotrófico con diferentes contenidos de sacarosa (0, 15 y 30 g/L) y niveles de suministro de CO₂ (500, 800 y 1200 ppm) usando un Sistema Modular de Inmersión Temporal (SMIT®). A los 45 días de multiplicación, se evaluaron las variables de porcentaje de respuesta, número de brotes por explante, longitud de brotes, número de hojas por brote, índice estomático, porcentaje de estomas cerrados, contenido de clorofila, β-caroteno, Fosfoenolpiruvato (PEP) y Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RUBisCO). Además, se evaluó la tasa de supervivencia durante la aclimatización a los 60 días. En etapa de multiplicación, el mayor porcentaje de respuesta se obtuvo en los tratamientos con 15 g/L de sacarosa con 500 y 800 ppm de CO₂ y 30 g/L de sacarosa con 500 ppm de CO₂. En este último tratamiento se obtuvieron los mejores parámetros de desarrollo, con 14.75 brotes por explante, una longitud de brote de 2.38 cm y 2.5 hojas por brote. En general, los contenidos más altos de clorofila, β-caroteno, PEP y RUBisCO se observaron con 30 g/L de sacarosa + CO₂. No se observaron efectos de los tratamientos sobre el índice estomático, mientras que el porcentaje de estomas cerrados mostró diferencias entre tratamientos. En la etapa de aclimatización, los mayores porcentajes de supervivencia se obtuvieron con los tratamientos de 30 g/L de sacarosa con 500 y 800 ppm de CO₂. En conclusión, este estudio demuestra mecanismos fisiológicos y bioquímicos para una mejor comprensión del fotomixotrofismo durante la multiplicación *in vitro* en vainilla y puede aplicarse a otras especies.

Palabras clave: fotosíntesis, PEP, RUBisCO, aclimatación

⁵⁴ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

⁵⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecmán, Colima, CP. 28100 México.

⁵⁶ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: jericobello@gmail.com

Introducción

La micropropagación mediante sistemas de inmersión temporal (SIT) es una opción para reducir costos de producción, aumentar el rendimiento biológico y reducir el tiempo de cultivo. Los SIT son utilizados para el cultivo de explantes que están expuestos temporalmente en medio de cultivo líquido en biorreactores semiautomatizados para la producción a gran escala de plántulas bajo condiciones controladas. Sin embargo, los explantes obtenidos *in vitro* en biorreactores que utilizan inyección de aire tienen una inestable condición fotomixotrófica ocasionada por el suministro de gases proveniente del compresor. De acuerdo a Gago *et al.* (2022b), el fotomixotrofismo *in vitro* se refiere a la capacidad que tienen las plantas de obtener energía metabólica, ya sea del medio de cultivo y/o como producto de la fotosíntesis. El fotomixotrofismo *in vitro* puede ser inducido mediante el incremento en la irradiancia lumínica, la reducción del contenido de sacarosa e inyección de dióxido de carbono (CO₂) para promover la fotosíntesis. Los efectos fisiológicos del fotomixotrofismo son cambios en el crecimiento y desarrollo *in vitro*, funcionalidad estomática (apertura y cierre de estomas), síntesis de pigmentos fotosintéticos (clorofila y carotenoides), inducción de fotosíntesis mediante la activación enzimática de Fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC), Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RUBisCO) y aumento en la tasa de supervivencia durante la aclimatización. La inyección de CO₂ para inducir el fotomixotrofismo *in vitro* ha sido estudiada en diferentes SIT y especies vegetales como el biorreactor de inmersión temporal (BIT®) en piña (*Ananas comosus* L.) (Escalona *et al.*, 2003) y plátano (*Musa AAB*, CEMSA 3/4) (Aragón *et al.*, 2010), el recipiente de inmersión temporal automatizado (RITA®) en especies como el sauce (*Salix viminalis* L.) (Gago *et al.*, 2021) y la ciruela (*Prunus domestica* L.) (Gago *et al.*, 2022a), y Plantform™ en nuez (*Castanea sativa* x *C. crenata*) (Gago *et al.*, 2022b). La micropropagación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) utilizando SIT ha sido realizada por Ramos-Castellá *et al.* (2014), Spinoso-Castillo *et al.* (2017), Ramírez-Mosqueda *et al.* (2016), y Ramírez-Mosqueda y Bello-Bello (2021). Sin embargo, no se han estudiado los efectos fisiológicos y bioquímicos del fotomixotrofismo *in vitro* en esta especie para aumentar la tasa de supervivencia *ex vitro*. La vainilla es importante debido a que sus frutos son fuente natural de vainillina, compuesto aromático que es aprovechado por la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Actualmente, *V. planifolia*, está clasificada en la categoría B2ab (iii,

v) “En peligro” de la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (<http://www.iucnredlist.org> consultado el 06 de febrero de 2024) versión 3.1. El objetivo de este estudio fue estudiar los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de *V. planifolia* durante la multiplicación *in vitro* en un sistema fotomixotrófico mediante diferentes concentraciones de sacarosa y suministro de CO₂ utilizando un Sistema Modular de Inmersión Temporal (SMIT®).

Materiales y métodos

Material vegetal y multiplicación *in vitro*

Se utilizaron brotes como explantes previamente establecidos y multiplicados en el Laboratorio de cultivos de tejidos vegetales del Colegio de Postgraduados campus Córdoba, ubicado en la Carretera Estatal Córdoba – Veracruz, Km. 348.5, 94953, Córdoba, Veracruz. Los explantes consistieron en dos brotes unidos (2 cm de largo) de *V. planifolia* obtenidos después de cuatro subcultivos de 45 días cada uno cultivados en medio de multiplicación MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con 2 mg/L BAP (6-bencilaminopurina, Merck KGaA®, Darmstadt, DE), se utilizaron 30 g/L de sacarosa y 2.2 g/L de phytigel™ (Merck KGaA®) como agente gelificante. El pH se ajustó a 5.8 antes de esterilizarlo en autoclave a 1.2 kg/cm² durante 15 min a 120°C. Todos los cultivos se mantuvieron a una temperatura de 25 ± 2°C, con un fotoperiodo de luz/oscuridad de 16/8 h, bajo una irradiancia de luz de 40 ± 5 µmol/m²/s utilizando lámparas LED de luz blanca. Para la etapa de multiplicación, los explantes se cultivaron por un período de 45 días en un sistema modular de inmersión temporal (SMIT®) (InvitroOrquid, ciudad de México, MX). Los explantes se sumergieron en medio líquido MS de multiplicación suplementado con diferentes concentraciones de sacarosa (0, 15 y 30 g/L) y con diferentes concentraciones de CO₂ (500, 800 y 1200 ppm) en los biorreactores SMIT. Los niveles de inyección de CO₂ se establecieron y mantuvieron durante todo el período del experimento. Para el SIT se utilizaron 135 explantes (cinco explantes/por 1 L SMIT-biorreactor) con 250 mL de medio de multiplicación líquido por recipiente (es decir, 50 mL/explante), con 2 min por inmersión cada 4 h según Ramos-Castellá *et al.* (2014). Se utilizaron tres contenedores por tratamiento. Después de 45 días, se evaluó la respuesta de los brotes, número de brotes por

explante, longitud de los brotes, número de hojas por brote, estomas cerrados, índice estomático, contenido total de clorofila, contenido de carotenoides y contenido de Fosfoenolpiruvato (PEP) y Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RUBisCO). Además, se evaluó la tasa de supervivencia durante la aclimatización a los 60 días.

Determinación de clorofila y carotenoides

El contenido de clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) y Chl total se estimó según Harborne (1973); mientras que el contenido de carotenoides (β -caroteno) se determinó siguiendo el método propuesto por Biehler *et al.* (2010). Para todos los experimentos se utilizaron 0.2 g de materia fresca y se maceraron con 80% de acetona. Finalmente, las absorbancias se midieron en un espectrofotómetro (G10S, Thermo Fischer Scientific®, Waltham, MA, USA) a 663 y 645 nm para la clorofila a y b, respectivamente, mientras que para el contenido de β -caroteno se midió a 450 nm.

Índice estomático y determinación de estomas cerrados

El porcentaje de estomas cerrados %EC y el índice estomático (IE) en hojas de brotes cultivados en diferentes tratamientos se midieron según Xu y Zhou (2008). Las muestras se examinaron bajo un microscopio (Axio Lab. A1, ZEISS, Oberkochen, DEU) para estimar el número de estomas y células epidérmicas por mm². El porcentaje de estomas cerrados se calculó a partir del número total de estomas y del número de estomas cerrados observados en la muestra.

Determinación de Fosfoenolpiruvato (PEP) y Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RUBisCO)

Para la determinación de PEP, se utilizó un kit de ensayo colorimétrico (MAK102, Merck KGaA®). Se pulverizaron minuciosamente muestras de tejido foliar de 50 mg con mortero. Luego, se transfirió a un tubo de microcentrífuga y se agregaron 100 μ L de ácido perclórico helado 3 M y se agitó. La absorbancia se midió a 570 nm con un espectrofotómetro UV-Vis (G10S, Thermo Fischer Scientific®). Para la determinación de Rubisco, se utilizó un ensayo Plant Rubisco ELISA Kit (NOVUSBIO®, Centennial, CO, USA). Se pulverizaron minuciosamente muestras de tejido foliar de 100 mg en un mortero y se añadieron 500 μ L de

tampón de extracción de muestras y se realizó una dilución doble con diluyente de muestras. La absorbancia se midió a 450 nm con un espectrofotómetro UV-Vis (G10S, Thermo Fischer Scientific®).

Aclimatación

Se trasplantaron brotes (2-3 cm de largo, sin raíces) de todos los tratamientos en 50 × 30 × 7 cm utilizando bandejas de polipropileno de 38 cavidades con una mezcla 1:1:1 de aserrín de cedro, compost y roca volcánica como sustrato y transferidos a un invernadero. Las plántulas se regaron tres veces por semana y se aplicó fertilizante foliar (Grogreen® Campbell Co. De Rochelle, IL). Después de 60 días en condiciones de invernadero, se evaluó la tasa de supervivencia para cada tratamiento.

Análisis estadístico

Después del período de cultivo mencionado anteriormente, las mediciones se realizaron utilizando explantes de respuesta completa. Los experimentos se realizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de las variables de desarrollo registradas para las combinaciones sacarosa × CO₂ (niveles) y se repitieron tres veces. Los datos obtenidos fueron probados con un análisis de varianza seguido de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), realizado con el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences para Windows versión 22.

Resultados y discusión

Evaluación de fuentes de carbono durante la multiplicación *in vitro*

Al evaluar el efecto de diferentes concentraciones de sacarosa y CO₂ sobre la multiplicación *in vitro* de brotes de *V. planifolia* se observaron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de respuesta, número de brotes por explante, longitud de brote y número de hojas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la inyección de sacarosa y CO₂ sobre la multiplicación *in vitro* de vainilla (*V. planifolia*).

Sacarosa (g)	CO ₂ (ppm)	Respuesta (%)	Número de brotes por explante	Longitud de Brote (cm)	Número de hojas por brote
0	500	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
	800	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
	1200	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
15	500	100.00±0.00a	8.25±0.37b	2.54±0.09a	2.58±0.14a
	800	91.66±8.33a	8.13±0.52b	2.55±0.09a	2.50±0.15a
	1200	66.66±8.33b	8.25±0.37b	2.48±0.09a	1.58±0.14b
30	500	100.00±0.00a	14.25±0.67a	2.08±0.06b	2.50±0.15a
	800	83.33±8.33ab	14.13±0.55a	2.01±0.07b	1.83±0.24b
	1200	66.66±8.33b	14.75±0.86a	2.09±0.07b	1.33±0.14b
<i>p</i> -valor					
<i>p</i> (sacarosa)		0.000	0.000	0.000	0.000
<i>p</i> (CO ₂)		0.000	0.791	0.922	0.000
<i>p</i> (sacarosa × CO ₂)		0.036	0.906	0.640	0.000

Los valores representan la media ± ES (error estándar). Letras diferentes indican significancia estadística (Tukey, $p < 0.05$) entre columnas.

El análisis factorial mostró interacción entre concentraciones de sacarosa y CO₂ para las variables porcentaje de respuesta y número de hojas por brote. Para el porcentaje de respuesta, las plántulas tratadas con 15 g de sacarosa suplementado con 500 y 800 ppm de CO₂ y 30 g suplementado con 500 ppm de CO₂ mostraron la mayor respuesta. El mayor número de brotes por explante se observó en los tratamientos con 30 g de sacarosa con suplemento de 500, 800 y 1200 ppm de CO₂. Para la variable longitud de brote, los brotes de mayor longitud se observaron en el tratamiento con 15 g de sacarosa suplementado con 500, 800 y 1200 ppm de CO₂. Respecto al número de hojas, la mayor cantidad de hojas se obtuvieron en los tratamientos con 15 g de sacarosa suplementado con 500 y 800 ppm de CO₂ y 30 g de sacarosa suplementado con 500 ppm de CO₂.

En este estudio se demuestra el efecto de las diferentes concentraciones de sacarosa y CO₂ durante la multiplicación *in vitro* de vainilla. La nula respuesta de los explantes en el tratamiento sin sacarosa suplementado con CO₂, indica la necesidad de los explantes a la principal fuente de carbono en el medio de cultivo MS; sin embargo, el incremento en el porcentaje de respuesta en los tratamientos con 15 g de sacarosa suplementado con 500 y 800 ppm de CO₂ indica la necesidad de fuentes de C, tanto del medio de cultivo como o suplemento de CO₂. Respecto al tratamiento de 30 g de sacarosa suplementado con 500 ppm de CO₂, podría indicar que el contenido de sacarosa del medio de cultivo MS y suplemento de CO₂ del compresor es suficiente para cubrir la demanda de C de los explantes en este SIT evaluado. Por otro lado, los bajos porcentajes de respuesta en los tratamientos con sacarosa y suplemento de 1200 ppm de CO₂ podría estar relacionado con un efecto tóxico para los explantes ocasionado por el exceso de C suplementado en forma de gas. Fortini *et al.* (2021) encontraron efectos tóxicos sobre el metabolismo primario de *Vernonia condensata* a una concentración de 30 g/L de sacarosa y suplementada con 25 ppm de CO₂ en matraces con doble membrana permeable y bajo ventilación forzada. De acuerdo con Fortini *et al.* (2021), la toxicidad pudo ser debida a niveles elevados de especies reactivas de oxígeno que pueden estar asociados con el estrés causado por la baja suplementación de la fuente de carbono, la alta humedad y el bajo intercambio de gases. El mayor número de brotes por explante obtenido en los tratamientos con 30 g de sacarosa + CO₂ confirma la necesidad del C suplementado en forma de sacarosa en el medio de cultivo MS. La mayor longitud de brotes en los tratamientos con 15 g de sacarosa y suplemento de CO₂ podría explicarse debido a un bajo número de brotes que reduce la competencia entre los explantes por luz, espacio y los componentes del medio de cultivo.

Determinación de clorofila y carotenoides

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran un efecto de la sacarosa y CO₂ sobre el contenido de clorofila y carotenoides (β -caroteno) (Cuadro 2). En relación al contenido de clorofila, los mayores contenidos de clorofila se observaron en los tratamientos con 30 g de sacarosa suplementado con 500, 800 y 1200 ppm de CO₂. Respecto al contenido de carotenoides, el mayor contenido de β -caroteno se observó en los tratamientos con 30 g de sacarosa suplementado con 500, 800 y 1200 ppm de CO₂. Además, el análisis factorial mostró

interacción entre concentraciones de sacarosa y CO_2 ($p < 0.05$). El aumento de la concentración de CO_2 dentro de los biorreactores y con cantidad normal de sacarosa en el medio de cultivo MS, permitió el incremento del contenido de clorofila en los explantes sobrevivientes. Sin embargo, a concentraciones de 15 g de sacarosa y suplementación de CO_2 , el contenido de clorofila disminuyó probablemente debido a una baja disponibilidad de C orgánico del medio de cultivo. Por lo tanto, el contenido de pigmentos fotosintéticos es un indicador del estado funcional del sistema fotosintético que permite seleccionar plántulas de mejor calidad antes de ser transferidas a condiciones *ex vitro*. Con respecto al contenido de carotenoides, estos juegan un papel importante en la fotoprotección de los fotosistemas I y II. La biosíntesis de carotenoides está regulada por la fitoeno sintasa inducida en respuesta a varios factores como la irradiancia lumínica, el fotoperíodo y longitud de onda (Hirschberg *et al.*, 2001). El sistema fotosintético contiene pigmentos esenciales como carotenoides que aumentan la captura de luz y la fotoprotección; además, de evitar el daño fotoinhibidor al aparato fotoquímico. Desde la perspectiva de la fuente de carbono del medio de cultivo, se puede inferir que una mayor concentración de CO_2 y la suplementación con sacarosa al 100% conducen a un aumento en el contenido de carotenoides y clorofilas.

Índice estomático y determinación de estomas cerrados

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran un efecto de la sacarosa y CO_2 sobre el índice estomático y porcentaje de estomas cerrados (Cuadro 2). En relación al índice estomático, no se observaron diferencias significativas en todos los tratamientos. Respecto al porcentaje de estomas cerrados, el mayor porcentaje se observó en el tratamiento con 15 g de sacarosa suplementado con 500 ppm de CO_2 . El IE es una característica fisiológica que mide la relación entre el número de estomas por número de células estomáticas y epidérmicas, y se ve influenciado por la disponibilidad de agua, RH, estrés hídrico y la luz. En este estudio, las diferentes concentraciones de sacarosa y CO_2 no tuvieron efecto sobre el IE. Este hecho probablemente fue debido a que la anatomía de las hojas CAM tiene características como poseer grandes células de clorénquima y aerénquima estrechamente empaquetadas, y la acumulación de cera intracuticular y epicuticular, que les permite acoplarse a diferentes ambientes, sin tener efectos *in vitro* bajo las condiciones de cultivo evaluadas. En este estudio, la disminución del %EC en los tratamientos con 30 g/L + CO_2 probablemente se debe a un

exceso de CO₂ tanto del medio de cultivo en forma de sacarosa como el suministrado por inyección, que induce una mayor fijación de CO₂ del medio de cultivo y el de la atmósfera en el biorreactor. Además, una mayor concentración de CO₂ dentro de las células vegetales las CAM aumenta la eficiencia de la fijación de carbono por parte de Rubisco (Silvera *et al.*, 2010).

Determinación de PEP y RUBisCO

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran un efecto de la sacarosa y CO₂ sobre el contenido de PEP y RUBisCO (Cuadro 2). Respecto al contenido de PEP, su mayor contenido se observó en los tratamientos con 30 g de sacarosa con inyección de 500, 800 y 1200 ppm de CO₂. En relación con el contenido de RUBisCO, los mayores contenidos de RUBisCO se observaron en los tratamientos con 30 g de sacarosa con inyección de 500, 800 y 1200 ppm de CO₂, y 15 g de sacarosa con inyección de 1200 ppm de CO₂. Las diferentes concentraciones de sacarosa y CO₂ durante la multiplicación *in vitro* de vainilla tuvieron efectos sobre el contenido de PEP y RUBisCO. El mayor contenido de PEP con 30 g/L + CO₂ demuestra un efecto fotomixotrófico bajo las condiciones de cultivo evaluadas. El fotomixotrofismo se refiere a la capacidad que tiene las plantas de obtener energía metabólica, ya sea del medio de cultivo y como producto de la fotosíntesis (Gago *et al.*, 2022a). Aragón *et al.* (2010) en plátano observaron que, las plántulas tuvieron un incremento en el contenido de PEP a dosis de 1200 ppm de CO₂ utilizando BIT. El contenido de PEP es un indicador de la actividad enzimática de PEPC (Fosfoenolpiruvato carboxilasa), la enzima PEPC funciona para la fijación de CO₂ durante la fase oscura de fotosíntesis y por lo tanto promueve una mayor tasa fotosintética (Hurtado-Gaitán *et al.*, 2021), tanto en plantas C₄ y CAM. Respecto a RUBisCO, el contenido fue más alto que PEP en todos los tratamientos. El contenido de RUBisCO es importante para la fijación de CO₂. En plántulas de *P. cynaroides*, Wu y Lin (2013) reportaron que no hubo diferencias significativas en la actividad de RUBisCO *in vitro* utilizando frascos con membrana con 30 g/L de sacarosa y dosis elevadas de 1000, 5000 y 10000 ppm de CO₂. En plántulas de *V. vinífera*, Zhao *et al.* (2019) mencionan que, la actividad de RUBisCO *in vitro* utilizando frascos con membrana fue mayor con 20 g/L de sacarosa y a una dosis elevada de 1000 ppm de CO₂. En este estudio, el alto contenido de RUBisCO respecto a PEP podría explicarse debido a que tiene afinidad tanto por el CO₂ durante la fotosíntesis como por O₂ durante la fotorrespiración.

El CO₂ y el O₂ son sustratos competitivos para RUBisCO, la concentración relativa de O₂ y CO₂ determina cuál será el sustrato de RUBisCO. Sin embargo, a concentraciones de 15 g de sacarosa y suplementación de 500 y 800 de CO₂, el metabolismo primario se ve afectado, así como la actividad enzimática de PEP y RUBisCO por disminución de sacarosa y mayores tasas de intercambio de gases.

Cuadro 2. Efecto de la inyección de sacarosa y CO₂ sobre parámetros fisiológicos y bioquímicos durante la multiplicación *in vitro* y porcentaje de supervivencia durante la aclimatización de vainilla (*V. planifolia*).

Sacarosa (g)	CO ₂ (ppm)	Chl a (mg/g PF)	Chl b (mg/g PF)	Chl Total (mg/g PF)	β-caroteno (mg/g PF)	Índice estomático (%)	Estomas cerrados (%)	PEP (nmol/g PF)	RUBisCO (nmol/g PF)	Supervivencia (%)
15	500	0.03±0.00b	0.06±0.00c	0.09±0.00c	0.91±0.03b	20.70±0.70a	30.52±2.41a	3.44±0.06b	26.95±0.01b	60.00±5.77c
	800	0.04±0.00b	0.06±0.00c	0.11±0.00c	1.06±0.06b	20.00±0.00a	27.50±2.83ab	3.51±0.01b	26.98±0.03b	63.33±3.33bc
	1200	0.08±0.00a	0.08±0.00ab	0.14±0.01b	1.27±0.21ab	20.00±0.00a	25.97±0.85ab	4.76±0.73ab	27.47±0.04a	36.66±3.33d
30	500	0.11±0.00a	0.10±0.00a	0.18±0.00a	1.71±0.06a	20.00±0.00a	21.06±1.24bc	5.57±0.29a	27.28±0.11a	93.33±1.66a
	800	0.10±0.01a	0.10±0.00a	0.21±0.00a	1.72±0.05a	20.00±0.00a	19.19±1.53bc	5.47±0.26a	27.44±0.03a	91.66±1.66a
	1200	0.12±0.00a	0.11±0.00a	0.22±0.01a	1.71±0.09a	20.00±0.00a	17.34±0.33c	5.23±0.40a	27.37±0.05a	78.33±1.66b
<i>p</i> -valor										
<i>p</i> (sacarosa)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.337	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>p</i> (CO ₂)		0.002	0.085	0.000	0.220	0.397	0.102	0.329	0.000	0.000
<i>p</i> (sacarosa × CO ₂)		0.186	0.132	0.008	0.244	0.397	0.057	0.065	0.000	0.162

Los valores representan la media ± ES (error estándar). Letras diferentes indican significancia estadística (Tukey, $p < 0.05$) entre columnas.

Aclimatación

La aclimatación es la etapa final de la micropropagación. Los brotes de explantes que respondieron a los tratamientos fueron llevados a fase de aclimatización después de 45 días de cultivo. En esta etapa, la mayor supervivencia de los brotes se obtuvo en los tratamientos con 30 g de sacarosa con inyección de 500 y 800 ppm de CO₂; mientras que, la menor supervivencia se observó en el tratamiento con 15 g de sacarosa con inyección de 1200 ppm de CO₂, con 36.6% después de 60 días de aclimatización. La alta tasa de supervivencia (91.6 y 93.3%) de los brotes provenientes de los tratamientos con 30 g de sacarosa con inyección de 500 y 800 ppm de CO₂ durante la aclimatización asegura la eficiencia del protocolo de propagación *in vitro* de *V. planifolia*. Además, estos altos porcentajes de sobrevivencia de brotes sin raíz podrían deberse a las prácticas adecuadas de manejo de las plántulas en el invernadero, como fertilización, riego, humedad relativa (HR) e incremento de la irradiancia. Las especies de vainilla son plantas con pocos requerimientos de cuidado debido a su metabolismo CAM (Langlé-Argüello *et al.*, 2019). La propagación *in vitro* en biorreactores con suplementación de CO₂ mejoran la capacidad fotomixotrófica de los explantes previo a la etapa de aclimatización. Sin embargo, el CO₂ en exceso, dosis mayores a 1200 ppm probablemente podrían afectar el crecimiento y el metabolismo de las plantas debido a un daño fitotóxico. Por lo tanto, no es recomendable utilizar dosis iguales o superiores a 1200 ppm de CO₂. En este estudio, encontramos que las diferentes concentraciones de sacarosa + CO₂ afectó el porcentaje de respuesta, número de brotes por explante, longitud de los brotes, número de hojas por brote, porcentaje de estomas cerrados, contenido total de clorofila, contenido de carotenoides y contenido de PEP y RUBisCO durante la multiplicación *in vitro* de vainilla. La suplementación de CO₂ ha sido estudiada como una estrategia para producir plántulas con mayor capacidad para sobrevivir bajo condiciones *ex vitro* durante la aclimatización.

Conclusiones

Se demostró la capacidad fotomixotrófica de explantes de vainilla utilizando biorreactores SMIT® con la concentración y dosis de 30 g de sacarosa + 500 y 800 ppm de suplementación de CO₂. Las diferentes concentraciones de sacarosa y CO₂ tuvieron un efecto sobre las

variables de desarrollo, anatómicas y fisiológicas. Además, 30 g de sacarosa y concentración ambiental de 500 ppm CO₂ que emite el compresor podría considerarse adecuada durante la multiplicación *in vitro* de vainilla.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET), número de proyecto: CP 2710 1427/2023.

Literatura citada

- Aragón, C. E., M. Escalona, R. Rodríguez et al. 2010. Effect of sucrose, light, and carbon dioxide on plantain micropropagation in temporary immersion bioreactors. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant* 46:89–94. <https://doi.org/10.1007/s11627-009-9246-2>.
- Biehler, E., F. Mayer, L. Hoffmann et al. 2010. Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. *J Food Sci* 75:55–61.
- Escalona, M., G. Samson, C. Borroto et al. 2003. Physiology of effects of temporary immersion bioreactors on micropropagated pineapple plantlets. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant* 39:651–656. <https://doi.org/10.1079/IVP2003473>.
- Fortini, E. A., D. S. Batista, T. C. Mamedes-Rodrigues et al. 2021. Gas exchange rates and sucrose concentrations affect plant growth and production of flavonoids in *Vernonia condensata* grown *in vitro*. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 144:593–605. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01981-5>.

- Gago, D., S. Vilavert, M. Bernal et al. 2021. The effect of sucrose supplementation on the micropropagation of *Salix viminalis* L. shoots in semisolid medium and temporary immersion bioreactors. *Forests* 12:1408. <https://doi.org/10.3390/f12101408>.
- Gago, D., C. Sánchez, A. Aldrey et al. 2022a. Micropropagation of plum (*Prunus domestica* L.) in bioreactors using photomixotrophic and photoautotrophic conditions. *Horticulturae* 8:286. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040286>.
- Gago, D., M. Bernal, C. Sánchez et al. 2022b. Effect of sucrose on growth and stress status of *Castanea sativa* x *C. crenata* shoots cultured in liquid medium. *Plants* 11:965. <https://doi.org/10.3390/plants11070965>.
- Harborne, J. B. 1973. Compuestos fenólicos en Métodos fitoquímicos. Springer, Dordrecht, Holanda, pp 33-88.
- Hirschberg, J. 2001. Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Curr Opin Plant Biol* 4:210–218.
- Hurtado-Gaitán, E., S. Sellés-Marchart, J. Hartwell et al. 2021. Down-regulation of phosphoenolpyruvate carboxylase kinase in grapevine cell cultures and leaves is linked to enhanced resveratrol biosynthesis. *Biomolecules* 11:1641. <https://doi.org/10.3390/biom11111641>.
- Langlé-Argüello, L. A., G. A. Martínez-Gutiérrez, P. A. Santiago-García et al. 2019. Nutrient solutions and drought in plant growth and fructans content of *Agave potatorum* Zucc. *HortScience horts* 54:1581–1584. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14129-19>.
- Murashige, T. y F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473-497.

- Ramírez-Mosqueda, M. A. y J. J. Bello-Bello. 2021. SETIS™ bioreactor increases *in vitro* multiplication and shoot length in vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews) Acta Physiol Plant 43:1–8. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03227-z>
- Ramírez-Mosqueda, M. A., L. G. Iglesias-Andreu, G. Ramírez-Madero et al. 2016. Micropropagation of *Stevia rebaudiana* Bert. in temporary immersion systems and evaluation of genetic fidelity. S Afr J Bot 106:238–243. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.015>.
- Ramos-Castellá, A., L. G. Iglesias-Andreu, J. Bello-Bello et al. 2014. Improved propagation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews) using a temporary immersion system. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant* 50:576–581. <https://doi.org/10.1007/s11627-014-9602-8>
- Silvera, K., K. M. Neubig, W. M. Whitten et al. 2010. Evolution along the crassulacean acid metabolism continuum. *Funct Plant Biol* 37:995–1010. <https://doi.org/10.1071/FP10084>
- Spinoso-Castillo, J. L., R. A. Chávez-Santoscoy, N. Bogdanchikova et al. 2017. Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on *in vitro* regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 129:195–207. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1169-8>.
- Wu, H. C. y C. C. Lin. 2013. Carbon dioxide enrichment during photoautotrophic micropropagation of *Protea cynaroides* L. plantlets improves *in vitro* growth, net photosynthetic rate, and acclimatization. *HortScience* 48:1293-1297.
- Xu, Z. y G. Zhou. 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *J Exp Bot* 59:3317-3325. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern185>.

Zhao, X., W. F. Li, Y. Wang et al. 2019. Elevated CO₂ concentration promotes photosynthesis of grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Pinot noir') plantlet *in vitro* by regulating RbcS and Rca revealed by proteomic and transcriptomic profiles. BMC Plant Biol 19:42. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1644-y>.

INOCULACIÓN DE *Azospirillum brasilense* DURANTE LA FASE DE ACLIMATIZACIÓN DE VAINILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews)

Víctor Adrián Delgado Rivera⁵⁷, Aurora Vázquez Rodríguez⁵⁸, Ricardo Sánchez Páez⁵⁷,
Maurilio Mendoza Mexicano⁵⁹ y Jericó Jabín Bello Bello⁶⁰

Resumen

Las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) se encuentran en la rizosfera en interacción directa con las raíces de las plantas, mejorando el desarrollo de los cultivos de manera sustentable. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de RPCV (*Azospirillum brasilense*) sobre el desarrollo *ex vitro* de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). La inoculación de las plántulas de vainilla se realizó con diferentes dosis (0, 0.5×10^6 , 1×10^6 , 1.5×10^6 UFC por plántula) de *A. brasilense* durante la fase de aclimatización. A los 60 días de inoculación, se evaluó el porcentaje de supervivencia, longitud de las plántulas y el número de hojas. Se observó un efecto de las diferentes dosis de RPCV sobre las variables evaluadas. La dosis de 1.5×10^6 UFC por plántula, obtuvo 96% de supervivencia, mientras que el control mostró una supervivencia del 68%. Esto demuestra que la inoculación de RPCV (*A. brasilense*) en plántulas de vainilla es una alternativa para aumentar la supervivencia durante la fase de aclimatización, permitiendo un endurecimiento del cultivo previo al trasplante en campo.

Palabras clave: micropropagación, supervivencia, rizobacterias

Introducción

En la rizosfera habitan rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), que mejoran de forma directa o indirecta el crecimiento y la salud de las plantas (Santoyo *et al.*, 2021, Gupta *et al.*, 2024).

⁵⁷ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

⁵⁸ Universidad Politécnica de Huatusco, México. Unidad Académica de Biotecnología y Agroindustria. Veracruz, Huatusco de Chicueellar, 94106.

⁵⁹ INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Carretera federal Veracruz Córdoba Km. 34, 91700 Veracruz, México.

⁶⁰ CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: J.J. B- B. jericobello@gmail.com

Las rizobacterias también son utilizadas como biofertilizantes debido a que promueven el crecimiento vegetal al suministrar macro y micronutrientes de fácil disponibilidad, así como fijación biológica de nitrógeno y solubilización de fósforo (Nosheen *et al.*, 2021). *A. brasilense* es una bacteria Gramnegativa, microaerófila, no fermentativa y fijadora de nitrógeno (Ferreira y dos Santos 2020). La inoculación de *A. brasilense* ha sido implementada en cultivos como fresa (*Fragaria x ananassa* Duchesne) (Oliverira *et al.*, 2024), jojoba (*Simmondsia chinensis*) (Larraburu *et al.*, 2016) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Santos *et al.*, 2020).

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews), es una especie de la familia Orchidaceae, perteneciente al género *Vanilla* el cual agrupa alrededor de 140 especies (de Oliveira *et al.*, 2022). Sin embargo, *V. planifolia* es una orquídea de importancia económica, cultural y ecológica, esto gracias a la vainillina, compuesto natural presente en sus frutos y de gran interés para la industria alimentaria, cosméticos y farmacéutica (Yeh *et al.*, 2021). A pesar de que México es el centro de origen de la vainilla, el cultivo presenta problemáticas debido a la pérdida de hábitat, la depredación, la sobreexplotación y actualmente los cambios climáticos que le provocan inundaciones o sequías al ser una planta de hábitat tropical (Armenta-Montero *et al.*, 2022). En la actualidad, la vainilla se encuentra en la categoría sujeta a protección especial por NOM-059 (SEMARNAT, 2010), y a nivel internacional se encuentra en la categoría en peligro B2ab(iii,v) por La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (<http://www.iucnredlist.org>, consultado el 23 de enero de 2024). Debido a lo anterior y su importancia económica de la vainilla, el cultivo de tejidos vegetales surge como una alternativa biotecnológica la cual permite la micropropagación de especies vegetales en condiciones controladas y de completa asepsia (Abdalla *et al.*, 2022). Sin embargo, la implementación de la microbiología en el CTV ayudaría a mejorar procesos, como lo es la implementación de rizobacterias en la fase de aclimatización (Tkachenko *et al.*, 2023). Dentro de la micropropagación, la etapa de aclimatización es la última fase que implica trasladar las plántulas *in vitro* a condiciones *ex vitro* donde las plántulas pasan por un proceso de acoplamiento (Mohammed *et al.*, 2023), al ser expuestas a factores bióticos y abióticos; pueden sufrir estrés lo cual puede repercutir en su desarrollo y supervivencia (Jalmi y Sinha 2022). Este proceso facilita la inoculación temprana de rizobacterias que favorecen el desarrollo e incrementan la tasa de supervivencia y el endurecimiento de las plantas en la fase de aclimatización antes del trasplante al campo (Elnahal *et al.*, 2022).

Las bacterias que presentan asociación con orquídeas han demostrado una relación con las plantas y pueden tener efectos positivos como promover la salud de estas, mejorando la absorción de nutrientes (Herrera *et al.*, 2022). La inoculación de rizobacterias en plantas en la fase de aclimatización ha presentado efectos benéficos en algunas especies de orquídeas dentro de los géneros *Phalaenopsis*, *Cymbidium*, y *Dendrobium* (Medeiros *et al.* 2023).

Las rizobacterias presentan potencial en el desarrollo y supervivencia de las plantas por lo que su aplicación en el cultivo de vainilla podría resultar benéfica. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de rizobacteria (*A. brasilense*) en el desarrollo *ex vitro* de plántulas de *V. planifolia* durante la etapa de aclimatización.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Colegio de Posgraduados-Campus Córdoba, Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, C.P. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Localizado a 19° 27' latitud Norte y 98° 53' longitud Oeste, a 720 msnm. El laboratorio cuenta con la certificación ante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

Material vegetal

Se utilizaron brotes de vainilla de 2 cm de longitud, previamente establecidos los cuales fueron cultivados en medio MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con 2 mg/L de bencilaminopurina (BAP) (Merck® KGaA, Darmstadt, DE), y 30 g/L de sacarosa. El medio MS fue ajustado a pH de 5.8 ± 2 y se agregaron 2.5 g/L phytigel (Merck® KGaA, Darmstadt, DE) como agente gelificante. El medio se esterilizó en una autoclave a 120°C y 115 kPa durante 15 min. Los cultivos fueron incubados a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ en un fotoperiodo de 16 h bajo luz LED (50 $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$). Se realizaron tres subcultivos en periodos de 60 días.

Enraizamiento de brotes de vainilla

Los brotes de vainilla de 3 cm de longitud fueron transferidos a medio MS de enraizamiento adicionado con 30 g/L de sacarosa, sin reguladores de crecimiento por 40 días hasta la presencia de raíces, las plántulas fueron transferidas a condiciones de invernadero.

Caracterización de *Azospirillum brasilense*

Para realizar la caracterización se aisló una gota del producto (AZOSPIRILLUM – GREEN®) en medio Agar Papa dextrosa (BD Bioxon®) para el cual se agregaron 39 g/L de Agar Papa Dextrosa (APD) y se llevó a esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 min, posteriormente dentro de una campana de flujo fueron vertidos 30 ml de medio en cajas Petri de 10 cm.

La inoculación en el medio APD se realizó tomando una muestra del primer aislamiento del producto en APD con un asa bacteriológica para realizar un estriado en cuadrantes. Después de una incubación de 48 horas se tomó nuevamente una muestra y se realizó un frotis en un portaobjetos, sometiéndolo a calor para fijar la muestra.

A la muestra obtenida se le realizó una tinción siguiendo la metodología de Gram (Brown y Hopps 1973) (Equipo de Gram Golden Bell®), se agregó una gota de cristal violeta sobre la muestra y se dejó reposar durante 60 segundos. Posteriormente, se limpió el exceso de colorante con agua destilada, a continuación, se le agregó yodo-lugol diluido durante 60 segundos y se lavó con agua destilada, se retiró el excedente de cristal violeta con alcohol-acetona durante 15 segundos, para finalizar se tiñó con safranina durante 60 segundos, se lavó con agua destilada y se dejó reposar.

La muestra se observó en microscopio, primero en el objetivo X40 para verificar la distribución del frotis, y posteriormente en el objetivo X100 con aceite de inmersión. En esta última visualización, se pudo apreciar la bacteria teñida de color rojo-rosa, lo cual muestra que *A. brasilense* es una bacteria Gram negativa.

Inoculación de rizobacterias y condiciones de invernadero

La inoculación de rizobacterias se realizó bajo condiciones de invernadero utilizando plántulas obtenidas de micropropagación con 3 cm de longitud, se utilizó la rizobacteria de especie *Azospirillum brasilense* (AZOSPIRILLUM – GREEN®). La inoculación se efectuó en bandejas de 32 cavidades con un sustrato compuesto de composta, peat moss y tezontle (1:1:1 v/v). El

sustrato se esterilizó en autoclave durante 30 min a 121°C y 115 kPa. Posteriormente, se agregaron al sustrato diferentes dosis de *A. brasilense*: 0, 0.5×10^6 , 1×10^6 , 1.5×10^6 , unidades formadoras de colonias (UFC) por plántula. Las plántulas de vainilla se sembraron individualmente en charolas de 32 cavidades y se cubrieron con un domo translúcido para controlar las condiciones de humedad. Las plántulas inoculadas se mantuvieron en condiciones de invernadero con un 80% de humedad relativa (HR), temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y luz natural a una irradiación de $80 \pm 10 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$ en un período de 60 días. Durante el experimento se aplicó riego con agua purificada dos a tres veces por semana; transcurridos 60 días se evaluó el porcentaje de supervivencia, longitud de plántula y número de hojas.

Análisis estadístico y diseño experimental

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza, continuado de una prueba de Tukey ($p < 0.05$) por medio del software estadístico SPSS (versión 22 para Windows). Los datos porcentuales fueron transformados con la fórmula $Y = \arccos(\sqrt{x / 100})$, donde x es el valor porcentual.

Resultados y Discusión

Caracterización de la bacteria

De acuerdo con la caracterización de *A. brasilense* realizada mediante microscopía, se observó la presencia y pureza de la rizobacteria en el producto (AZOSPIRILLUM – GREEN®), la cual no contenía ningún contaminante externo (Figura 1).

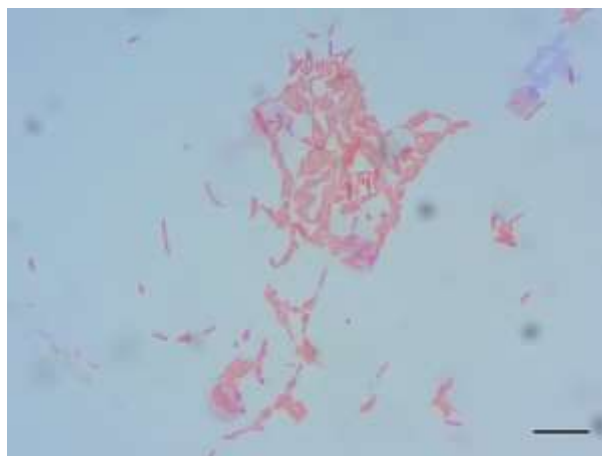


Figura 1. Caracterización de *Azospirillum brasilense* mediante tinción de Gram. Barra de escala= 2 μ m.

Efecto de *Azospirillum brasilense* sobre la supervivencia y el desarrollo *ex vitro*

Los resultados de este estudio revelan un efecto de *Azospirillum brasilense* sobre el porcentaje de supervivencia, longitud y número de hojas de plántulas de vainilla (Figura 2 y 3). El mayor porcentaje de supervivencia se obtuvo en la dosis de 1.5×10^6 UFC por plántula con 96%; mientras que, el menor porcentaje de supervivencia se obtuvo en el tratamiento control con 68% (Figura 2).

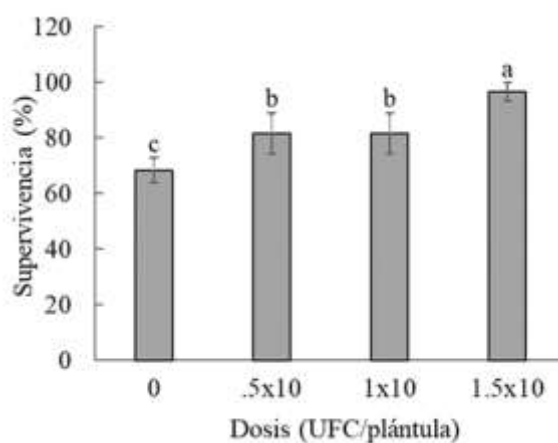


Figura 2. Efecto de *Azospirillum brasilense* sobre la supervivencia evaluada a los 60 días de cultivo en la fase de aclimatización de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). Los resultados se muestran como media $\pm$ error estándar). Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes.

Para la variable longitud de plántula, la mayor altura se obtuvo en la dosis de 1.5×10^6 UFC por plántula; mientras que, la menor longitud se obtuvo en las dosis de $.5 \times 10^6$ y 1×10^6 UFC por plántula (Figura 3a). Respecto al número de hojas por plántula, la mayor cantidad de hojas se obtuvo en 1.5×10^6 UFC por plántula; mientras que, la menor cantidad de hojas se obtuvo en 1×10^6 y 5×10^6 UFC por plántula (Figura 3b).

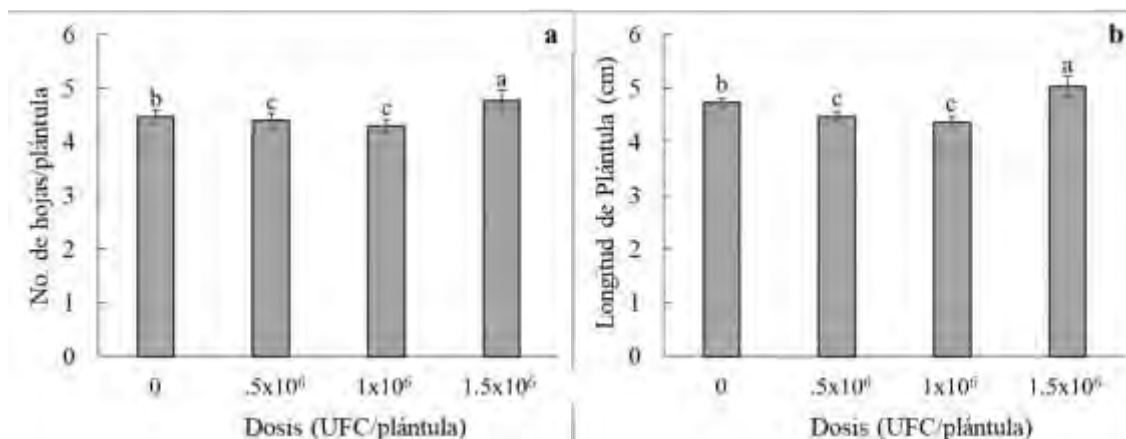


Figura 3. Efecto de *Azospirillum brasilense* sobre a) Número de hojas y b) longitud de plántula evaluadas a los 60 días de cultivo en la fase de aclimatización de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). Los resultados se muestran como media $\pm$ error estándar). Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes.

El porcentaje de supervivencia aumentó conforme se incrementaron las dosis de *A. brasilense* por plántula como se observa en la figura 4. En la rizosfera existen microorganismos que promueven la producción de fitohormonas, estimulando el desarrollo y mayor capacidad de supervivencia de las plantas, aumentando su resistencia a patógenos, como lo menciona Ling *et al.* (2022).

En este estudio, se observó un aumento en la supervivencia y la longitud de la plántula conforme incrementó la dosis de UFC por plántula. El aumento en la longitud de la plántula y la supervivencia de plántulas inoculadas con *A. brasilense* ha sido reportado por Santos *et al.*, (2023) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) donde se observó una mayor longitud y se obtuvo un mayor porcentaje de supervivencia en la aclimatación con la dosis 2.0×10^8 UFC/mL por plántula. Según Silva *et al.* (2022), muestran que, en plántulas inoculadas de fresa, el CO_2

producido por la respiración microbiana de *A. brasilense* puede beneficiar la fotosíntesis y modificar su aparato fotosintético después de la colonización de las bacterias en la rizosfera.

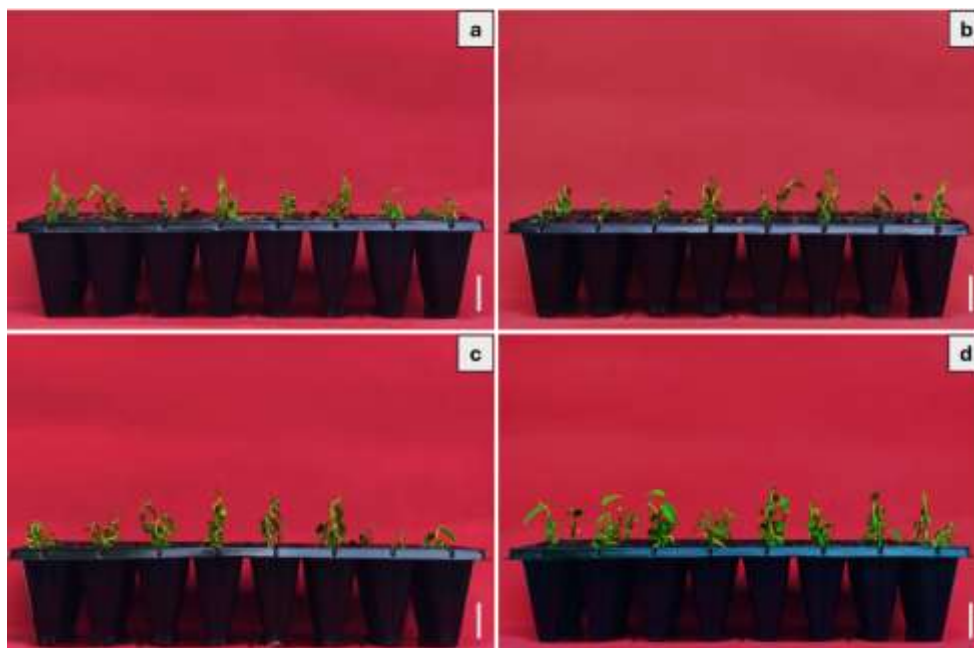


Figura 4. Efecto de *Azospirillum brasilense* en desarrollo *ex vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) durante la aclimatización a los 60 días a) Tratamiento control b) tratamiento con la dosis $.5 \times 10^6$ UFC c) tratamiento con la dosis 1×10^6 UFC d) tratamiento con la dosis 1.5×10^6 UFC. Barra de escala=5cm.

Conclusiones

La inoculación de *A. brasilense* a diferentes dosis tiene efecto sobre el porcentaje de supervivencia, longitud y número de hojas de plántulas aclimatizadas de *V. planifolia*. La dosis de 1.5×10^6 UFC por plántula con 96% de supervivencia, logró demostrar que la presencia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal ayuda a las plantas a tener un mejor acoplamiento al ambiente *ex vitro*. Por lo tanto, la aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal podría implementarse como bioestimulante en condiciones *ex vitro*. La

inoculación anticipada de *A. brasilense* en plántulas de vainilla es una opción para aumentar la supervivencia durante la aclimatación.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET), número de proyecto: CP 2710 1427/2023.

Literatura citada

- Abdalla, N., El-Ramady, H., Seliem, M. K., El-Mahrouk, M. E., Taha, N., Bayoumi, Y. *et al.* 2022. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae* 8(8):677.
- Armenta-Montero, S., Menchaca-García, R., Pérez-Silva, A., Velázquez-Rosas, N. 2022. Changes in the Potential Distribution of *Vanilla planifolia* Andrews under Different Climate Change Projections in Mexico. *Sustainability* 14(5):2881.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Readdy, M. S. *et al.* 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability* 13(3):1140.
- Brown, R. C., y Hopps, H. C. (1973). Staining of bacteria in tissue sections: a reliable Gram stain method. *American journal of clinical pathology*, 60(2), 234-240.
- Elnahal, A. S. M., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E.M., El-Tahan, A. M., Rady, M.M. *et al.* 2022. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology* 162:759–792.

- Ferreira, N. dos S., Anna, F. H. S., Reis, V. M., Ambrosini, A., Volpiano, C. G., Rothballer, M. *et al.* 2020. Genome-based reclassification of *Azospirillum brasilense* Sp245 as the type strain of *Azospirillum baldaniorum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 70(12): 6203-6212.
- Gupta, R., Khan, F., Alqahtani, F. M., Hashem, M., y Ahmad, F. 2024. Plant growth–promoting Rhizobacteria (PGPR) assisted bioremediation of Heavy Metal Toxicity. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 196:2928–2956.
- Herrera, H., Fuentes, A., Soto, J., Valadares, R., y Arriaga, C. 2022. Orchid-associated bacteria and their plant growth promotion capabilities. p. 175-200. In *Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture*.
- Jalmi, S. K., y Sinha, A. K. 2022. Ambiguities of PGPR-induced plant signaling and stress management. *Frontiers in Microbiology* 13:1-14.
- Larraburu, E. E., Bususovich, A. C., y Llorente, B. E. 2016. *Azospirillum brasilense* improves *in vitro* and ex vitro rooting-acclimatization of jojoba. *Scientia Horticulturae*. Elsevier 19:139-147.
- Ling, N., Wang, T., y Kuzyakov, Y. 2022. Rhizosphere bacteriome structure and functions. *Nature Communications*, 13(1), 836.
- Medeiros, L. de, Souza, A. de, Vieira, G. R., Ferreira, K. B., Campos, T. S., Pivetta, K. F. *et al.* 2023. Growth-Promoting Microorganisms in the Development of Orchid Seedlings of *Phalaenopsis*, *Cymbidium*, and *Dendrobium* Genera. *Bioscience* 39: e39092.
- Mohammed, M., Munir, M., y Ghazzawy, H. S. 2022. Design and evaluation of a smart ex vitro acclimatization system for tissue culture plantlets. *Agronomy*. 13(1):78.

- Nosheen, S., Ajmal, I., y Song, Y. 2021. Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability* 13(4):1868.
- Oliveira, A. J. M., Cavalcanti, V. P., Rodrigues, F. A., Santos, V. L. Julio, A. D. L., Molina, Y. C. 2024. Application Frequency and Colonization of the Rhizosphere of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne) Plants by *Azospirillum Brasilense*. *Journal of Plant Growth Regulation* 43:986-997.
- Oliveira, R. T., Oliveira, J. da S., y Macedo, A. F. 2022. Vanilla beyond *Vanilla planifolia* and *Vanilla × tahitensis*: Taxonomy and Historical Notes, Reproductive Biology, and Metabolites. *Plants* 11(23):3311.
- Santos, T. S., Ootani, M. A., Andrade, F. H. N., Oliveira, R. A., Guerra, Y. L., Lima, P. G. *et al.* 2023. Influence of *Azospirillum brasilense* on micro-propagated sugarcane seedlings. *Research, Society* 12(4): e26312441354.
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. del C. y Glick, B.R. 2021. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology* 10(6):475.
- Silva, L.I.d., Oliveira, I.P.d., Jesus, E.d.C., Pereira, M.C., Pasqual, M., Araújo, R.C.d. *et al.* 2022. Fertilizer of the Future: Beneficial Bacteria Promote Strawberry Growth and Yield and May Reduce the Need for Chemical Fertilizer. *Agronomy* 12(10):2465.
- Tkachenko, O. V., Evseeva, N. V., Kargapolova, K. Y., Denisova, A.Y., Burygin, G. L., Pozdnyakova, N. N. *et al.* 2023. Application of Rhizobacteria *Azospirillum baldaniorum* Sp245 and *Kocuria rosea* T1Ks19 to Increase the Efficiency of Potato Cultivation in Aeroponics. *In Russian Journal of Plant Physiology* 70:190
- Yeh, C. H., Chen, K. Y., Chou, C. Y., Liao, H. Y., y Chen, H. C. 2021. New Insights on Volatile Components of *Vanilla planifolia* Cultivated in Taiwan. *Molecules* 26(12):3608.

INOCULACIÓN DE *Rhizophagus intraradices* DURANTE LA ACLIMATACIÓN DE AGAVE (*Agave marmorata* Roezl)

María del Rosario Moreno Hernández⁶¹, José Abel López Buenfil⁶², Maurilio Mendoza Mexicano⁶³
y Jericó Jabín Bello Bello^{64*}

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) mejoran la capacidad productiva del suelo aumentando la sobrevivencia y desarrollo fisiológico de las plantas. Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes dosis de HMA de la especie *Rhizophagus intraradices* sobre la supervivencia y desarrollo fisiológico de plántulas de agave (*Agave marmorata* Roezl) durante la etapa de aclimatación. Plántulas de *A. marmorata* fueron inoculadas con diferentes dosis de *R. intraradices*: 0, 25, 50, 100 y 200 esporas por plántula (s/p). A los 150 días de aclimatización en invernadero, se evaluó el porcentaje de colonización, porcentaje de supervivencia, desarrollo fisiológico de las plántulas y contenido de clorofila. La caracterización de la micorriza confirmó la colonización de esporas de *R. intraradices* en raíces de agave. En dosis de 100 y 200 s/p, con 76% y 80% de colonización respectivamente, se logró una interacción simbiótica eficiente que aumentó el porcentaje de supervivencia. Además, los HMA tuvieron un efecto sobre las variables de desarrollo fisiológico de las plántulas, los mayores contenidos de clorofila se registraron en los tratamientos con 100 y 200 s/p. La simbiosis entre *R. intraradices* con agave, es una opción eficiente para mejorar la aclimatación y podría mejorar el trasplante a nivel comercial de esta asparagaceae.

Palabras clave: supervivencia, colonización, clorofila

Introducción

Agave marmorata Roelz (Asparagaceae), también conocido como tepeztate, pichometl o huiscole, es una planta silvestre monocárpica que se cultiva principalmente en zonas áridas y

⁶¹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México.

⁶² Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México, México.

⁶³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla, Carretera Federal Veracruz Córdoba Km. 34, 91700 Veracruz, México.

⁶⁴ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México. *Autor para correspondencia: jericobello@gmail.com

semiáridas de México (Álvarez-Aragón *et al.*, 2020). Esta especie tiene importancia económica y cultural debido a su uso en la producción de mezcal y pulque, bebidas alcohólicas tradicionales de origen mexicano, y puede ser utilizado para la producción de bioetanol (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2022). A pesar de su importancia, el cultivo de *A. marmorata* presenta grandes desafíos en términos de producción y competitividad. Este cultivo se propaga de manera sexual y asexual. La reproducción sexual por semilla tiene una baja tasa de germinación (0.42%); mientras que, la reproducción asexual presenta un limitado número de hijuelos (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2022). Además, esta especie de agave presenta escasez de semillas debido a la extracción masiva de las plantas adultas de su hábitat natural antes de la floración (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2022). Ante la problemática, se requieren alternativas biotecnológicas para la propagación de esta especie. La micropropagación por cultivo de tejidos vegetales es una alternativa para la producción masiva de plantas, rápida, homogénea y con alta calidad fitosanitaria (Spinoso-Castillo *et al.*, 2023). Sin embargo, para obtener éxito en la micropropagación es importante incrementar la tasa de supervivencia durante la aclimatación, la cual consiste en transferir gradualmente plántulas de condiciones *in vitro* a *ex vitro* para su acoplamiento a una nueva área de cultivo (Gómez-Kosky *et al.*, 2020). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son biotrofos obligados que establecen asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, promueven la supervivencia y desarrollo fisiológico (Li *et al.*, 2023). Las plantas proveen carbohidratos y vitaminas a los hongos; mientras que, los hongos promueven el desarrollo de la planta, mejoran la capacidad de conducción de agua, favorecen la absorción de nutrientes, y contribuyen a la tolerancia al estrés abiótico y biótico (Mirjani *et al.*, 2023; Ahammed y Hajiboland, 2024). Además, el HMA promueve un aumento en la concentración de clorofila y una mayor eficiencia fotosintética (Dewir *et al.*, 2023; Ahammed y Hajiboland, 2024). Los efectos de los HMA sobre plántulas en fase de aclimatación han sido evaluados en especies como caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (Moreno-Hernández *et al.*, 2022), mora (*Rubus* sp) (Dewir *et al.*, 2023), coco (*Cocos nucifera* L.) (Gómez Falcón *et al.*, 2023) y estevia (*Stevia rebaudiana*) (Villalbazo-García *et al.*, 2023). Estos estudios han demostrado resultados positivos en dosis adecuadas de micorrizas. La aplicación de esporas de *R. intraradices* en *A. marmorata* puede establecer una asociación simbiótica para mejorar el desarrollo fisiológico e incrementar la tasa de supervivencia durante la aclimatación. Con base en lo anterior, se

planteó este estudio con el objetivo de determinar el efecto de diferentes dosis de HMA de la especie *Rhizophagus intraradices* sobre la supervivencia y desarrollo fisiológico de plántulas de agave (*Agave marmorata* Roezl) durante la etapa de aclimatación

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV). Localizado geográficamente a 19° 27' latitud norte y 98° 53' de longitud Oeste, a 720 msnm, en el Colegio de Posgraduados Campus Córdoba, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Material vegetal, establecimiento *in vitro* y condiciones de cultivo

Para el establecimiento *in vitro* del agave, se colectaron plantas de 30 cm de longitud con 8-10 hojas provenientes de la comunidad de Boqueroncito, Tehuiztingo, Puebla, México (latitud 18° 19' 34" N y longitud 98° 16' 3" W). Las hojas se separaron del resto de la planta hasta dejar solo el ápice. Los tallos fueron desinfectados con jabón líquido (Tween 20®, Sigma-Aldrich® Chemical Company, MO, USA) y se lavaron con un flujo lento de agua corriente durante 10 min. Posteriormente, se llevaron a una campana de flujo laminar y se sumergieron en etanol al 70% (v/v) durante 1 min, seguido de un tratamiento con una solución al 10% (v/v) de hipoclorito de sodio (5% de i.a.) (Cloralex™, Industrias Alen S.A. de C.V., NL, México) durante 15 min, y finalmente se realizaron dos enjuagues con agua esterilizada. Se extrajeron los ápices con ayuda de un bisturí y fueron cultivados en tubos de ensayo (22 X 150 mm) que contenían 10 mL de MS (Murashige y Skoog, 1962) sin reguladores de crecimiento. El pH del medio se ajustó a 5.8 y se añadió 8 g/L agar (PhytoTech Labs, KS, USA.) como agente gelificante. El medio de cultivo fue esterilizado en autoclave durante 15 min a 120°C y 115kPa. Los ápices se incubaron a $24 \pm 2^\circ\text{C}$, bajo irradiancia de $40 \pm 5 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ y un fotoperiodo de 16 h de luz: 8 h oscuridad. Posteriormente, los ápices fueron subcultivados en medio de multiplicación MS suplementado con 1 mg/L de ácido indolacético (IAA, Merck, Darmstadt, Deutschland) y 3 mg/L 6-bencilaminopurina (BAP, PhytoTech Labs, KS, USA). Los brotes

generados en etapa de multiplicación se utilizaron para la inoculación de micorrizas en la fase de aclimatación.

Inoculación micorrízica y condiciones de cultivo *ex vitro*

La inoculación con micorrizas se realizó en condiciones *ex vitro* utilizando plántulas con una longitud de 5 cm y micorrizas de la especie *Rhizophagus intraradices* (Biofertilizante INIFAP®, CHIS, MX). La inoculación planta-hongo se llevó a cabo en bandejas de polipropileno de 32 cavidades (190.32 cm³ cada cavidad) con un sustrato compuesto por tezontle, suelo y agrolita (2:1:1 v/v). El sustrato se esterilizó en autoclave durante 30min a 121°C y 115kPa. Posteriormente, se agregó *R. intraradices* al sustrato en dosis de 0, 25, 50, 100 y 200 esporas por plántula (s/p). Las plántulas inoculadas se mantuvieron en condiciones de invernadero con un 60% de sombra a 30 ± 2°C, humedad relativa de 60 ± 10% y luz natural a una irradiancia de 80 ± 10 μmol/m²/s durante 30 días. En una segunda fase, las plántulas se mantuvieron en condiciones de invernadero a una temperatura de 35 ± 2°C, humedad relativa del 30% y luz natural a una irradiancia de 150 ± 10 μmol/m²/s durante 150 días. A lo largo del experimento, el riego con agua de ósmosis se aplicó dos veces por semana durante cinco meses. Después de 150 días de aclimatación en el invernadero, se evaluó la caracterización *R. intraradices*, porcentaje de supervivencia, el porcentaje de colonización, número de hojas, número y la longitud de las raíces de las plántulas y contenido de clorofila.

Caracterización de micorrizas y colonización

Las esporas de *R. intraradices* se aislaron en cajas Petri que contenían Agar diclorán-rosa bengala-cloranfenicol (Becton Dickinson, MD, USA). Las cepas fúngicas fueron transferidas a matraz erlenmeyer de 250 mL con 50 mL de medio agar dextrosa papa (Becton Dickinson, Edo. México, MX). Las muestras se incubaron en un digital microprocesador (Quincy Lab, Inc, IL, USA) a 37°C durante 30 días. El hongo fue caracterizado utilizando un microscopio compuesto (Carl Zeiss MicroImaging, GmbH 37081, Göttingen, DEU). Para determinar el porcentaje de colonización, se utilizaron tres proporciones de raíces de 1 cm por tratamiento. Los porcentajes de colonización micorrízica se determinaron mediante el método de Moreno-Hernández *et al.*, (2022) utilizando la siguiente fórmula: Porcentaje de raíces colonizadas (%) = Número de segmentos infectados/Número de segmentos radiculares examinados × 100.

Contenido total de clorofila

El contenido de clorofila se determinó de acuerdo con el protocolo propuesto por Mahmood *et al.*, (2012). Se tomaron 0.25 g de tejido foliar fresco por tratamientos. Las muestras fueron maceradas en un mortero de porcelana que contenía 5 mL de acetona al 80%. Posteriormente, cada muestra fue transferida a tubos Falcón de 15 mL de capacidad y fue centrifugados a 4°C durante 15 minutos a 3000 rpm. Las absorbancias fueron registradas a longitudes de onda de 663 y 645 nm utilizando un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific; MA).

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y tres repeticiones. Los datos se analizaron mediante análisis de la varianza, con una prueba de Tukey, ($p < 0,05$) utilizando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, v23). Los valores porcentuales se transformaron mediante la siguiente fórmula $Y = \arcsine (\sqrt{x/100})$, donde el valor “x” corresponde al porcentaje.

Resultados y Discusión

Caracterización del hongo realizada por microscopía

De acuerdo con la caracterización del hongo realizada por microscopía, las esporas llegaron a medir aproximadamente 80 ± 20 micras de diámetro, son globosas a subglobosas y se localizaron con mayor frecuencia en la periferia de la raíz, entre la epidermis y el mucílago de cobertura (Figura 1).

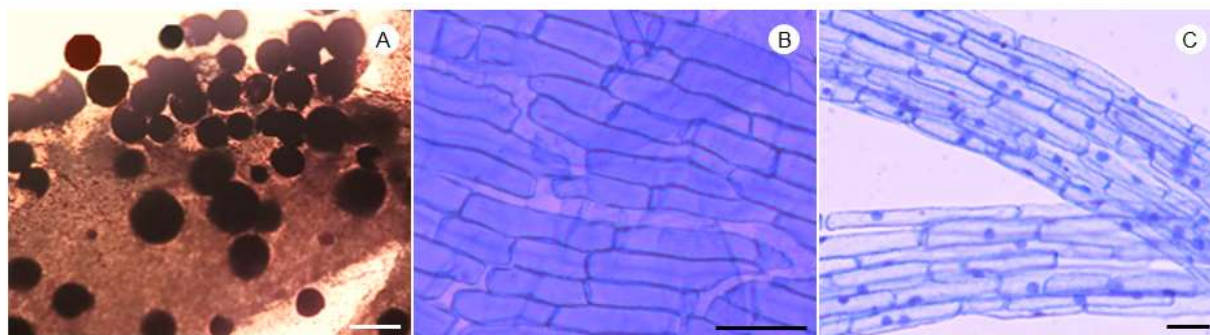


Figura 1. Colonización de *Rhizophagus intraradices* en plántulas *ex vitro* de agave (*Agave marmorata* Roezl) a los 150 días de la inoculación con esporas. A) Caracterización de *Rhizophagus intraradices* B) tratamiento sin esporas y C) tratamiento con esporas. Barra Blanca y Negra =50 µm.

Efecto de las micorrizas sobre la colonización y el porcentaje de supervivencia

Hubo efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de colonización y supervivencia de las plántulas (Figura 2).

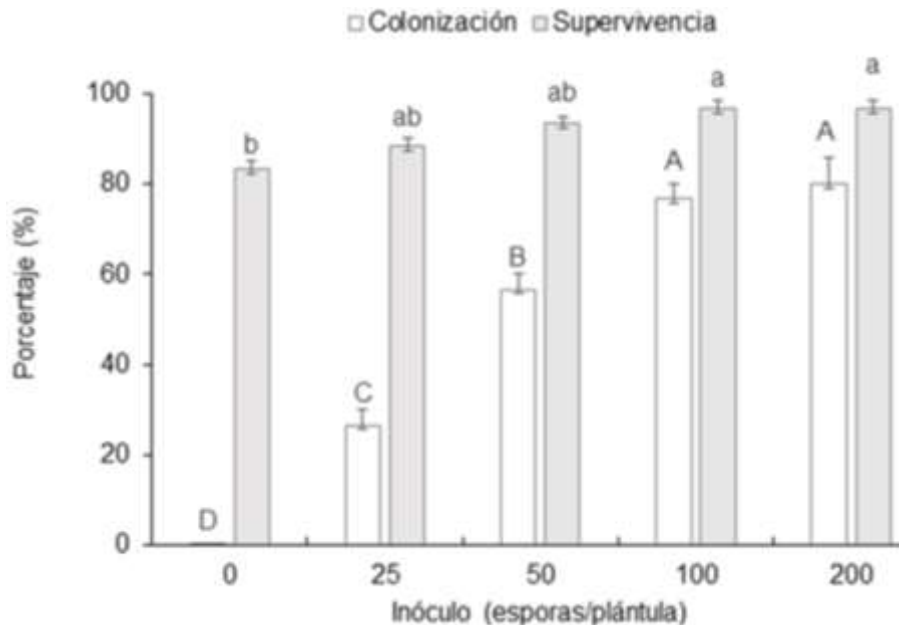


Figura 2. Efecto de *Rhizophagus intraradices* sobre la colonización y la supervivencia evaluadas a los 150 días de cultivo *ex vitro* de agave (*Agave marmorata* Roezl). Los resultados se muestran como media $\pm$ error estándar. Medias con letras diferentes sobre las barras del mismo color son significativamente diferentes Tukey, ($p < 0,05$).

En general, se observó un incremento en el porcentaje de supervivencia al aumentar el porcentaje de colonización; la mayor supervivencia de plántulas se obtuvo al inocular 100 y 200 s/p; mientras que, la menor supervivencia se obtuvo en el tratamiento sin presencia de esporas. En estos términos, el porcentaje de supervivencia aumentó a medida que incremento el porcentaje de colonización con *R. intraradices*. Gómez Falcón *et al.*, (2023) mencionan que diferentes especies de HMA influyen en la supervivencia, colonización y crecimiento de las plantas. Villabazo-García *et al.*, (2023) en estevia (*Stevia rebaudiana*) a dosis de 150 s/p de *Glomus intraradices* obtuvieron un 96% de supervivencia. La dosis recomendada para la simbiosis entre *R. intraradices* y *A. marmorata* se sitúa entre 100 y 200 s/p, mostrando los mayores porcentajes de supervivencia.

Efecto micorrízico sobre el desarrollo *ex vitro* y el contenido de clorofila

Al evaluar el efecto de diferentes dosis de HMA en el desarrollo de las plántulas de agave, se observaron diferencias significativas para el número de hojas, el número de raíces, la longitud y el contenido de clorofila (Cuadro 1). El mayor número de hojas por plántula se observó en los tratamientos con 50, 100 y 200 s/p; mientras que, el menor en el testigo y 25 s/p. Para el número de raíces por planta, el mayor número de raíces se observó en los tratamientos con 100 y 200 s/p; mientras que, el menor número de raíces se obtuvo en el tratamiento testigo. Para la variable longitud de la raíz, las raíces más grandes se observaron en los tratamientos con 100 y 200 s/p; mientras que, las más pequeñas se encontraron también en el testigo. El mayor contenido de clorofila se logró con los tratamientos con 100 y 200 s/p; mientras que, el menor contenido se observó en las dosis 0, 25 y 50 s/p. Este efecto podría deberse a que la colonización promueve una adecuada interacción simbiótica, que podría favorecer algunos procesos fisiológicos de la planta como la eficiencia fotosintética, absorción de nutrientes y agua, lo que permite un mejor desarrollo de la plántula para su posterior traslado a campo. En cultivos como caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (Moreno-Hernández *et al.*, 2022), mora (*Rubus* sp) (Dewir *et al.*, 2023) y coco (*Cocos nucifera* L.) (Gómez-Falcón *et al.*, 2023) se ha demostrado que la aplicación de HMA mejora el desarrollo de las plántulas micropropagadas en la etapa de la aclimatación. El aumento del contenido de clorofila a dosis de 100 y 200 s/p podría estar asociado a una mayor actividad fotosintética. Estudios realizados por Wu *et al.*, (2021) en sandía (*Citrullus lanatus*) afirman que la colonización micorrízica a dosis de 300 s/p

aumenta la tasa fotosintética. Gupta *et al.*, (2021) mencionan que la simbiosis *Rhizophagus intraradices* y *Triticum aestivum* aumentó la concentración de pigmentos fotosintéticos. Villalbazo-García *et al.*, (2023) encontraron que en plántulas de estevia (*Stevia rebaudiana*), administrando *Glomus intraradices* a dosis de 300 y 450 s/p se aumentó el contenido de clorofila. Las condiciones óptimas ambientales, tipo de sustrato y riego en invernadero probablemente contribuyeron a un mejor efecto de las HMA sobre las plántulas.

Cuadro 1. Efecto de *Rhizophagus intraradices* sobre el desarrollo ex vitro del agave (*Agave marmorata* Roezl) durante la etapa de aclimatación a los 150 días de cultivo.

Inóculo (s/p)	No. de hojas por planta	No. de raíces por planta	Longitud de las raíces (cm)	Contenido de clorofila (mg g ⁻¹ PF)
0	5.10 ± 0.27 b	5.40 ± 0.22 c	6.97 ± 0.31 c	0.17 ± 0.00 b
25	5.60 ± 0.16 ab	6.00 ± 0.14 bc	7.89 ± 0.21 bc	0.19 ± 0.01 b
50	5.90 ± 0.17 a	6.30 ± 0.15 b	8.30 ± 0.31 b	0.20 ± 0.01 b
100	6.10 ± 0.10 a	7.10 ± 0.17 a	9.48 ± 0.26 a	0.24 ± 0.00 a
200	6.20 ± 0.13 a	7.20 ± 0.20 a	9.48 ± 0.26 a	0.24 ± 0.00 a

Cada valor representa la media ± (error estándar). Las medias con letras distintas dentro de una columna son significativamente diferentes mediante la prueba de Tukey, ($p < 0,05$). s/p: esporas por plántula.

Conclusiones

La aplicación temprana de *Rhizophagus intraradices* en dosis adecuadas de esporas por plántulas de *Agave marmorata* durante la fase de aclimatación es una alternativa sustentable para el uso de biofertilizantes. La dosis de 100 y 200 esporas por plántula, aumentó la tasa de supervivencia, produce plántulas rejuvenecidas y vigorosas con un sistema radical adecuado para su traslado a campo. Se requieren investigaciones futuras sobre el efecto de *Rhizophagus intraradices* durante el establecimiento comercial en campo de este importante cultivo.

Literatura Citada

- Ahammed, G.J. and R. Hajiboland 2024. Introduction to Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plant Symbiosis: Characteristic Features, Functions, and Applications. In: Ahammed, G.J, Hajiboland, R. (eds.) Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants. Springer Singapore págs.1-351 https://doi.org/10.1007/978-981-99-8220-2_1.
- Álvarez-Aragón, C. A. M. Arzate-Fernández. S., Y. Martínez-Martínez I., Martínez-Velasco 2020. Regeneration of *Agave marmorata* Roezl plants, by somatic embryogenesis. Trop. Subtrop. Agroecosyst 23: 1-13. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3117>.
- Dewir, Y. H., A. A. Al-Qarawi., T. Alshahrani., Y. Bansal., A. Mujib., H. N. Murthy and A. M. Al-Saif 2023. Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Development of Micropropagated *Rubus fruticosus* 'P45' Plants during Acclimatization. HortScience 58:871-876. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17211-23>.
- Gómez-Falcón, N., L. A. Sáenz-Carbonell., A. Andrade-Torres., L.A. Lara-Pérez., M. Narváez., C. Oropeza 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi increase the survival and growth of micropropagated coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant* 59:401-412. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10345-5>.
- Gómez-Kosky, R., D.N. Jaramillo., C.R. Esquiro., A.B. Villegas., M.B. Calimano., P.M. Armas., D. D. Daniels 2020. Effect of VIUSID Agro® and FitoMas-E® on the *ex vitro* acclimatization of sugarcane plants (*Saccharum* spp.) cultivar C90-469. Sugar Tech 22:42-51. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00752-7>.
- Gupta, S., S. D. Thokchom, R. Kapoor 2021. Arbuscular mycorrhiza improves photosynthesis and restores alteration in sugar metabolism in *Triticum aestivum* L. grown in arsenic contaminated soil. Front Plant Sci 12:334. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.640379>.

- Jiménez-Valdés, M., H. Godínez-Álvarez., J. Caballero., R. Lira R 2010. Population dynamics of *Agave marmorata* Roezl under two contrasting management systems in Central Mexico. *Econ Bot* 64:149-160. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9117-0>.
- Li, X., W.Z. Zhu., W. W. Wang., S. L. Ma., Z. L. Sheng., S. M. Shu SM 2023. Drought adaptation of *Bauhinia faberi* var. *Microphylla* seedlings with dual inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *J Mt Sci* 20: 2214-2227. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7956-2>.
- Mahmood, M., S. S. Bidabadi., C. Ghobadi., D. J. Gray 2012. Effect of methyl jasmonate treatments on alleviation of polyethylene glycol-mediated water stress in banana (*Musa acuminata* cv. 'Berangan', AAA) shoot tip cultures. *Plant Growth Regul*, 68:161-169. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9702-6>.
- Martínez-Rodríguez, A., C. Beltrán-García., B. Valdez-Salas., F. Santacruz-Ruvalcaba., P. Di Mascio. y M.J. Beltrán-García 2022. Micropropagation of Seed-Derived Clonal Lines of the Endangered *Agave marmorata* Roezl and Their Compatibility with Endophytes. *Biology*11:1423. <https://doi.org/10.3390/biology11101423>.
- Mirjani, L., A. Salimi., M. Shahbazi., M. R. Hajirezaei., M. Matinizadeh., K. Razavi and S. M. H. Hejazi 2023. Arbuscular mycorrhizal colonization leads to a change of hormone profile in micropropagated plantlet *Satureja khuzistanica* Jam. *J. Plant Physiol*, 280, 153879. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153879>.
- Moreno-Hernández, M. R., J. L. Spinoso-Castillo., L. Sánchez-Segura., R. Sánchez-Páez., J. B. Bello-Bello 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi: inoculum dose affects plant development and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) plantlets during acclimatization stage. *J Soil Sci Plant Nutr* 22:4847–4856. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00964-z>.

- Murashige, T and F. Skoog 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>.
- Spinoso-Castillo, J. L., M. R. Moreno-Hernández., E. Mancilla-Álvarez., L. Sánchez-Segura., R. Sánchez-Páez., J. J. Bello-Bello 2023. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis improves *ex vitro* acclimatization of sugarcane plantlets (*Saccharum* spp.) under drought stress conditions. *Plants* 12: 687. <https://doi.org/10.3390/plants12030687>.
- Villalbazo-García, T. C., G. Hernández-Zárate., L. I. Trejo-Téllez., J. J. Bello-Bello 2023. Endomycorrhizal fungi inoculation improves development of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plantlets during *ex vitro* acclimatization. *Symbiosis* 90:53-60. <https://doi.org/10.1007/s13199-023-00919-7>.
- Wu, M., Y. Yan., Y. Wang., Q. Mao., Y. Fu., X. Peng 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. *Biol Control* 152:104433. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104433>.

MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA MICROPROPAGACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL BIORREACTOR DE INMERSIÓN TEMPORAL

María Angélica Fuentes Torres⁶⁵, Eucario Mancilla Álvarez⁶⁵, Ricardo Sánchez Páez⁶⁵, Andrea Guadalupe Zuale Bueno⁶⁶, José Abel López Buenfil⁶⁷, Maurilio Mendoza Mexicano⁶⁸ y Jericó Jabín Bello Bello^{69*}

Resumen

La caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbridos) de la familia Poaceae, es cultivada en zonas tropicales y subtropicales del mundo. Este cultivo tiene una relevancia económica debido a que se obtienen diversos productos, subproductos y coproductos utilizados en diferentes sectores. Los sistemas de inmersión temporal (SIT) para la micropropagación de la caña de azúcar se han convertido en una alternativa para reducir la mano de obra, aumentar el desarrollo de las plantas y mejorar la tasa de multiplicación. Sin embargo, el Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT) ha evolucionado por el diseño y tipo de materiales que están elaborados. Este estudio tuvo como objetivo comparar la eficiencia de un biorreactor de Inmersión temporal en recipientes reciclados elaborados de polietileno tereftalato (PET) en diferente posición (vertical y horizontal) durante la multiplicación de caña de azúcar (*Saccharum* sp. cv Mex 69-290). Los sistemas de cultivo incluyeron medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementado con 30 mg/L de sacarosa, 1 mg/L kinetina, 0.6 mg L⁻¹ ácido indolacético, 0.6 mg/L 6-bencilaminopurina (BAP), y 1 mg/L de azul de metileno. A los 45 días se evaluó el número de hojas y longitud de brotes, contenido de clorofila y carotenoides. Los resultados mostraron que los BIT vertical y BIT horizontal tienen una mayor tasa de multiplicación donde se obtuvieron de 37.8 y 36,4 brotes por explante, respectivamente; mientras que, el menor número de brotes se observó en el semisólido con 9.8 brotes por explante. Las modificaciones de los BIT permiten obtener un mejor desarrollo de las plantas, para la micropropagación de caña de azúcar.

Palabras clave: sistema de inmersión temporal, clorofila, polietileno tereftalato

⁶⁵ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México.

⁶⁶ Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, Av. Tecnológico No.21 San Bartolo 68446, Tuxtepec, Oaxaca, México.

⁶⁷ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México, México.

⁶⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla.

⁶⁹ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México. *Autor para correspondencia: jericobello@gmail.com

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbridos) de la familia Poaceae, es cultivada en zonas tropicales y subtropicales del mundo; tiene una relevancia económica debido a que se obtienen diversos productos, coproductos y subproductos utilizados en la industria alimentaria, energética, química y farmacéutica (Moreno-Hernández *et al.*, 2022). Además, tienen grandes retos en materia de productividad y competitividad debido a la propagación convencional que no garantiza el saneamiento y rejuvenecimiento de las plantaciones comerciales (Spinoso-Castillo *et al.*, 2024). Sin embargo, para enfrentar estos desafíos la biotecnología vegetal puede participar en la solución de problemas relacionados con la baja productividad de los cultivos, una de ellas es mediante la micropropagación utilizando técnicas de cultivo de tejidos vegetales (CTV) (Sorcia-Morales *et al.*, 2021). La micropropagación es importante para obtener plantas vigorosas con alta calidad genética y fitosanitaria (Martínez-Estrada *et al.* 2019). Los métodos de micropropagación en medios semisólidos (SS) generan altos costos de producción por el uso de agentes gelificantes, mano de obra y la baja tasa de multiplicación. Existen sistemas de inmersión temporal (SIT) que han demostrado ser efectivos para incrementar la tasa de multiplicación llevando cabo el mejoramiento en las plantas, reduciendo los tiempos de cultivo y permitiendo la semiautomización, de manera que los costos de producción disminuyen debido al uso de medio de cultivo líquido (Bello-Bello *et al.*, 2021). Los biorreactores semiautomatizados son modelos empleados para la producción masiva de células, tejidos u órganos con una frecuencia de inmersión determinada (Orozco-Ortiz *et al.*, 2022). Existen diseños comerciales los cuales son: Biorreactor de Inmersión Temporal BIT®, Recipientes de Inmersión Temporal Automatizados RITA®, Ebb-and-Flow Bioreactor. Por otra parte, los BIT han evolucionado por el diseño y tipo de materiales que están elaborados. El objetivo del estudio es comparar la eficiencia de un biorreactor de inmersión temporal en recipientes reciclados elaborados de polietileno tereftalato (PET) en diferente posición vertical y horizontal durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* sp. cv Mex 69-290). Las ventajas de usar estos contenedores es reducir costos, y obtener la producción masiva de plantas caña de azúcar. Este estudio tuvo como objetivo comparar la eficiencia de un biorreactor de Inmersión temporal en recipientes reciclados elaborados de polietileno

tereftalato (PET) en diferente posición (vertical y horizontal) durante la multiplicación de caña de azúcar (*Saccharum* sp. cv Mex 69-290).

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de cultivo de tejidos localizado geográficamente a 19° 27' LN y 98° 53' LO, a 720 msnm, en el Colegio de Posgraduados Campus Córdoba.

Preparación del material vegetal y establecimiento *in vitro*

Para el establecimiento *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* sp. cv Mex 69-290) se colectaron ápices de 28 cm de seis meses de edad, provenientes del Colegio de Posgraduados Campus Córdoba. Los ápices se lavaron con agua y dos gotas de Tween 20 ® en 100 mL de agua (Sigma-Aldrich ® Chemical Company, Saint Louis, MO). Estos fueron envueltos en bolsas de papel y se mantuvieron en temperatura a 4°C durante 24 horas. Los ápices se cortaron a una longitud de 18 cm y se colocaron en hidrotermoterapia en un baño termostático con circulación (Ecoshel, SC-15; TX, USA) a 50°C durante 20 minutos. Posteriormente, en una campana de flujo laminar los ápices se redujeron a 2 cm, se enjuagaron durante cinco minutos en una solución al 5% (v/v) de cloro comercial Cloralex™ (Industrias Alen, S. A. de C. V., Nuevo León, MX) (5% de i. a.) con 2 gotas de Tween 20® (Sigma-Aldrich ®) por cada 100 mL de agua. Finalmente, los explantes se colocaron individualmente en tubos de ensayo (22 × 150 mm) que contenían 10 mL de medio MS (Murashige y Skoog) suplementado con 30 mg/L de sacarosa, sin reguladores de crecimiento a un pH de 5.8 y 2.3 mg/L Gelrite ® (Merck® KGaA, Darmstadt, DE) como agente gelificante. Se esterilizó 15 minutos a 120°C y 115 kPa. Los explantes se incubaron a 24 ± 2°C, bajo irradiancia de 40 ± 5 m⁻² /s y un fotoperiodo de 16 horas luz.

Sistema de cultivo en la multiplicación *in vitro*

Se utilizaron como explantes, brotes de 2 cm de longitud procedentes del sexto subcultivo (25 días cada subcultivo). Se utilizaron recipientes elaborados de polietileno tereftalato (PET) en diferente posición horizontal y vertical con una capacidad de 4L. Cada recipiente se le agregó 1L de medio que contenía 50 mL de medio por explante, colocando 30 explantes que en la etapa de multiplicación *in vitro*, que consistió en medio MS suplementado con 1 mg/L kinetina (KIN, Sigma-Aldrich ®), 0.6 mg/L ácido indolacético (AIA, Sigma-Aldrich ®), 0.6 mg/L 6-bencilaminopurina (BAP, PhytoTech Labs, Lenexa, KS, USA) y 1 mg/L de azul de metileno (Sigma-Aldrich ®). Para el sistema semisólido, el MS fue suplementado con 2.3 mg/L Gelrite ® (Merck KGaA ®) como agente gelificante. Cada recipiente PET se esterilizó en campana de flujo laminar con luz UV durante 10 minutos. La frecuencia de inmersión fue de dos minutos por cada nueve horas, y se evaluaron a los 45 días.

Determinación de clorofila total y β -caroteno

El contenido total de clorofila se determinó según Mancilla-Álvarez *et al.* (2024). Todos los experimentos se utilizaron 1 g de material fresco, el tejido de las hojas se maceró con acetona al 80%. Las muestras fueron almacenadas a 4°C durante 24 horas. Posteriormente, la mezcla se filtró con papel y se ajustó a un volumen final de 25 mL con 80% de acetona. Se utilizaron 2 mL por muestra con una absorbancia de 663 y 645 nm para clorofila a y b. Se utilizó un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific, MA, EE. UU.); mientras que el contenido β -caroteno se realizó por la metodología de Biehler *et al.* (2010) y se leyó a una absorbancia de 450 nm.

Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar y tres repeticiones. Los datos se examinaron mediante un análisis de varianza, seguido de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software estadístico IBM SPSS® (versión 22 para Windows). Los datos porcentuales se transformaron con la fórmula $Y = \arcseno (\sqrt{x/100})$, donde x es el valor del porcentaje.

Resultados y discusión

Los diferentes sistemas de propagación *in vitro* mostraron diferencias significativas en número de brotes, longitud de brote, clorofila y caroteno (Figura 1).

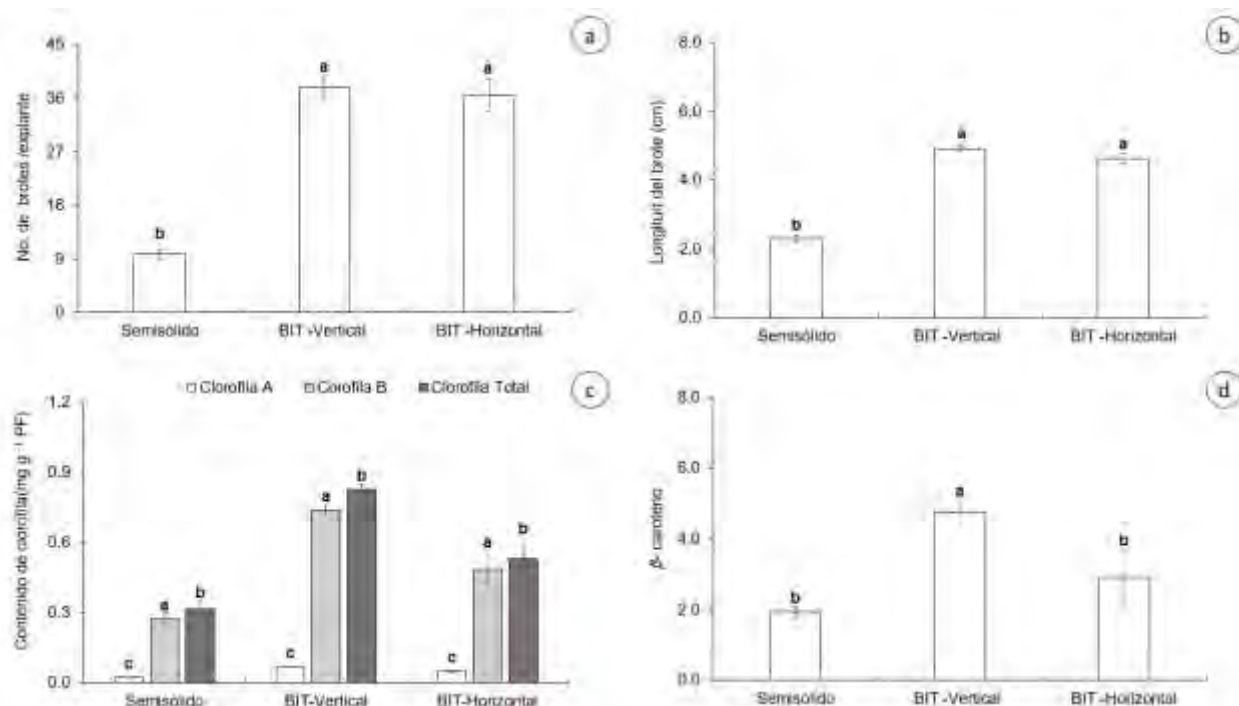


Figura 1. Variables de desarrollo en sistemas de inmersión temporal en la etapa de la multiplicación *in vitro*. a) número de brotes/explante, b) Longitud de los brotes, c) contenido de clorofila, d) β-caroteno durante 45 días.

Los tratamientos mostraron diferencias significativas en número de brotes y longitud del brote; el mayor número de nuevos brotes se observó en el sistema BIT vertical y BIT horizontal con 37.8 y 36.4 brotes por explante, respectivamente; mientras que el menor número de brotes se observó en el sistema semisólido con 9.7 brotes por explante. Respecto a la longitud del brote la mayor longitud se obtuvo en los sistemas BIT vertical y BIT horizontal con 4.9 y 4.6 cm, respectivamente; mientras que la menor longitud se obtuvo en el sistema semisólido con 2.3 cm (Figura 1 a y b). En relación a la clorofila total, se observó en el sistema BIT vertical (0.06, 0.07 y 0.08 mg g⁻¹ PF. En cuanto, al contenido de β-caroteno el mayor contenido de este pigmento se encontró en el sistema BIT vertical con 4.7 (Figura 1 c y d).



Figura 2. Brotes en diferentes sistemas de inmersión temporal en la etapa de la multiplicación *in vitro*. a medio semisólido, b BIT vertical, c BIT horizontal evaluados durante 45 días.

Multiplicación en los diferentes sistemas de cultivo

Los distintos sistemas de cultivo demostraron la eficacia de los SIT en comparación con el sistema de cultivo SS. El incremento de la tasa de multiplicación en caña de azúcar en los SIT se debe a la disponibilidad de nutrientes como son: las vitaminas, sacarosa y reguladores de crecimiento (Mancilla-Álvarez et al. 2024). Todos los explantes al estar en contacto con el medio de cultivo líquido y contaste movimiento durante una inmersión determinada provoca una pérdida de dominancia apical, por lo tanto, la baja tasa de multiplicación en el medio SS es debido por la disponibilidad inadecuada de los componentes del medio de cultivo, ya que el contacto, solo está en la base del explante sin generar movimiento (Bello-Bello et al., 2021). En cuanto a la longitud de los brotes por explantes, los brotes más largos en el BIT vertical y BIT horizontal, podría deberse a que existe a una mayor competencia por el espacio, el agua, la luz y los nutrientes en comparación con el semisólido SS (Mancilla-Álvarez et al. 2021). Los resultados de este estudio muestran que los sistemas BIT vertical y BIT horizontal aumentaron el número de brotes seis veces más en comparación con el sistema de cultivo SS donde se obtuvieron una alta tasa de multiplicación de 37.8 y 36.4 brotes por explante, respectivamente; a las siete semanas de cultivo. Uma et al. (2021) reportaron en banano (*Musa sp. cv Rasthali*) un incremento de 2.7 veces en el número de brotes por explante en comparación con el medio SS. Por otra parte, el BIT horizontal permite una mayor iluminación entre los explantes, mientras en los medios SS puede deberse a la escasa luz disponible para los explantes debido

a su diseño vertical, la irradiancia, suministro de CO₂, y la disponibilidad de nutrientes (N y Mg); se sugiere que estos son los factores importantes que controlan el fotomixotrofismo *in vitro* al influir en los pigmentos fotosintéticos (Spinoso-Castillo *et al.*, 2024).

Conclusiones

Los SIT muestran una alternativa para el cultivo de caña a gran escala utilizando recipientes reciclados elaborados de PET, el diseño y las modificaciones en el BIT horizontal permite un mejor desarrollo de la planta, debido a la dimensión y la irradiación de la luz obteniendo una incrementación de la tasa de multiplicación.

Literatura citada

- Bello-Bello. J. J., S. S. Schettino-Salomón, J. Ortega Espinoza., J. L. Spinoso-Castillo. 2021. A temporary immersion system for mass micropropagation of pitahaya (*Hylocereus undatus*). 3 Biotech, 11(10). <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02984-5>.
- Biehler, E., F. Mayer., L. Hoffmann., E. Krause., T. Bohn. 2010. Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. J. Food Sci. 75, C55–C61.
- Mancilla-Álvarez, E., J. L. Spinoso-Castillo., S. S. Schettino-Salomón., J. J. Bello-Bello. 2024. Temporary immersion systems induce photomixotrophism during *in vitro* propagation of agave Tobalá. 3 Biotech, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03928-5>.
- Mancilla-Álvarez, E., J. L. Spinoso-Castillo., R. A. Muñoz-Márquez Trujillo., K. F. Palacios-Pardo., J.J. Bello-Bello2024. Temporary immersion bioreactor as an efficient method for *in vitro* propagation of *Agave marmorata*. South African Journal of Botany, 169, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.011>.

- Martínez-Estrada, E., B. Islas-Luna., J. A. Pérez-Sato., J.J. Bello-Bello. 2019. Temporary immersion improves *in vitro* multiplication and acclimatization of Anthurium andreanum Lind. Scientia Horticulturae, 249, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.053>.
- Moreno-Hernández., M. R., J. L. Spinoso-Castillo., L. Sánchez-Segura., J.J. Bello-Bello. 2022. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Inoculum Dose Affects Plant Development and Performance of Sugarcane (Saccharum spp.) Plantlets During Acclimatization Stage. Journal Of Soil Science And Plant Nutrition, 22(4), 4847-4856. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00964-z>.
- Orozco-Ortiz, C., L. Sánchez., J. Araya-Matthey., I. Vargas-Solórzano., E. Araya-Valverde. 2022. BIT® bioreactor increases *in vitro* multiplication of quality shoots in sugarcane (Saccharum spp. variety LAICA 04-809). Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 152(1), 115-128. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02392-4>.
- Spinoso-Castillo, J. L., M. K. Serrano-Fuentes., M. Sorcia-Morales., J.J. Bello-Bello. 2024. Temporary Immersion Bioreactors for Sugarcane Multiplication and Rooting. p. 53-61. In: Ramírez-Mosqueda, M.A., Cruz-Cruz, C.A. (eds) Methods in Molecular Biology, vol 2759. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3654-1_5.
- Sorcia-Morales, M., F.C. Gómez-Merino., L. Sánchez-Segura., J. L. Spinoso-Castillo., J.J. Bello-Bello. 2021. Multi-Walled Carbon Nanotubes Improved Development during *In Vitro* Multiplication of Sugarcane (Saccharum spp.) in a Semi-Automated Bioreactor. Plants, 10(10), 2015. <https://doi.org/10.3390/plants10102015>.
- Uma, S., R., Karthic., S. Kalpana., S. Backiyarani., M. S. Saraswathi. 2021. A novel temporary immersion bioreactor system for large scale multiplication of banana (Rasthali AAB—Silk). Scientific Reports, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99923-4>.

MULTIPLICACIÓN *in vitro* DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus* L.) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIORREACTORES DE INMERSIÓN TEMPORAL

Bruno Reyes Beristain⁷⁰, Eucario Mancilla Álvarez⁷⁰, Maurilio Mendoza Mexicano⁷¹, José Abel López Buenfil⁷² y Jericó Jabín Bello Bello^{73*}

Resumen

Los sistemas de inmersión temporal (SIT) son herramientas para la propagación masiva de plantas cultivadas *in vitro*, por lo que el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el efecto de las diferentes frecuencias de inmersión (4, 8 y 12 h) en la multiplicación *in vitro* de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) utilizando el Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT). la regeneración de brotes de *R. idaeus* se determinó en el BIT a partir de nudos de la planta madre, agregando cinco explantes en un contenedor y 250 mL de medio de cultivo Murashige and Skoog (1962). Se elaboraron tres tratamientos con diferentes frecuencias de inmersión (4, 8 y 12 h) con un tiempo de inmersión de dos minutos. Se registró el número de brotes por explante, longitud de brotes, número de hojas, porcentaje de hiperhidricidad de hojas, contenido total de clorofila y carotenoides a los 28 días de cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas para los tratamientos. El mayor número de brotes se observó en las frecuencias de 8 y 4 h con 2 minutos de inmersión con 5.7 y 5.8 brotes por explante. La mayor longitud de brotes se observó en la frecuencia de 8 h con 2 min de inmersión con 3.3 cm de longitud. El mayor número de hojas se observó en las frecuencias de 8 y 12 h con 2 min de inversión con 7.4 y 7.6 hojas por explante. El menor porcentaje de hiperhidratación de hojas se presentó en las frecuencias de 8 y 12 h con 2 min de inmersión con 17 y 14% de hiperhidratación en las hojas. Se concluye que el uso del BIT es una alternativa eficiente para la propagación masiva de plantas de *R. idaeus*, mediante la utilización de la frecuencia de 8 h con 2 minutos de inmersión, la cual se concluye como la mejor frecuencia.

Palabras clave: micropropagación, cultivo vegetal, biotecnología, propagación masiva

⁷⁰ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México.

⁷¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla.

⁷² Departamento de sistemas computacionales, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Alcaldía Azcapotzalco, CDMX.

⁷³ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz 94953, México. *Autor para correspondencia: jericobello@gmail.com

Introducción

La calidad de los cultivos se han reducido a través de los años por falta de nutrientes, esto junto a los métodos de propagación que no aseguran una propagación masiva como el uso de semillas, esquejes, estacas, división de matas, acodos, injertos, etc., que no garantizan la calidad fitosanitaria de los propágulos para su cultivo, esto aunado al ataque de plagas y enfermedades que se desarrollan a través del tiempo de cultivo, impulsando a la búsqueda de nuevas alternativas de propagación masiva de carácter biológico de los diferentes cultivos.

Actualmente se han utilizado herramientas biotecnológicas para erradicar estas problemáticas, como el cultivo de tejido vegetal (CTV), técnica de la biotecnología que implica el establecimiento, crecimiento y desarrollo de células, tejidos u órganos de plantas bajo condiciones controladas.

Dentro del CTV existe una técnica denominada “micropropagación”, considerada como el método más utilizado para producir plántulas de carácter agroalimentario a mayor escala (Guo *et al.*, 2019), no obstante, se pueden presentar algunas desventajas por el sistema de propagación convencional en medio semisólido, principalmente debido a los costos elevados asociados con la mano de obra, el uso de agentes gelificantes, y la falta de automatización durante la micropropagación (Monja-Mio *et al.*, 2021).

Ante esta problemática se han desarrollado los SIT, siendo definidos como técnicas de propagación masiva de plantas, en donde se utilizan biorreactores semiautomáticos diseñados para el método de propagación vegetal (De Carlo *et al.*, 2021). Consisten en contenedores o recipientes que pueden ser de diferentes materiales como plástico, cristal, policarbonato, polipropileno, entre otros.

Actualmente existen diferentes tipos de SIT utilizados, como el Sistema de inmersión temporal de Monobloque Avanzado (MATIS®), Recipiente de Inmersión Temporal Automatizado (RITA®), el Sistema de Emersión y Transporte Intermitente de Soporte (SETIS™) (Vervit, 2018), biorreactor PLANTFORM™, el biorreactor de inmersión temporal (BIT), biorreactor de flujo y reflujo, entre otros.

Los SIT sumergen periódicamente los explantes en medio líquido siguiendo ciclos temporales, cuentan con entradas y salidas de aire. El uso de medio líquido ofrece una eficiente propagación masiva de plantas debido a un mayor aprovechamiento de nutrientes, intercambio

de gases, mayor tasa de multiplicación y crecimiento de biomasa (Monja-Mio *et al.*, 2021). Sin embargo, la mayoría de estos SIT tienen un costo elevado debido a los materiales con los que se elaboran como el policarbonato, polipropileno, además de la importación y exportación de los mismos.

Esto conlleva a utilizar un sistema más innovador, por lo que en este estudio se implementará el uso del BIT, el cual se compone de dos frascos gemelos elaborados a base de cristal, un contenedor contiene el medio de cultivo líquido, mientras que el otro frasco tendrá una esponja de poliuretano y en el mismo contendrá los explantes del cultivo elegido, ambos frascos estarán unidos por una manguera de silicón.

Durante el período de inmersión, se aplica presión de aire al frasco de almacenamiento del medio y el medio líquido se mueve hacia la botella de cultivo con explantes por un periodo de dos minutos para después aplicar presión de aire al frasco que contiene los explantes con ayuda de una válvula, regresando el medio de cultivo a su frasco original por el mismo tiempo de inmersión.

El uso del BIT permitirá obtener una propagación masiva de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) una fruta europea de la familia Rosaceae, valorada en las industrias farmacéutica, cosmética, agrícola y alimentaria (López-Corona *et al.*, 2022), apreciada por su sabor, valor nutricional y contenido de compuestos bioactivos como vitaminas, minerales, proteínas, polifenoles y fibra dietética, utilizados en diversas industrias (Ispiryan *et al.*, 2021; Koraqi *et al.*, 2023; Morcillo-Martín *et al.*, 2023).

Además, contiene metabolitos secundarios con propiedades antitumorales, antioxidantes, antimicrobianas y antimetastásicas (Hallmann *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021) lo que la convierte en un recurso genético valioso. Sin embargo, la producción de frambuesas enfrenta problemas con los métodos de propagación convencionales, como semillas y esquejes, que no siempre garantizan la calidad fitosanitaria necesaria para el cultivo.

Una alternativa para sustituir esta técnica convencional son los SIT previamente mencionados. Se han implementado SIT para la micropropagación de *Rubus* spp, como el RITA® (Jones & Flores, 2007), SETIS™ y PLANTFORM. Sin embargo, dentro de estos protocolos no se mencionan tiempos ni frecuencias ideales para llevar a cabo una propagación masiva de este importante cultivo, por lo que se pretende implementar en BIT, donde los explantes serán expuestos en medio de cultivo líquido durante un tiempo y una frecuencia programada

(Mancilla-Álvarez *et al.*, 2021) y de esta manera tener éxito en la micropropagación en inmersión temporal.

En este trabajo de investigación se estableció como objetivo establecer un protocolo para la micropropagación de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) utilizando biorreactores de inmersión temporal en comparación de los sistemas de cultivo en semisólido.

Materiales y métodos

Área de estudio

Las plantas de Frambuesa fueron donadas por parte de la empresa “Black Venture Farm”, de Zamora, Michoacán, México (18°48'37.3"N 98°19'39.3"O). La investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Colegio de Posgraduados-Campus Córdoba, Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, C.P. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México; Localizado geográficamente a 19° 27' latitud Norte y 98° 53' longitud Oeste, a 720 msnm. El laboratorio cuenta con la certificación ante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

Material vegetal

Fueron previamente sometidas a condiciones de invernadero para cuarentena y fueron tratadas cada tres días con fungicida (Antrak® 50 PH, Benomilo ia, Agroquímica Tridente S.A. de C.V., C.P. 04040, Ciudad de México, México.) 1 g/L y fertilizante (Ultrasol® Multipropósito) granulado y 1 g/L para solución líquida. Después de 40 días de cuarentena, se utilizaron brotes nuevos de longitudes de ~10 cm como explantes.

Establecimiento del material vegetal

Los explantes seleccionados de ~10 cm se les retiraron las hojas y se redujeron a nudos de ~1-2 cm, se sumergieron en una solución de fungicida (Captan-ultra®, Arysta Life Science Mexico S.A. de C.V. Coah., MX). 1g/L. Posteriormente fueron lavados con agua corriente y jabón comercial líquido (Axion Complete®, Mission Hills, S.A. de C.V., San José de Iturbide, Guanajuato, México.) durante 20 minutos y 5 enjuagues con agua estéril.

Los explantes de 1 cm de longitud fueron transferidos a la campana de flujo laminar en donde se sumergieron en etanol al 70% durante 30 segundos. Posteriormente se sumergieron en una solución al 10% (v/v) de cloro comercial Cloralex™ (Industrias Alen, S.A de C. V., Nuevo León, MX) (5% de i.a.) con tres gotas de Tween 20® (Sigma-Aldrich® Chemical Company) Saint Luis, MO USA) por cada 100 mL de agua. Por último, se enjuagaron cinco veces con agua estéril. Para el cultivo en tubos, se cortaron los explantes de la base y la parte aérea para después ser sembrados en medio MS (Murashigue and Skoog, 1962), suplementado con 30 g/L de sacarosa, 0.6 mg/L de BAP (6-benzylaminopurin, Sigma-Aldrich Chemical Company, St. Louis, MO, USA) y 0.1 mg/L de ANA (ácido 1-naftalenacético, Sigma-Aldrich), esterilizado a 121°C/ 20 min.

Finalmente, los tubos de cultivos con los explantes se llevaron a incubación por un lapso de 30 días en condiciones controladas de temperatura a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ con un fotoperíodo de 16 h con lámparas fluorescentes a una irradiancia de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Efecto de los diferentes sistemas de cultivo *in vitro*

Después de tres subcultivos (28 días cada uno), los ápices se transfirieron a la fase de multiplicación en medio MS semisólido suplementado con 0.6 mg L de BAP (Sigma-Aldrich®) y 0.1 mg L de ANA (Sigma-Aldrich®).

Se utilizó el medio de cultivo semisólido convencional, el MS, el cual fue suplementado con 2.5g L^{-1} Gelrite® (Merck KGaA®) (w/v), mientras que para el sistema en medio líquido se utilizó el BIT, utilizando 5 explantes en la etapa de multiplicación en el medio descrito anteriormente para cada BIT.

Este sistema ofrece ventajas por ser eficiente en el índice de multiplicación para diferentes cultivos (Monja-Mio et al., 2021). Incrementa la eficiencia de propagación, obteniendo una mejor calidad en las plantas con raíces más saludables y fuertes, (Bello-Bello et al., 2021). Además de ser menos costoso, no se utilizan productos agroquímicos.

Para ambos casos se utilizaron 250 mL de medio de cultivo (50 mL por explante) para mantener la igualdad de condiciones de cultivo.

Efecto de la frecuencia de inmersión en la regeneración de brotes

Para la multiplicación en líquido se utilizó el BIT con una capacidad de 500 mL, en donde se agregaron 50 mL de medio líquido de multiplicación por explante, colocando cinco explantes por biorreactor. Las frecuencias fueron evaluadas cada 4, 8 y 12 horas, con un tiempo de inmersión de dos minutos. El experimento fue replicado tres veces para cada frecuencia y ubicado en una sala de incubación con las condiciones de incubación previamente descritas.

Determinación de clorofila y carotenoides

Para el contenido de clorofila se utilizaron 0.25 g de materia fresca de cada tratamiento y se maceró con acetona al 80%. Posteriormente se almacenaron las muestras de cada tratamiento a - 4°C por 24 h. Una vez transcurrido el tiempo de almacenado, las muestras se maceraron una vez más con acetona al 80%, se filtraron y aforaron a 6.25 mL.

Por último, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific, MA, USA) a 663, 645 nm y 450 nm, para la clorofila a, b y carotenoides, respectivamente.

La determinación de clorofilas se calculó utilizando la siguiente formulas:

$$\text{Chl a} = [(12.7 \times A_{663}) - (2.59 \times A_{645})] (V) / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl b} = [(22.9 \times A_{645}) - (4.70 \times A_{663})] (V) / (1000 \times W) \text{ y Total Chl (C)} = [(8.20 \times A_{663}) - (20.2 \times A_{645})] (V) / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl Total} = [(8.20 \times A_{663}) - (20.20 \times A_{645})] (V) / (1000 \times W)$$

Donde:

A₆₆₃ y A₆₄₅ = absorbancia

V = volumen de graduación en mL

W = peso de la muestra en g

1000 = factor de conversión.

El contenido de carotenoides se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$C = A_{450} \times M \times 1000 / \epsilon \times \delta$$

Dónde:

A = Absorción determinada a la longitud de onda de 450 nm

M = masa molecular de β -caroteno = 537 g⁻¹ mol

ϵ = coeficiente de extinción molar del β -caroteno en acetona (140663 l⁻¹ mol cm)

δ = trayectoria óptica (cm)

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue el completamente al azar y se replicaron cuatro veces. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias según Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences) V. 26 para Windows. Los datos de porcentaje fueron transformados con la fórmula.

$$Y = \arcseno (\sqrt{(x/100)})$$

Dónde: "x" es el valor porcentual

Resultados y discusión

En la etapa de multiplicación *in vitro*, se observaron diferencias significativas en el número de brotes por explante, longitud de brotes (cm), número de hojas, % de hiperhidratación de las hojas, contenido de clorofila y el contenido de caroteno.

Número de brotes

En la Figura 1 a, se muestran el efecto del BIT, así como las frecuencias de inmersión sobre el número de brotes de *Rubus idaeus* cultivado *in vitro*. La frecuencia de 4 y 8 h obtuvo mayor número de brotes con 5.8 y 5.7 brotes, seguido del tratamiento de 12 h con 4.1 brotes; mientras que el sistema con menor brotes por explantes fue el sistema semisólido con 2.4 brotes por explante. Esta generación de brotes se da principalmente por una mayor asimilación de nutrientes, vitaminas, sacarosa y reguladores de crecimiento, ya que todo el explante está en contacto continuo con el medio de cultivo líquido y el movimiento constante durante la inmersión provoca una pérdida de dominancia apical, todo esto se da dentro del BIT (Mancilla-Álvarez *et al.*, 2024).

Longitud de brotes

La frecuencia que obtuvo mayor longitud de brotes fue de 8 h, teniendo 3.8 cm de longitud, seguido de las frecuencias de 4 y 12 h con longitudes de 2.3 cm (Figura 1 b), mientras que la menor longitud se observó en el sistema semisólido con longitudes de 1 cm. Arano-Ávalos *et*

al., (2020), mencionan que utilizar las frecuencias de inmersión cada 4 y 12 h reducen el desarrollo de los brotes.

Número de hojas

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para todos los tratamientos. El mayor número de hojas se observó en la frecuencia de 12 h con 7.6 hojas por explante, seguido de 8 h con 7.4 y la frecuencia de 4 h con 6.5 hojas. mientras que el número de hojas más bajo se presentó en el sistema semisólido con 5.7 hojas por explante (Figura 1 c). Estos resultados presentados se deben a que el contacto directo de las hojas con el medio de cultivo trae la posibilidad de que estas absorban nutrientes, teniendo un buen desarrollo durante un contacto intermitente entre los explantes y el medio líquido (Monja-Mio *et al.*, 2021).

Clorofila y carotenoides

No se observaron diferencias significativas en el contenido de clorofila a en los tres tratamientos de 4 8 y 12 horas con 2 minutos de emersión, los tres tratamientos obtuvieron una media de 0.7 seguido del sistema semisólido con 0.5 mg/g, siendo el resultado más bajo de clorofila a.

El contenido de clorofila b mostró diferencias significativas en los tratamientos, el mayor contenido se observó en los tratamientos dos y tres con 4 y 8 horas con 2 minutos de inmersión con 0.6 mg/g, seguido del tratamiento tres con 12 h, con un contenido de 0.4 mg/g, mientras que el sistema semisólido obtuvo el menor contenido de clorofila b con 0.2 mg/g

Para el contenido total de clorofila no se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de 4, 8 y 12 horas con dos minutos de inmersión con valores de 1.3 mg/g, mientras que el contenido más bajo se observó en el sistema semisólido con 0.8 mg/g. (Figura 1 e).

Mancilla-Álvarez *et al.*, 2024 mencionan que los niveles bajos de clorofila se deben por Luz limitada disponible para los explantes dentro del BIT y el sistema SS debido a su diseño vertical, y al hecho de que están hechos de vidrio y tienen una tapa de polipropileno en la superficie de los sistemas.

Para los carotenoides no se observaron diferencias significativas. Dentro de los tratamientos 4, 8 y 12 h con 2 minutos de inmersión se observó una media de 10, 11 y 12 mg/g mientras que el contenido más bajo de β -caroteno se observó en el sistema semisólido con 8.2 mg/g

(Figura 1 f). (Sun, 2022) mencionan que funcionan como recolectores de luz para la fotosíntesis.

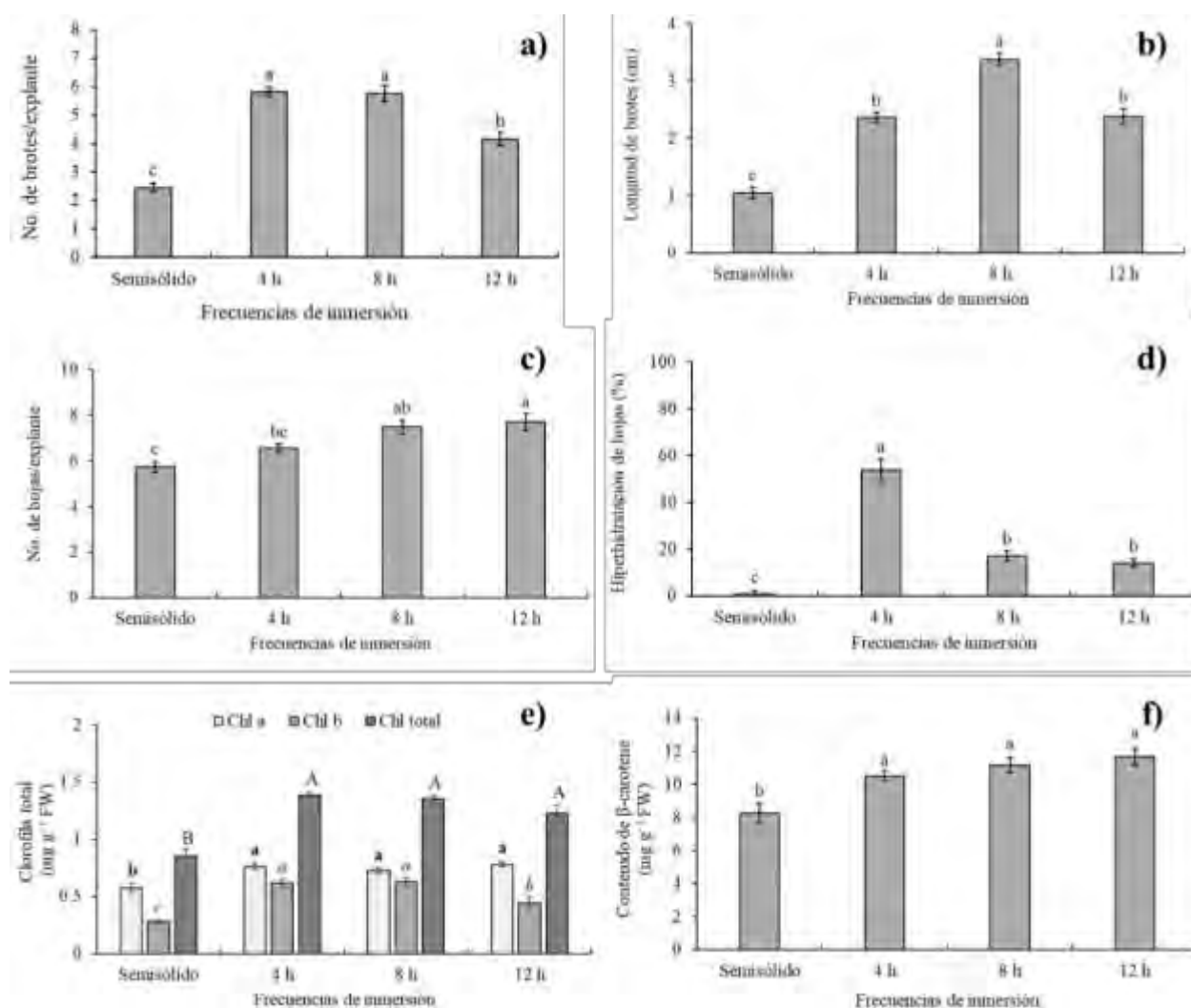


Figura 1. Efecto de las diferentes frecuencias de inmersión temporal para las diferentes variables de *R. idaeus* evaluados a los 30 días de cultivo *in vitro*. a) Número de brotes por explante, b) Longitud de brotes de frambuesa, c) Número de hojas, d) Porcentaje de hiperhidratación, e) Contenido de clorofila y f) contenido de carotenoides. Los resultados se muestran como media $\pm$ SE (error estándar). Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

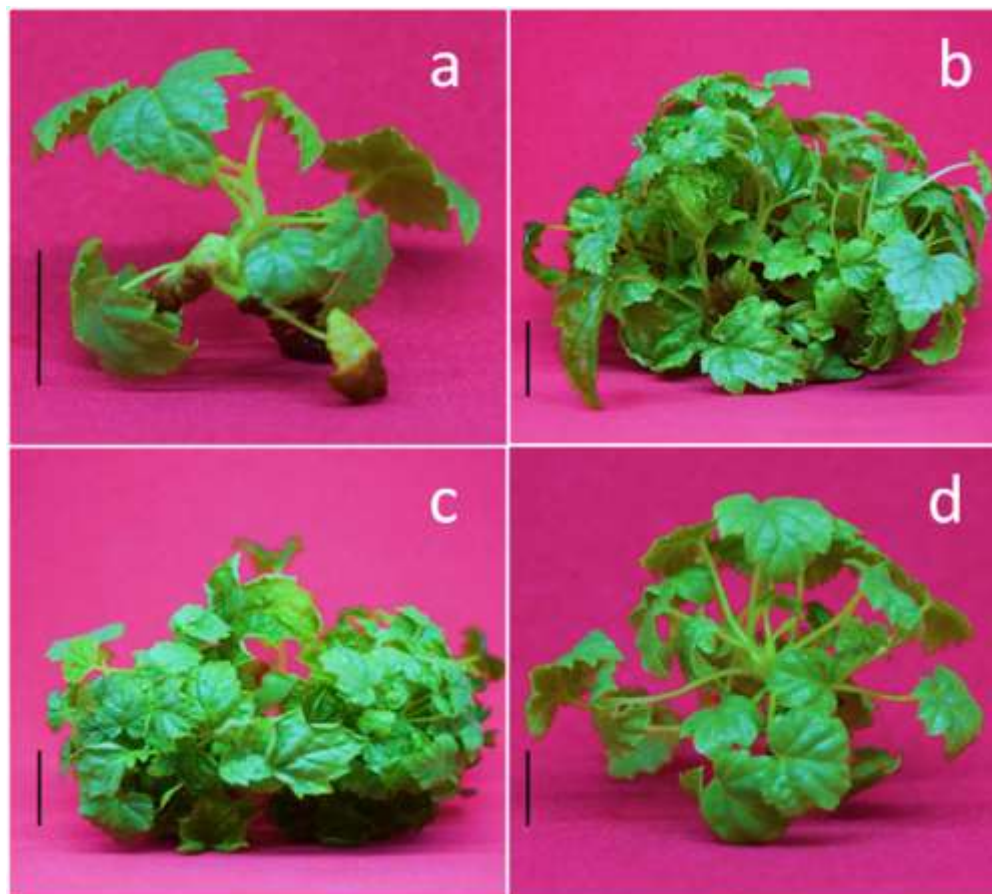


Figura 2. Efecto del uso del biorreactor de inmersión temporal sobre el cultivo *in vitro* de frambuesa (*R. idaeus* L.) a diferentes frecuencias de inmersión a) sistema semisólido, b) frecuencia de 4 horas, c) frecuencia de 8 horas y d) frecuencia de 12 horas.

Conclusiones

El BIT fue una herramienta eficiente para el cultivo *in vitro* de *Rubus idaeus* mejorando la proliferación y el crecimiento de los brotes mediante la optimización del suministro de nutrientes y oxígeno, además de permitir una homogeneidad en el desarrollo de plántulas y una mayor automatización del proceso, lo que reduce la mano de obra y el riesgo de contaminación.

Literatura citada

- Arano-Ávalos, S., Gómez-Merino, F. C., Mancilla-Álvarez, E., Sánchez-Páez, R., & Bello-Bello, J. J. 2020. An efficient protocol for commercial micropropagation of malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) using temporary immersion. *Scientia Horticulturae*, 261, 108998. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108998>.
- Balch, P. M., & Martín, E. 1999. Introducción al cultivo de tejidos vegetales (No. 630.2715 I5).
- Bello-Bello, J. J., Schettino-Salomón, S., Ortega-Espinoza, J., & Spinoso-Castillo, J. L. 2021. A temporary immersion system for mass micropropagation of pitahaya (*Hylocereus undatus*). *3 Biotech*, 11(10), 437. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02984-5>.
- De Carlo, A., Tarraf, W., Lambardi, M., & Benelli, C. 2021. Temporary immersion system for production of biomass and bioactive compounds from medicinal plants. *Agronomy*, 11(12), 2414. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122414>.
- Ghosh, A., Igamberdiev, A.U. & Debnath, Carolina del Sur. Las plantas de arándanos de altura media procedentes de cultivos en biorreactores muestran niveles elevados de polimorfismo de metilación del ADN. *Culto de órganos de tejidos de células vegetales* 146, 269–284 (<https://doi.org/10.1007/s11240-021-02067-6>).
- Guo, YX., Zhao, YY., Zhang, M. et al. Development of a novel *in vitro* rooting culture system for the micropropagation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) seedlings. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 139, 615–620 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01702-7>.
- Hallmann, E., Ponder, A., Aninowski, M., Narangerel, T., & Leszczyńska, J. 2020. The interaction between antioxidants content and allergenic potency of different raspberry cultivars. *Antioxidants*, 9(3), 256. <https://doi.org/10.3390/antiox9030256>.

- Ispiryan, A., Viškelis, J., & Viškelis, P. 2021. Red raspberry (*Rubus idaeus* L.) seed oil: A review. *Plants*, 10(5), 944. <https://doi.org/10.3390/plants10050944>.
- Kim, N. Y., Hwang, H. D., Kim, J. H., Kwon, B. M., Kim, D., & Park, S. Y. 2020. Efficient production of virus-free apple plantlets using the temporary immersion bioreactor system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 779-785. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00257-3>.
- Koraqi, H., Petkoska, A. T., Khalid, W., Kumar, N., & Pareek, S. 2023. Optimization of experimental conditions for bioactive compounds recovery from raspberry fruits (*Rubus idaeus* L.) by using combinations of ultrasound-assisted extraction and deep eutectic solvents. *Applied Food Research*, 3(2), 100346. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100346>.
- López-Corona, A. V., Valencia-Espinosa, I., González-Sánchez, F. A., Sánchez-López, A. L., García-Amezquita, L. E., & García-Varela, R. 2022. Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of phenolic compound family extracted from raspberries (*Rubus idaeus*): A general review. *Antioxidants*, 11(6): 1192. <https://doi.org/10.3390/antiox11061192>.
- Mancilla-Álvarez, E., Spinoso-Castillo, J. L., Schettino-Salomón, S. S., & Bello-Bello, J. J. (2024). Temporary immersion systems induce photomixotrophism during *in vitro* propagation of agave Tobalá. *3 Biotech*, 14(3): 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03928-5>.
- Marchi, P. M., Antunes, L. E. C., Pereira, I. D. S., Höhn, D., & Valgas, R. A. 2018. Vegetative propagation of raspberry from leafy cuttings. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018378>.

- Monja-Mio, K. M., Olvera-Casanova, D., Herrera-Alamillo, M. Á., Sánchez-Teyer, F. L., & Robert, M. L. 2021. Comparison of conventional and temporary immersion systems on micropropagation (multiplication phase) of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora'. 3 Biotech, 11: 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02604-8>.
- Morcillo-Martín, R., Rabasco-Vílchez, L., Espinosa, E., Pérez-Rodríguez, F., & Rodríguez, A. 2023. Raspberry (*Rubus idaeus* L.) waste-derived nanocellulose for circular application in edible films and coatings. LWT, 188, 115438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115438>.
- San José, M. C., Blázquez, N., Cernadas, M. J., Janeiro, L. V., Cuenca, B., Sánchez, C., & Vidal, N. 2020. Temporary immersion systems to improve alder micropropagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 143: 265-275. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01937-9>.
- Sun T, Rao S, Zhou X, Li L. 2022. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. Mol Hortic 2:1-21. <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>.
- Zhang, W., Lao, F., Bi, S., Pan, X., Pang, X., Hu, X., *et al.* 2021. Insights into the major aromatic compounds in clear red raspberry juice (*Rubus idaeus* L. cv. Heritage) by molecular sensory science approaches. Food Chemistry, 336, 127721. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127721>.

INOCULACIÓN DE HONGO MICORRÍFICO *Rhizophagus intraradices* DURANTE LA ACLIMATIZACIÓN DE *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews

María Karen Serrano Fuentes⁷⁴, Aldo Martínez Ramírez⁷⁵, Ricardo Sánchez Páez⁷⁴,
Maurilio Mendoza Mexicano⁷⁶ y Jericó Jabín Bello Bello^{77*}

Resumen

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) realizan asociaciones con las raíces de diferentes especies de plantas para mejorar el desarrollo de los cultivos de forma sustentable. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de HMA (*Rhizophagus intraradices*) sobre el desarrollo *ex vitro* de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). Las plántulas de vainilla fueron inoculadas con diferentes dosis (0, 50, 100, 200 y 300 esporas por plántula) de *R. intraradices* en etapa de aclimatización. A los 120 días de inoculación, se evaluó el porcentaje de colonización y supervivencia, variables de crecimiento, materia seca y contenido de clorofila. La dosis de 50 esporas por plántula, con 17% de colonización y 96% de supervivencia mostró una interacción simbiótica eficiente de acuerdo a las variables de desarrollo evaluadas; mientras que, las dosis de 200 y 300 esporas por plántula, con 65.3 y 73.3% de colonización, respectivamente, ocasionaron bajos porcentajes de supervivencia, con 63.3 y 53.3%, respectivamente. La mayor altura se obtuvo en la dosis de 300 esporas por plántula, mientras que, la menor longitud se obtuvo en el tratamiento control. La mayor cantidad de hojas se obtuvo en los tratamientos con 200 y 300 esporas por plántula; mientras que la menor cantidad de hojas se observó en el tratamiento control. Las plántulas con mayor número de raíces se obtuvieron en el tratamiento con 300 esporas por plántula; mientras que, el menor número de raíces se observó en tratamiento control. Las raíces más largas se observaron en los tratamientos con 50 y 100 esporas; mientras que, las raíces más cortas se encontraron en 0, 200 y 300 esporas por plántula. Se concluye que la inoculación temprana de *R. intraradices* en plántulas de vainilla es una alternativa para aumentar la supervivencia durante la aclimatización y permite un acondicionamiento previo al trasplante para su cultivo.

Palabras clave: colonización, micropropagación, micorrizas, supervivencia

⁷⁴ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

⁷⁵ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana.

⁷⁶ INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Carretera federal Veracruz Córdoba Km. 34, 91700 Veracruz, México.

⁷⁷ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: J.J. B- B. jericobello@gmail.com

Introducción

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal estimulan el desarrollo, aumentan la productividad y promueven una mayor capacidad de supervivencia en las áreas de cultivo (Elnahal *et al.*, 2022). Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son biótrosos obligados (Ahmed, 2024) que penetran las células de las raíces formando arbusculos (Wahab *et al.*, 2023). Las HMA han sido utilizados como biofertilizantes con efectos sobre una mayor disponibilidad de nutrientes y agua (Sun *et al.*, 2023), aumentan la longitud y cantidad de raíces (Li *et al.*, 2016), reducen la toxicidad de los metales pesados, inducen tolerancia a factores abióticos y resistencia a enfermedades en los cultivos agrícolas (Branco *et al.*, 2022). Las orquídeas son famosas por su dependencia específica a los hongos micorrícicos orquidoide durante la germinación de sus semillas (Favre-Godal *et al.*, 2020). Sin embargo, Weerasuriya *et al.*, (2022) mencionan, que existen orquídeas micoheterótrofas que pueden estar relacionadas con diversas micorrizas como ericoide, ectomicorrizas y arbuscular. La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews), es una orquídea de interés cultural y económica debido a que sus frutos son una fuente natural de vainillina, compuesto aromático con aplicación multiindustrial como en alimentos, medicamentos y cosméticos (Armenta-Montero *et al.*, 2022; Liaqat *et al.*, 2023). Sin embargo, el cultivo de vainilla enfrenta grandes desafíos por la sobreexplotación y la pérdida de su hábitat natural (Barreda-Castillo *et al.*, 2023). Actualmente, la vainilla está clasificada en la categoría B2ab (iii, v) “En peligro” en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (<http://www.iucnredlist.org>, consultado el 23 de septiembre de 2023) y en México se encuentra sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010).

Debido a la importancia y problemática actual de este cultivo, la micropropagación a través del cultivo de tejidos vegetales permite propagar plantas de forma aséptica bajo condiciones controladas (Soumare *et al.*, 2021). Para tener éxito durante la micropropagación, uno de los principales retos es la supervivencia de las plántulas durante la fase de aclimatización (Abdalla *et al.*, 2022) para su transferencia en campo o invernadero. La aclimatización es un proceso de acoplamiento que consiste en transferir los explantes gradualmente de condiciones *in vitro* a *ex vitro*. En este proceso, las plántulas enfrentan condiciones de estrés bióticos y abióticos (Mohammed *et al.*, 2022). Debido a esto, los HMA contribuyen a mitigar las condiciones de

estrés *ex vitro* mejorando su tasa de supervivencia y calidad de las plántulas durante la fase de aclimatización (Dewir *et al.*, 2023).

La utilización de HMA en plántulas durante la aclimatización ha tenido efectos positivos en especies como manzana (*Malus prunifolia*) (Dalla *et al.*, 2021), alcachofa (*Cynara cardunculus*) (Pandino *et al.*, 2022), malanga (*Colocasia esculenta* L. Shott), (Baltazar-Bernal *et al.*, 2022), caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (Moreno-Hernández *et al.*, 2022) y coco (*Cocos nucifera* L.) (Gómez-Falcón *et al.*, 2023).

La aplicación de hongos micorrícicos en el cultivo de vainilla es potencialmente útil para mejorar el desarrollo y la supervivencia. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de micorriza arbuscular (*R. intraradices*) sobre el desarrollo *ex vitro* en plántulas de *V. planifolia* en etapa de aclimatización.

Materiales y métodos

Área de estudio. La investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Colegio de Posgraduados-Campus Córdoba, Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, C.P. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Localizado geográficamente a 19° 27' Latitud Norte y 98° 53' Longitud Oeste, a 720 m. El laboratorio cuenta con la certificación ante el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

Material vegetal

Brotes de vainilla (2 cm) previamente establecidos fueron cultivados en medio MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con 2 mg/L de bencilaminopurina (BAP) (Merck® KGaA, Darmstadt, DE), y 30 g/L de sacarosa. El medio MS fue ajustado a pH de 5.8 ± 2 y se agregó 2.5 g/L phytigel (Merck® KGaA, Darmstadt, DE) como agente gelificante. El material se esterilizó en una autoclave a 120°C y 115 kPa 15 min. Los cultivos fueron incubados a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ con un fotoperiodo de 16 h bajo luz LED ($50 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$). Se realizaron tres subcultivos en periodos de 60 días.

Enraizamiento de brotes de vainilla

Para el enraizamiento de brotes de vainilla fueron transferidos a medio MS adicionado con 30 g/L de sacarosa, sin reguladores de crecimiento. Las plántulas fueron se ubicaron en condiciones de invernadero hasta la presencia de raíces.

Inoculación de micorrizas y condiciones del cultivo

La inoculación con micorrizas se realizó *ex vitro* de invernadero utilizando plántulas de un promedio de 3 cm de longitud, se utilizó la micorriza arbuscular de la especie *Rhizophagus intraradices* (Biofertilizante INIFAP®, Chiapas, MX). El biofertilizante INIFAP® contenía una dosis de 40 esporas g/L, logrando un 95% de colonización radicular. La inoculación de micorrizas se realizó en bandejas de polipropileno de 32 cavidades con un sustrato compuesto por composta y tezontle (1:1 v/v). El sustrato fue esterilizado en autoclave durante 30 min a 121°C y 115 kPa. Posteriormente, se agregaron al sustrato diferentes dosis de *R. intraradices* con 0, 50, 100, 200 y 300 esporas por plántula. Las plántulas de vainilla se cubrieron con un domo translúcido para controlar las condiciones de humedad y se mantuvieron en condiciones de invernadero con un 80% de humedad relativa, temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y luz natural a una irradiación de $80 \pm 10 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$ durante 120 días. Durante el experimento se aplicó riego con agua purificada dos a tres veces por semana, transcurridos 120 días se evaluó el porcentaje de supervivencia, porcentaje de colonización, longitud de plántula, número de hojas, longitud y número de raíces.

Colonización micorrícica y caracterización

Para observar el efecto de diferentes dosis de hongos micorrícicos arbusculares en las raíces de la vainilla, se obtuvieron segmentos de la raíz de la vainilla y se fijaron en formaldehído al 5% incubando durante 48 h a temperatura ambiente. Los segmentos de raíz se lavaron tres veces con agua destilada y posteriormente se incubaron en hidróxido de potasio al 10% durante 45 min a 90°C. Las raíces se lavaron tres veces con agua destilada y sumergidas azul de metileno al 0.05% (Merck® KGaA, Darmstadt, DE) y, finalmente las muestras fueron observadas en un microscopio (Carl Zeiss MicroImaging, GmbH 37081, Göttingen, DEU). Tres raíces por tratamiento fueron utilizadas y se determinaron los porcentajes de colonización micorrícica mediante la fórmula:

Porcentaje de colonización de raíz (%) = No. de segmentos infectados / No. de segmentos de raíz examinados × 100.

Clorofila total

Para determinar el contenido de clorofila se tomaron muestras de tejido foliar de la tercera hoja del ápice hacia abajo. Las muestras que contenían 0.2 g de tejido fueron maceradas en 10 mL de acetona al 80%. Posteriormente, los extractos se centrifugaron a 16 000 × g durante 1 min (Harborne, 1984). Las muestras se leyeron a una absorbancia de 645 y 663 nm para la clorofila a y b, respectivamente. Las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific; MA).

Análisis estadístico y diseño experimental

Los experimentos se realizaron con un diseño completamente al azar de tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) seguido de una prueba de Tukey ($p < 0.05$) mediante el estadístico SPSS (versión 22 para Windows). Los datos porcentuales se transformaron con la fórmula $Y = \arccos(\sqrt{x / 100})$, donde x es el valor porcentual.

Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación un efecto de los HMA sobre el porcentaje de colonización y la supervivencia de las plántulas *ex vitro* (Figura 1). La mayor colonización de esporas se obtuvo en las dosis de 200 y 300 esporas por plántula; mientras que en el tratamiento control no se observó colonización de esporas (Figura 1a). Para la variable porcentaje de supervivencia, el mayor número de plántulas vivas se obtuvo en la dosis de 50 esporas por plántula; mientras que el menor porcentaje de supervivencia se obtuvo en la dosis de 200 y 300 esporas por plántula (Figura 1b).

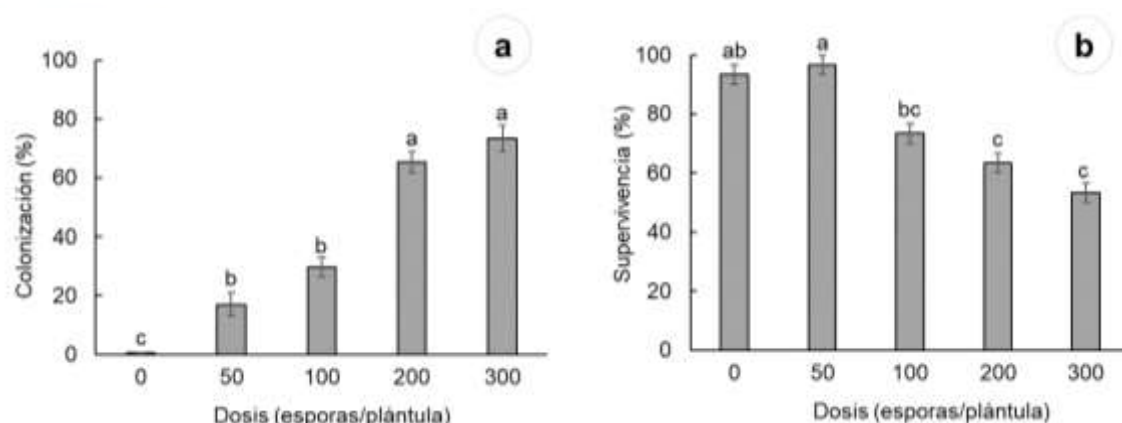


Figura 1. Efecto de los hongos micorrícicos arbusculares (*Rhizophagus intraradices*) sobre: (a) La colonización y (b) supervivencia evaluados a los 120 días de cultivo *ex vitro* de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). Los resultados se muestran como media $\pm$ error estándar. Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

De acuerdo con la caracterización de la interacción de *R. intraradices* y *V. planifolia* realizada mediante microscopía, se observó una asociación simbiótica entre planta - hongo, con presencia de esporas, hifas intracelulares y arbuscúlos (Figura 2).

En general, el porcentaje de supervivencia disminuyó al incrementar el porcentaje de colonización. La asociación simbiótica entre *R. intraradices* y *V. planifolia*, en la dosis de 50 esporas por plántula y con 17% de colonización, mostró el mayor porcentaje de supervivencia (96%) de las plántulas de *V. planifolia*. Por otro lado, las dosis más altas de colonización (200 y 300 esporas por plántula) ocasionaron bajos porcentajes de supervivencia (53.3 y 63.3%, respectivamente). Al respecto, Villalbazo-García *et al.*, (2023) mencionan que una dosis alta de micorrizas podría causar un efecto tóxico, afectando el desarrollo y supervivencia de las plantas. Huey *et al.*, (2020) señalan que los hongos micorrícicos pueden tener interacciones parasitarias con efectos antagónicos cuando no existe una adecuada interacción simbiótica. Los efectos de los HMA sobre la supervivencia se han demostrado previamente en cúrcuma (*Curcuma longa* L.) (de Souza *et al.*, 2020), madroño (*Arbutus unedo* L.) (Gomes *et al.*, 2021), caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (Moreno-Hernández *et al.*, 2022), coco (*Cocos nucifera* L.) (Gómez-Falcón *et al.*, 2023), stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) (Villalbazo-García *et al.*, 2023). de Souza *et al.*, (2020) en *C. longa* observaron que 150 esporas por plántula de *Rhizophagus*

clarus y *Claroideoglomus etunicatum* promovieron el 100% de supervivencia. Gomes *et al.*, (2021) reportaron en *A. unedo* que 3.200 esporas por plántula de micorrizas arbutoides disminuyó el 65.9% de supervivencia. Moreno-Hernández *et al.*, (2022) en *Saccharum* spp. indicaron que 50 y 100 esporas por plántula de *Glomus intraradices* promovió el 95% de supervivencia. Gómez-Falcón *et al.*, (2023) en *C. nucifera* observaron que 246 esporas por plántula inoculadas con un consorcio nativo de HMA, promovieron el 92% de supervivencia. Villalbazo-García *et al.*, (2023) reportaron en *S. rebaudiana* que 450 esporas por plántula de *G. intraradices* disminuyó el 73.3% de supervivencia.

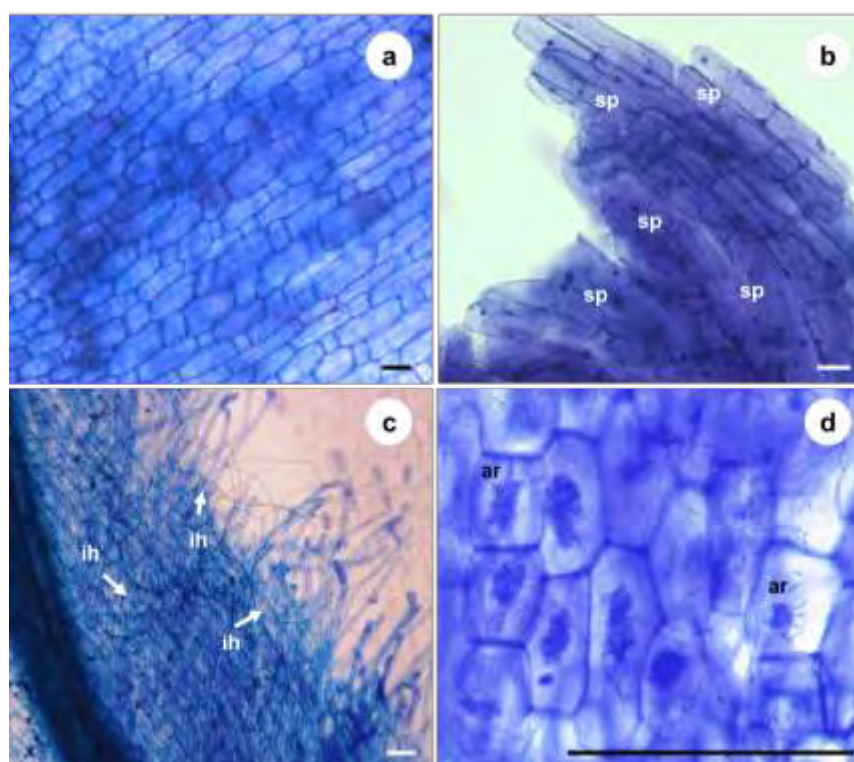


Figura 2. Colonización de *Rhizophagus intraradices* sobre el desarrollo de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) a los 120 días de la inoculación de esporas. (a) Tratamiento control, (b) presencia de esporas, (c) presencia de hifas intracelulares, (d) desarrollo de arbuscúlos en células corticales. Estructuras fúngicas como esporas (sp), arbuscúlos (ar) e hifas intracelulares (ih), fueron observados mediante microscopia de campo brillante. Barra de escala= 50 μ m.

Al evaluar el efecto de diferentes dosis de HMA en el desarrollo de plántulas de vainilla, se observaron diferencias significativas para la longitud de la plántula, número de hojas, número y longitud de raíces, y contenido de clorofila durante la aclimatización (Figura 3). Para la variable longitud de plántula, la mayor altura se obtuvo en la dosis de 300 esporas por plántula; mientras que, la menor longitud se obtuvo en el tratamiento control (Figura 3a). La mayor cantidad de hojas se obtuvo en los tratamientos con 200 y 300 esporas por plántula; mientras que, la menor cantidad de hojas se obtuvo en el tratamiento control (Figura 3b). El mayor número de raíces se obtuvieron en el tratamiento con 300 esporas por plántula; mientras que, el menor número de raíces se observó en el tratamiento control (Figura 3c). Las raíces más largas se observaron en los tratamientos de 50 y 100 esporas; mientras que, las raíces más cortas se encontraron en 0, 200 y 300 esporas por plántula (Figura 3d). Para el porcentaje de materia seca, el mayor porcentaje se obtuvo en la dosis de 300 esporas por plántula; mientras que, el menor porcentaje se obtuvo en el tratamiento control (Figura 3e). Con relación a clorofila total, el mayor contenido se obtuvo en las dosis de 100, 200 y 300 esporas por plántula; mientras que el menor contenido se observó en el tratamiento control (Figura 3f).

El efecto positivo de la aplicación de micorrizas sobre el desarrollo de las plántulas podría deberse a la formación de hifas en la rizosfera que, permiten a las raíces mejorar su funcionamiento en procesos fisiológicos como: la tolerancia a factores abióticos, resistencia a factores bióticos, mejora la actividad fotosintética, absorción de agua y nutrientes (Wu *et al.*, 2021).

En esta investigación, se observó un incremento en la longitud de plántula, número de hojas por plántula, número de raíces, porcentaje de materia seca y contenido de clorofila conforme aumentó la dosis de esporas por plántula. El aumento de la longitud de plántulas inoculadas con micorrizas ya ha sido reportado por Xiao *et al.*, (2023) en planta medicinal de *Cinnamomum migao* H.W.Li, donde observaron una mayor longitud en las plantas en dosis de 1400 esporas por plántula, inoculando el hongo *Glomus etunicatum*. Gómez-Falcón *et al.*, (2023) encontraron que la longitud de las plántulas de coco (*Cocos nucifera* L.) fue mayor al inocular utilizando un producto comercial de *Rhizoglosum intraradices* y *Acaulospora colombiana* con 246 esporas por plántula. Khan *et al.*, (2022) mencionan que la asociación simbiótica entre plantas y HMA promueven la síntesis de hormonas de crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas, donde esta última favorece especialmente la longitud de tallo y raíz. Por otro lado, Moreno-

Hernández *et al.*, (2022) reportaron un aumento de raíces al utilizar *Glomus intraradices* en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con 50 y 100 esporas por plántula. Das *et al.*, (2022) mencionan que, los HMA promueven el número y longitud de las raíces principales, laterales y pelos radicales, que son importantes para la asimilación de nutrientes.

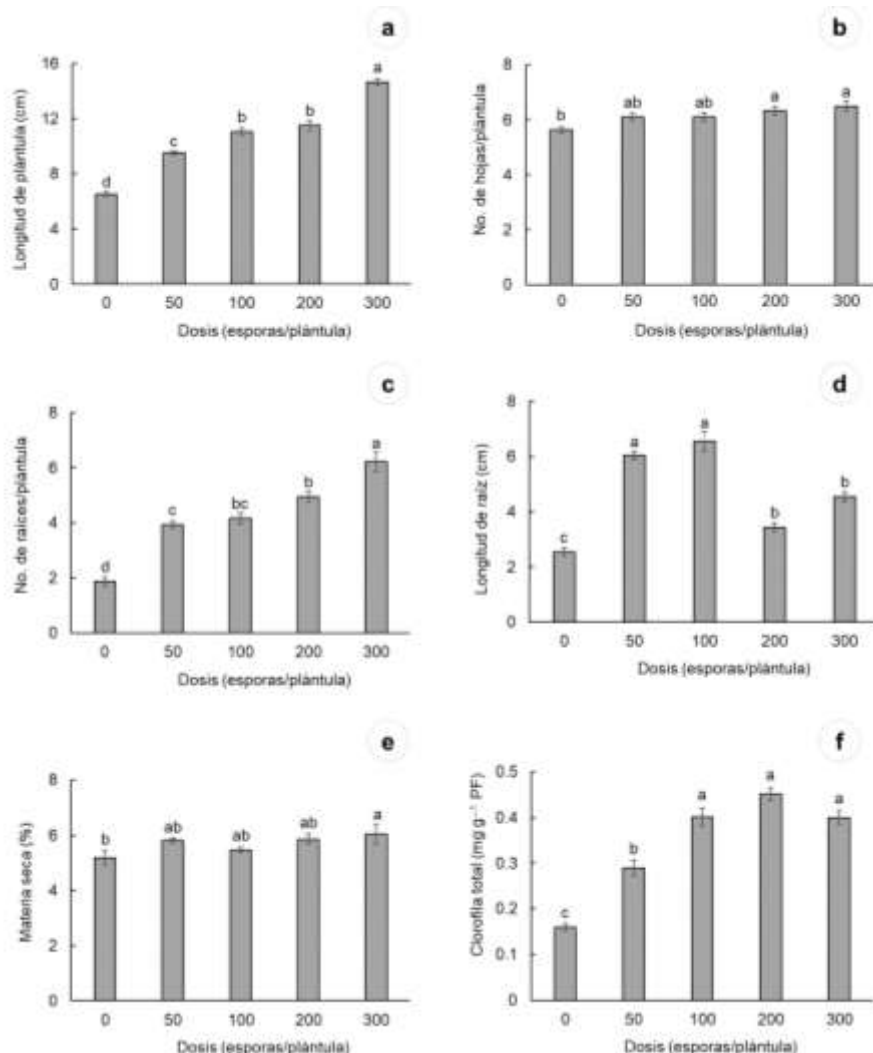


Figura 3. Efecto de *Rhizophagus intraradices* sobre el desarrollo, materia seca y clorofila total de plántulas de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) durante la etapa de aclimatización. (a) Longitud de plántula, (b) número de hojas por plántula, (c) número de raíces por plántula, (d) longitud de raíz, (e) porcentaje de materia seca, y (f) clorofila total. Los resultados se muestran como media $\pm$ error estándar. Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En este estudio, el aumento en el porcentaje de materia seca en presencia de HMA podría deberse a que *R. intraradices* es un hongo endomicorrícico que penetra las células y tejidos de las raíces, ocasionado un aumento en la materia seca respecto al tratamiento control, sin presencia de micorrizas.

El aumento del contenido de clorofila en presencia de HMA podrían estar asociado a una mayor actividad fotosintética. Se ha reportado mayor acumulación del contenido de clorofila en plántulas inoculadas con micorrizas en especies como café (*Coffea arabica* L.) (Fonseca *et al.*, 2020), sandía (*Citrullus lanatus* L. cv. Qilin) (Wu *et al.*, 2021) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Shafiq *et al.*, 2023). Fonseca *et al.*, (2020), demostraron que las HMA promovieron el contenido de clorofilas en plántulas de café (*C. arabica*) inoculadas con 600 esporas por plántula.

Se ha reportado para sandía (*C. lanatus*) un aumento en la tasa fotosintética en dosis de 300 esporas por plántula (Wu *et al.*, 2021). Así mismo, Shafiq *et al.*, (2023), encontraron que el contenido de clorofila aumento significativamente en plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) inoculadas con 250-300 esporas por plántula. La variación del contenido de clorofila es un factor importante que determina indirectamente la capacidad fotosintética de las plantas (Baltazar-Bernal *et al.*, 2022). Al respecto, Khan *et al.*, (2022) mencionan que una tasa fotosintética alta podría conducir a un mayor metabolismo en las plantas hospedantes, lo que resultaría en un mayor desarrollo vegetativo.

Conclusiones

En conclusión, se demostró que diferentes dosis de esporas de *Rhizophagus intraradices* tiene efecto sobre la colonización, la tasa de supervivencia, el desarrollo, y el contenido de clorofila total en las plántulas de vainilla. A medida que aumenta la dosis de hongos micorrícicos arbusculares (HMA), la supervivencia tiende a disminuir.

Se sugiere aplicar dosis de 50 esporas por plántula, lo que reduce los costos de manejo y transporte del producto, así como la cantidad de HMA. La inoculación con dosis adecuadas de *Rhizophagus intraradices* en plántulas de vainilla bajo condiciones de invernadero es una alternativa prometedora para mejorar la tasa de supervivencia y el desarrollo fisiológico durante

la aclimatización, además de facilitar el acondicionamiento previo al trasplante en campo. Se requieren estudios adicionales para evaluar el efecto de los HMA durante el establecimiento comercial de este importante cultivo.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET), número de proyecto: CP 2710 1427/2023.

Literatura citada

- Ahammed, G. J. 2024. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants: Fundamentals and Applications. Springer Nature, Singapore.
- Abdalla, N., El-Ramady H., Seliem M. K., El-Mahrouk M. E., Taha N., Bayoumi Y. *et al.* 2022. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. Horticulturae 8:677.
- Armenta-Montero, S., Menchaca-García R., Pérez-Silva A. and Velázquez-Rosas N. 2022. Changes in the potential distribution of *Vanilla planifolia* Andrews under different climate change projections in Mexico. Sustainability 14:2881.
- Barreda-Castillo, J. M., Monribot-Villanueva J. L., Velázquez-Rosas N., Bayman P., Guerrero-Analco J. A., Menchaca-García R. A. 2023. Morphological and Physio-Chemical Responses to PEG-Induced Water Stress in *Vanilla planifolia* and *V. pompona* Hybrids. Int. J. Mol. Sci. 24:4690.

- Branco, S., Schauster A., Liao H. L. and Ruytinx, J. 2022. Mechanisms of stress tolerance and their effects on the ecology and evolution of mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 235:2158–2175.
- Baltazar-Bernal, O., Spinoso-Castillo J. L., Mancilla-Álvarez E., Bello-Bello J. J. 2022. Arbuscular Mycorrhizal Fungi induce tolerance to salinity stress in Taro plantlets (*Colocasia esculenta* L. Schott) during Acclimatization. *Plants* 11:1780.
- Elnahal, A. S., El-Saadony M. T., Saad A. M., Desoky E. S. M., El-Tahan A. M., Rady M. M. *et al.* 2022. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *Eur. J. Plant Pathol.* 162:759–792.
- Dalla, C. M., Rech T. D., Primieri S., Pigozzi B. G., Werner S. S., Stürmer S. L. 2021. Inoculation with isolates of arbuscular mycorrhizal fungi influences growth, nutrient use efficiency and gas exchange traits in micropropagated apple rootstock ‘Marubakaido’. *PCTOC* 145:89–99.
- Das, D., Ullah H., Himanshu S. K., Tisarum R., Cha-Um S., Datta A. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and phosphorus application improve growth, physiological traits, and grain yield of rice under alternate wetting and drying irrigation. *J Plant Physiol* 278:153829.
- de Souza F., M. P., da Cruz R. M. S., dos Santos Queiroz M., de Andrade M. M., Alberton O, Magalhães H. M. 2020. Efficient *ex vitro* rooting, acclimatization, and cultivation of *Curcuma longa* L. from mycorrhizal fungi. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 23:469–482.
- Dewir, Y. H., Al-Qarawi A. A., Alshahrani T., Bansal Y., Mujib A., Murthy H. N. *et al.* 2023. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and development of micropropagated *Rubus fruticosus* ‘P45’ plants during acclimatization. *HortScience* 58:871-876.

- Fonseca, A. J., Tassone G. A. T., Carneiro M. A. C., Carvalho G. R., Carvalho C. H. S. and Botelho C. E. 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on acclimatization of clones of *Coffea arabica* L. produced by somatic embryogenesis. *Cienc. e Agrotecnologia* 44:e001120.
- Favre-Godal, Q., Gourguillon L., Lordel-Madeleine S., Gindro K. and Choisy P. 2020. Orchids and their mycorrhizal fungi: an insufficiently explored relationship. *Mycorrhiza* 30:5–22.
- Gomes, B., Castro F., Santos R., Figueiredo P., Silva M., Vidal M. *et al.* 2021. Effect of quercetin on mycorrhizal synthesis between *Tuberborchii* and *Arbutus unedo* L. *in vitro* plants. *Microbiol. Res.* 12:69–81.
- Gómez-Falcón, N., Sáenz-Carbonell L. A., Andrade-Torres A., Lara-Pérez L. A., Narváez M., Oropeza C. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi increase the survival and growth of micropropagated coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 59:401–402.
- Harborne, J. B. 1984. "Methods of plant analysis." *Phytochemical methods: a guide to modern techniques of plant analysis.* Dordrecht: Springer Netherlands 1–36.
- Huey, C. J., Gopinath S. C., Uda M. N. A., Zulhaimi H. I., Jaafar M. N., Kasim F. H., Yaakub A. R. W. 2020. Mycorrhiza: a natural resource assists plant growth under varied soil conditions. *3 Biotech* 10:1–9.
- Khan, Y., Shah S. and Tian H. 2022. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi in influencing plant nutrients, photosynthesis, and metabolites of cereal crops-a review. *Agronomía* 12:2191.
- Li, X., Zeng R. and Liao H. 2016. Improving crop nutrient efficiency through root architecture modifications. *J Integr Plant Biol* 58:193–202.

- Liaqat, F., Xu L., Khazi M. I., Ali S., Rahman M. U., Zhu D. 2023. Extraction, purification, and applications of vanillin: A review of recent advances and challenges. *Ind Crops Prod.* 204:117372.
- Mohammed, M., Munir M. and Ghazzawy H. S. 2022. Design and evaluation of a smart *ex vitro* acclimatization system for tissue culture plantlets. *Agronomy* 13:78.
- Moreno-Hernández, M. R., Spinoso-Castillo J. L., Sánchez-Segura L., Sánchez-Páez R., Bello-Bello J. J. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi: inoculum dose affects plant development and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) plantlets during acclimatization stage. *J Soil Sci Plant Nutr* 22:4847–4856.
- Murashige, T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473–497.
- Pandino, G., Lombardo S., Lo Monaco A., Ruta C., Mauromicale G. 2022. Mycorrhizal inoculation improves plant growth and yield of micropropagated early globe artichoke under field conditions. *Agriculture* 12:114.
- Sun, W. and Shahrajabian M. H. 2023. The application of arbuscular mycorrhizal fungi as microbial biostimulant, sustainable approaches in modern agriculture. *Plants* 12:3101.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) de Protección Especial de Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres; Diario Oficial de la Federación: Ciudad de México, México, 2–56.
- Soumare, A., Diédhiou A. G., Arora N. K., Tawfeeq Al-Ani, L. K., Ngom M., de Saliou C. *et al.* 2021. Potential role and utilization of plant growth promoting microbes in plant tissue culture. *Front. Microbiol* 12:649878.

- Shafiq, M., Casas-Solís J., Neri-Luna C., Kiran M., Yasin S., González-Eguiarte D. R. *et al.* 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth stimulant in a tomato and onion intercropping system. *Agronomy* 13: 2003.
- Villalbazo-García, T. D. C., Hernández-Zárate G., Trejo-Téllez L. I. and Bello-Bello J. J. 2023. Endomycorrhizal fungi inoculation improves development of *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plantlets during *ex vitro* acclimatization. *Symbiosis* 90:53–60.
- Weerasuriya, N. M., Kukolj K., Spencer R., Sveshnikov D., Thorn R. G. 2022. Multiple Fungi May Connect the Roots of an Orchid (*Cypripedium reginae*) and Ash (*Fraxinus nigra*) in Western Newfoundland. *Front. Fungal Biol* 3:805127.
- Wahab, A., Muhammad M., Munir A., Abdi G., Zaman W., Ayaz A. *et al.* 2023. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants* 12:3102.
- Wu, M., Yan Y., Wang Y., Mao Q., Fu Y., Peng X. *et al.* 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. *Biol Control* 152:104433.
- Xiao, X., Liao, X., Yan, Q., Xie, Y., Chen, J. and Liang, G. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth, water status, and nutrient uptake of *Cinnamomum migao* and the soil nutrient stoichiometry under drought stress and recovery. *Journal of Fungi*, 9(3), 321.

ESTABLECIMIENTO DE UN PROTOCOLO DE CALLOGÉNESIS *in vitro* DE *Sechium edule* VARIEDAD VERDE LISO

Ángel Bruno Cruz Hidalgo⁷⁸, Leonardo Márquez Juárez⁷⁸, Norma Mora Collado⁷⁸, Régulo Carlos Llerena Hernández⁷⁸ y Rosalía Núñez Pastrana^{78*}

Resumen

El chayote (*Sechium edule*) es una cucurbitácea originaria de Mesoamérica, que se cultiva en muchas regiones del mundo, siendo uno de los vegetales más accesibles para poblaciones de bajos recursos. A nivel internacional, México es uno de los principales productores de chayote, y el estado de Veracruz es el principal productor del País. El fruto de chayote no puede almacenarse por un tiempo prolongado, debido a que es una especie vivípara (la semilla no muestra período de latencia y germina en el fruto), además de que esta puede llegar a dañarse o incluso morir por desecación por la falta de testa lignificada. El cultivo *in vitro* puede presentarse como una alternativa para apoyar a los productores a conseguir un mayor número de plántulas con menor costo y con mejores características. La producción de callo vegetal suele ser un paso crucial previo para la obtención de embriones somáticos, los cuales son una materia prima importante con fines de propagación y almacenamiento de germoplasma. El objetivo de este trabajo fue establecer un protocolo para la producción de callo *in vitro* a partir de diferentes explantes de chayote verde liso. En este estudio se utilizaron distintos tipos de explante (hoja, tallo y embrión cigótico inmaduro) de chayote para la inducción de callo, utilizando el medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementado con 1.5 mg/L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). Se lograron obtener callos de los tres tipos de explantes, el tallo fue el que produjo mayor cantidad de callo por explante (80.55%) en menor tiempo, el callo era friable y de color amarillo claro, seguidos de los segmentos de hojas que también produjeron callo friable (65.83%), finalmente los embriones cigóticos inmaduros produjeron una menor cantidad de callo por explante (9%), el cual fue de los dos tipos, friable y compacto.

Palabras clave: chayote, callogénesis, *in vitro*

Introducción

El chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] es una cucurbitácea originaria de Mesoamérica (Newstrom, 1990), en la actualidad se cultiva en muchas regiones del mundo, siendo uno de

⁷⁸ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba-Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: ronunez@uv.mx

los vegetales más accesibles para poblaciones de bajos recursos (Lira, 1996). Es una planta herbácea, monoica y trepadora, de frutos vivíparos y carnosos, utilizada principalmente como alimento humano (Sosa, 1997).

Este fruto presenta dificultad para su almacenamiento dado que es una especie vivípara, además de que esta puede dañarse o incluso morir por desecación por la falta de testa lignificada (Venutolo *et al.*, 2007). El chayote posee características nutricionales benéficas, como fuente de antioxidantes, antialérgico y antiinflamatorio, que hacen que este alimento sea un recurso fitogenético de alto valor comercial (Chang *et al.*, 2021).

Las técnicas de cultivo de plantas *in vitro* actualmente son de importancia para el mejoramiento genético, la conservación de germoplasma y para incrementar la producción a nivel comercial. Dichas técnicas implican el cultivo de distintos tipos de explante (hoja, raíz, tallo u órganos sexuales) en un medio específico con ciertos reguladores de crecimiento vegetal, dependiendo de qué resultados se desean obtener.

Los cultivos de callo en plantas suelen ser un paso crucial para seguir distintas rutas morfogénicas, como la formación de embriones somáticos. La formación de callo está controlada por fitohormonas vegetales como las auxinas, citocininas y giberelinas (Efferth, 2019). La embriogénesis somática es una técnica que permite obtener embriones a partir de células somáticas del tejido vegetal, aprovechando la capacidad de totipotencia que estas poseen (Von *et al.*, 2002), donde se genera una planta a partir de una sola o un grupo de células somáticas. Una de las grandes ventajas de la embriogénesis somática es que permite la propagación masiva de plantas con características morfológicas y genéticas deseables (Gulzar *et al.*, 2020).

Materiales y métodos

Material biológico

Se utilizaron frutos de chayote verde liso (*S. edule* var. *virens levis*) en dos estadios de desarrollo: en madurez fisiológica e inmaduros. Se seleccionaron frutos sanos y en el caso de los frutos en madurez fisiológica aquellos donde aún no había emergido ni la raíz ni la parte aérea. Los frutos fueron colectados en huertas de Cuautlapan, municipio de Ixtaczoquitlán,

Veracruz, durante los meses de enero-abril de 2024. Estas huertas llevan un manejo agronómico convencional.

Establecimiento del cultivo *in vitro* de chayote

Para el establecimiento se siguió la siguiente metodología propuesta en literatura: se colectaron frutos del chayote verde liso en madurez fisiológica, se lavaron con abundante agua y jabón; posteriormente, en una campana de flujo laminar, el exocarpio y mesocarpio fueron removidos, para dejar un cubo de aproximadamente $5 \times 4 \times 3 \text{ cm}^3$ que contenía el embrión intacto. Este cubo se lavó con etanol 70% por 3 min, seguido de un lavado con hipoclorito de sodio 3% durante 5 min, después se enjuagó con agua destilada estéril tres veces y se diseccionó cuidadosamente para retirar los cotiledones con el embrión y colocarlo en el medio Murashige y Skoog a la mitad de su concentración, suplementado con sacarosa al 3%, phytigel al 0.25% y sin reguladores del crecimiento vegetal, el pH se ajustó a 5.7 antes de ser esterilizado. Estos explantes se colocaron en fotoperiodo 18 h luz/6 h oscuridad a 25°C durante tres semanas.

Inducción de callo

Para la inducción de callo se utilizaron tres diferentes explantes, dos de ellos obtenidos de las plantas de dos semanas de edad previamente establecidas: segmentos nodales y segmentos foliares; los embriones cigóticos inmaduros se obtuvieron de frutos que se desinfestaron como se describió previamente para los frutos en madurez fisiológica. Los explantes se segmentaron en piezas de 1 cm de longitud (segmentos nodales), $1 \times 1 \text{ cm}^2$ (segmentos foliares) y los embriones cigóticos inmaduros completos (medían entre 1.5 y 2 cm). En el caso de los segmentos nodales, se aseguró que estos tuvieran yemas axilares.

Todos los explantes se colocaron en medio MS en cajas de Petri, cada caja contenía 20 mL de medio de cultivo suplementado con sacarosa al 3%, phytigel al 0.25% y con 1.5 mg /L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) para la inducción de callo, por último, estos explantes se colocaron en oscuridad a 25°C durante dos semanas (Soto, 2022).

Diseño y unidad experimental

La unidad experimental consistió de una caja de Petri con medio MS, cada caja contenía de tres a cuatro explantes de tallo, hoja o embriones cigóticos. Se realizaron tres repeticiones para cada tipo de explante.

Resultados y discusión

Establecimiento *in vitro* del chayote

A lo largo de los primeros dos meses se estableció el cultivo *in vitro* de chayote a partir de embriones cigóticos. Transcurridos 15 días después de que germinaron, las plantas se utilizaron para obtener los explantes para la inducción de callo.

Los primeros establecimientos mostraron una tasa de contaminación mayor al 50%, en el siguiente establecimiento la contaminación disminuyó a 20%, continuó disminuyendo hasta alcanzar un 10% y el último establecimiento volvió a incrementarse la contaminación a un 30% (Figura 1).

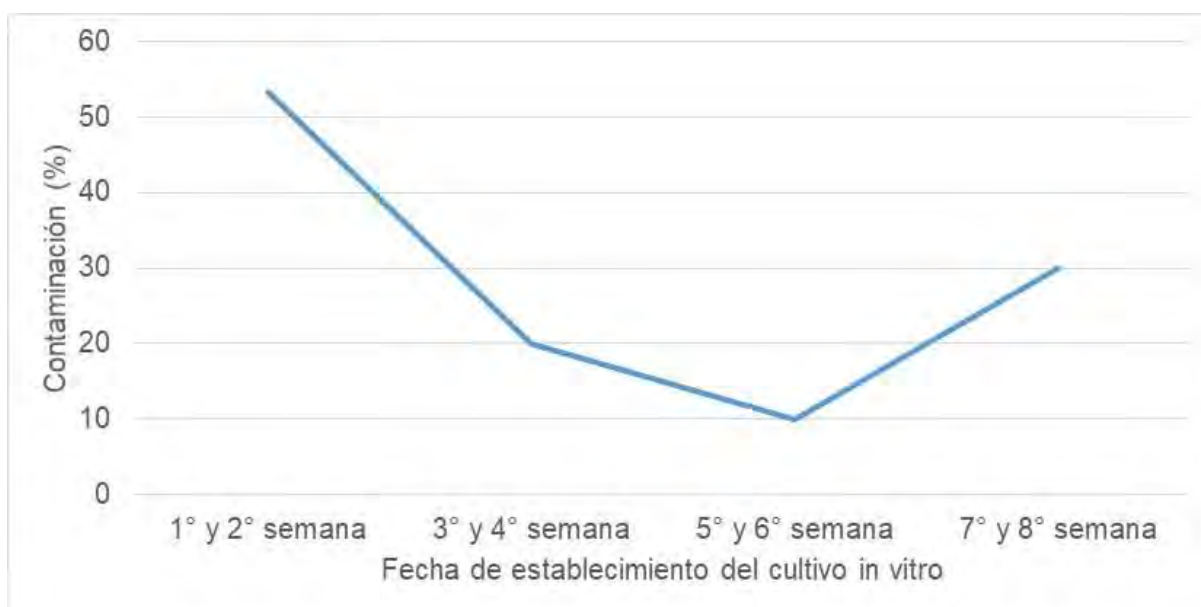


Figura 1. Contaminación de embriones cigóticos durante el establecimiento del cultivo *in vitro* de chayote. El establecimiento se evaluó en cuatro fechas distintas.

Estos valores indican que el protocolo de establecimiento se fue perfeccionando cada vez que se llevaba a cabo, lo cual se reflejó en la disminución de explantes contaminados en esta etapa.

Los embriones germinaron después de 5 a 10 días de establecidos (Figura 2), por otra parte, aquellos embriones extraídos de frutos inmaduros presentaron dificultades para la brotación y emergencia de la raíz, además de que su extracción por ser más pequeño resultó difícil y esto facilita la contaminación debido a problemas de manipulación.



Figura 2. Germinación *in vitro* de embriones cigóticos de chayote en medio Murashige y Skoog.

El protocolo de establecimiento del cultivo *in vitro* de chayote reportado por otros autores es muy eficiente, el punto clave para disminuir la contaminación es el uso de frutos que no estén germinando aún, para que los cotiledones y el embrión cigótico se encuentren completamente protegidos por el mesocarpio y el exocarpio, quienes serán los que estén en contacto directo con los agentes desinfectantes. La práctica es crucial para obtener 100% de plantas establecidas de manera aséptica (Soto *et al.*, 2022).

Inducción de callos

Se utilizaron tres tipos de explante para la inducción de callo en chayote, segmentos nodales, segmentos foliares y embriones cigóticos inmaduros. De los tres tipos de explante, los que presentaron una mayor producción de callo fueron los segmentos nodales, donde la media fue el 80.55% del explante cubierto de callo en los primeros cinco días de tratamiento (Figura 3), el callo era de color blanco y textura suave (friable) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de callo a partir de explantes de hoja, tallo y embrión cigótico de chayote (*Sechium edule*).

Explante	Color del callo	% del explante cubierto con callo	Tipo de callo	Desviación estándar
Hoja	Blanco	65.83	Friable	4.915
Tallo	Blanco	80.55	Friable	9.166
Embrión cigótico	Blanco/ Amarillento	9	Friable/Compacto	4.183

Los explantes provenientes de hoja, al igual que los segmentos nodales, también presentaron un rápido desarrollo de callo entre los primeros seis días de haber empezado el tratamiento de inducción, estos también presentaron una producción de callo por explante del 65.83%, de color blanco y de textura suave (Cuadro 1).

Por último, los embriones cigóticos inmaduros presentaron un 9% de producción de callo por explante, este se limitó a las zonas que estaban en contacto con el medio, el callo que se formó era de un color blanco-amarillento, era más compacto (Cuadro 1), además se observó el crecimiento de una o varias radículas en la periferia del embrión cigótico mientras aún estaba en el tratamiento para inducir la formación de callo (Figura 3).

Soto *et al.* (2022) también determinaron que los segmentos nodales son los que responden mejor en la generación de callo (100%), comparando con los segmentos de hoja en chayote (80%); sin embargo, la producción de callo a partir de embriones cigóticos no estaba reportada en esta especie, a pesar de ser uno de los explantes que tiene mayor potencial para la generación de embriones somáticos, como se ha mostrado en *Litchi chinensis* y *Euterpe precatoria* (Barbosa-Ferreira *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2024). Los explantes de segmentos

nodales y foliares produjeron callos friables, mientras que los embriones cigóticos, callos compactos y en menor cantidad.

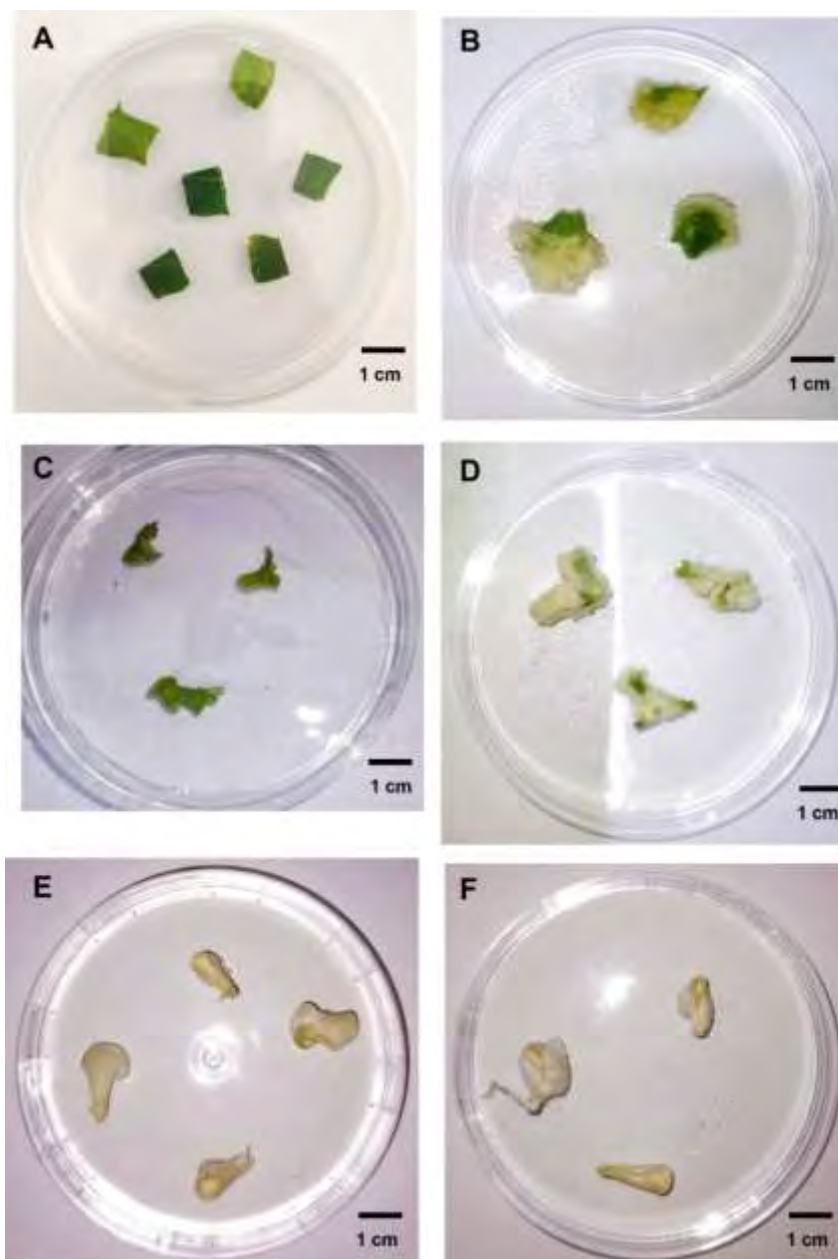


Figura 3. Explantes utilizados para la producción *in vitro* de callo en chayote. A) Segmentos de hoja, tiempo 0; B) Segmentos de hoja, 15 días después de la inducción de callo; C) Segmentos de tallo, tiempo 0; D) Segmentos de tallo, 15 días después de la inducción de callo; E) Embriones cigóticos, tiempo 0; F) Embriones cigóticos, 15 días después de la inducción de callo.

Los callos compactos son duros, se desintegran con dificultad, y tienen menor contenido de agua, mientras que los callos friables, son suaves y se desintegran fácilmente; en café (*Coffea arabica*) se observó que los callos compactos produjeron un mayor número de embriones respecto a los callos friables (Ávila-Victor *et al.*, 2023).

Conclusiones

1. Los explantes de chayote verde liso que tienen mayor capacidad para la producción de callo son los tallos y hojas. 2. Los embriones cigóticos inmaduros tienen menor capacidad para producir callo bajo las condiciones evaluadas en este estudio. 3. El tipo de explante influye en el tipo de callo (friable o compacto). 4. Es importante evaluar la capacidad de los dos tipos de callos obtenidos en chayote para la producción de embriones somáticos.

Literatura citada

- Ávila-Victor, C. M., E. D. J. Arjona-Suárez, L. Iracheta-Donjuan, J. M. Valdez-Carrasco, F. C. Gómez-Merino and A. Robledo-Paz. 2023. Callus type, growth regulators, and phytigel on indirect somatic embryogenesis of Coffee (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Plants* 12(20):3570.
- Barbosa-Ferreira, J. C., I. M. D. A. Silva-Cardoso, R. D. O., Meira and J. E. Scherwinski-Pereira. 2022. Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryos of the palm tree *Euterpe precatoria* Mart. *Plant, Cell, Tissue and Organ Culture* 148:667-686.
- Chang, K. A., S. L. Ley, M. Y. Lee, H. Y. Yaw, S. W. Lee, Chew, *et al.* 2021. Determination of nutritional constituents, antioxidant properties, and α -amylase inhibitory activity of *Sechium edule* (chayote) shoot from different extraction solvents and cooking methods. *LWT* 151:112177.

- Efferth, T. 2019. Biotechnology applications for plant callus cultures. *Engineering* 5:50-59.
- Gulzar, B., A. Mujib, M. Q. Malik, R. Sayeed, J. Mamgain and B. Ejaz. 2020. Genes, proteins and other networks regulating somatic embryogenesis in plants. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 18:31.
- Huang, M., W. Guo, X. Wu, Y. Qin, I. A. Sabir, Z. Zhang, *et al.* 2024. Somatic embryogenesis and plant regeneration of *Litchi chinensis* Sonn. cv. 'Zili' from immature zygotic embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 156:39.
- Lira, R. 1996. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Chayote (*Sechium edule* Jacq.) SW. IPGRI. Roma, Italia. 58 p.
- Newstrom, L. E. 1990. 12. Origin and Evolution of Chayote, *Sechium edule*. p. 141-149. In: Jeffrey, C. (ed). *Biology and Utilization of the Cucurbitaceae*. Cornell University Press. Ithaca, NY.
- Sosa, R. 1997. El poder medicinal de las plantas. Asociación Publicadora Interamericana. Miami, Florida, Estados Unidos de América. 223 p.
- Soto, A., R. Núñez, M. V. Rodríguez, N. Aguilar, M. E. Galindo and M. A.. Ramírez. 2022. Indirect organogenesis of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz. *In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 58(6):903-910.
- Venutolo, S. A., A. A. Esquivel and V. V. Aránbula. 2007. Conservación *in vitro* de chayote (*Sechium edule*). *Agronomía Mesoamericana* 18(1):65-73.
- Von, S., I. Sabala, P. Bozhkov, J. Dyachok and L. Filonova. 2002. Developmental pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 69:233-249.

CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) EN VERACRUZ, MÉXICO

Xóchitl Rosas González^{79*}, Enrique Noé Becerra Leor⁷⁹ y Valentín A. Esqueda Esquivel⁷⁹

Resumen

En 2023, SIAP reportó que en México existen de 3 269.84 ha con guanábana, ubicadas en once estados, entre ellos, Veracruz, en donde existe una superficie de 75 ha, conformadas por plantaciones de 1 a 2 ha en la mayoría de los casos, en los municipios de Actopan, Puente Nacional, Comapa y Vega de Alatorre. Actualmente, el mercado de guanábana constituye un eslabón importante en el consumo de fruta, debido al cambio de cultura en el consumo de estas y aunque es una fruta con alta demanda; en algunos países, entre ellos México, existen pocas selecciones o cultivares caracterizados, por lo que el objetivo fue realizar la caracterización de los materiales del banco de germoplasma de guanábana del Campo Experimental Cotaxtla, considerando las características cuantitativas y cualitativas. Se tomó como base el descriptor de chirimoyo (*Annona cherimola* Mill) de la UPOV; durante 2022-2023 se caracterizaron 17 materiales de guanábana de los cuales 12 son regionales y cinco introducidos, los primeros incluyen a los materiales de Cotaxtla 1 (C-1), Cotaxtla 8 (C-8), Cotaxtla 9 (C-9), Pastorías 1 (P-1), Pastorías 2 (P-2), Pastorías 3 (P-3), Pastorías 4 (P-4), Pastorías 5 (P-5), Pastorías 6 (P-6), Pastorías Negra (P-N), Blanca Esperanza (B-Esp.), Patuda Esperanza (Pa-E), y los segundos a los clones 1,8,9,10 y 12 de Costa Rica. Se encontró alta variabilidad en los parámetros evaluados de cultivares, los cuales constituyen un gran potencial para proporcionar materiales con frutos de acuerdo con el interés y demandas de productores y mercado.

Palabras clave: germoplasma, descriptor, cuantitativa, cualitativa

Introducción

En 2023, en México se reportó una superficie plantada de guanábana de 3,269 ha, ubicadas principalmente en Nayarit, Colima, Guerrero, Michoacán, Veracruz, Puebla, Tabasco, Yucatán, Jalisco, Campeche y Morelos (SIAP, 2023). En Veracruz se tiene una superficie de 75 ha establecidas con este frutal, en los municipios de Actopan, Puente Nacional, Comapa y Vega

⁷⁹ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. rosas.xochitl@inifap.gob.mx

de Alatorre. En México, por lo general este tipo de frutales se encuentran a nivel de traspatio o en pequeñas superficies, desaprovechando su potencial como frutal alternativo para algunas regiones con condiciones aptas para su desarrollo (Castañeda, 2000).

La guanábana se desarrolla bien en climas A o Aw con temperaturas de 21 a 30°C (Rosas y Becerra, 2012), las temperaturas adecuadas para la inducción floral oscilan entre los 19 y 23°C y las temperaturas de 22 a 26°C favorecen el desarrollo de los frutos; sin embargo, a temperaturas menores a los 19°C los frutos se desarrollan lentamente (Vargas *et al.*, 2001). Aunque puede crecer bajo condiciones de mucha humedad, es un árbol tolerante a la sequía, que requiere un período seco durante la época de floración. En la zona central del estado de Veracruz existen 3,801 ha de tierras con muy alto potencial para la producción de guanábana, 2001 ha con potencial alto y 10,226 ha con potencial medio (Landa, 2001).

El requerimiento de fruta de guanábana ha aumentado en años recientes, principalmente por el incremento en su industrialización, debido al sabor y aroma agradables de la pulpa, la cual se puede utilizar para la fabricación de helados, yogures, mermeladas, concentrados, jugos y jaleas. Además, se le atribuyen propiedades antitumorales, antihelmínticas, antimalárica, antiprotozoaria, insecticida, antimicrobiana, antifúngica e inmunodepresora (Granadino y Cave, 1994). El incremento en la demanda motivó el interés de los productores por ampliar la superficie cultivada o renovar las plantaciones con material vegetativo con mayores rendimientos y calidad de fruta.

En diversos países de América se tienen selecciones o cultivares con características adecuadas para su consumo regional; por ejemplo, en Cuba, se tiene una selección que no presenta semillas adentro de la pulpa. Puerto Rico tiene 14 materiales, El Salvador dos: “azucarada” y “ácida”. Costa Rica la selección Bennett (Morton, 1987). En Brasil sobresale la selección Morada, cuyo peso de 3.2 kg es 1.5 veces mayor que otros materiales registrados (De Queiroz *et al.*, 2001). En Colombia se han registrado los materiales denominados Fecunda y Tesoro; el primero produce en promedio 73 frutos por árbol, con peso del fruto de 2.5 kg y rendimiento de 182 kg/árbol/año. A su vez, el segundo material produce en promedio 40 frutos por árbol, con peso del fruto de 3.0 kg y rendimiento de 120 kg/árbol/año (Reyes *et al.*, 2020). En 1990 se introdujeron al estado de Tabasco 14 clones procedentes del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica (González, 1994).

Debido a la carencia de variedades de guanábana, los agricultores mexicanos, se han visto en la necesidad de seleccionar los mejores árboles de sus plantaciones de acuerdo con la productividad y la calidad de fruta, y a partir de esos árboles obtener varetas e injertarlas, para obtener plantas con alta producción para establecer nuevas plantaciones.

Los estudios sobre la variabilidad fenotípica de la guanábana son importantes para emprender programas de selección y mejoramiento, con el fin de obtener cultivares. Por esta razón, diversos países han realizado selecciones y colectas de diferentes materiales de guanábana y han descrito las características de sus frutos (Morton, 1987).

Al caracterizar los frutos de 13 árboles de ocho años establecidos en una huerta del estado de Nayarit, Jiménez *et al.* (2016) encontraron que, en promedio, la forma de los frutos era elíptica, con un contenido de semillas entre 19 y 311, la proporción promedio de pulpa, cáscara y semilla fue de 71, 20.5 y 8.5%, respectivamente. La masa de fruto de la población varió entre 837.8 y 2513 g. Los sólidos solubles totales fluctuaron entre 7.1 y 14°Brix. La mayor cantidad de pulpa se obtuvo en el material A6 con más de 1.5 kg.

En la región del Soconusco, Chiapas, Villarreal-Fuentes *et al.* (2020) realizaron la caracterización física y química de los frutos de 28 árboles provenientes de semilla de aproximadamente 10 años. Evaluaron el peso, color de cáscara y la pulpa, la firmeza, los sólidos solubles, la acidez titulable y la actividad antioxidante, determinando que las variables con mayor utilidad para distinguir los materiales fueron el peso, las dimensiones de fruto, las propiedades nutraceuticas, la cromaticidad, el brillo de la cáscara, el contenido de azúcares y la acidez de fruto; como parte de la caracterización, encontraron algunos frutos sin semilla y otros hasta con 379 semillas.

En Nayarit, Hernández *et al.* (2017) caracterizaron los frutos de cinco selecciones de guanábana con características sobresalientes: TR, VCA 1, VCA 4, VCA 5 y VCA 10; Determinaron que tres selecciones presentaban frutos de forma cónica, una de forma trapezoidal y una, tanto cónica como trapezoidal. El peso de los frutos fue muy variable, pues se tenían desde aquellos de la selección VCA 5, que pesaban 0.43 kg, hasta los de la selección VCA 4, que tenían un peso de 5.20 kg. La longitud del fruto osciló entre 11.6 y 33.2 cm, mientras que el diámetro ecuatorial varió entre 6.70 y 15.43 cm. Finalmente, en promedio, el menor número de semillas se tuvo en los frutos de la selección VCA5, y el mayor, en los de la selección VCA 10. En un estudio diferente, utilizando esas mismas selecciones, Nolasco-

González *et al.* (2019), determinaron que los frutos de las selecciones TR y VCA 4 fueron los de mayor tamaño, mientras la selección VCA 5 produjo los de menor tamaño. La forma trapezoidal predominó en los frutos de la selección TR, y la cónica, en las selecciones VCA 1 y VCA 4. Los frutos de las selecciones TR y VCA 10 tuvieron mayor grosor de corteza y menor tamaño de espinas, mientras que los de la selección VCA 4 tuvieron espinas más grandes. Los frutos de las selecciones TR, VCA 4 y VCA 10 presentaron mayor número de semillas y los de la selección VCA 5, menor número; las semillas de mayor tamaño se encontraron en la selección TR y las de menor tamaño en las selecciones VCA 1 y VCA 4. No hubo diferencias en rendimiento de pulpa entre selecciones (68.7 a 72.4%), pero los valores de esta característica fueron directamente proporcionales al tamaño de fruto.

En Colombia registran dos variedades de guanábana denominadas Fecunda y Tesoro, las características de estas son que presentan un peso medio de fruto de 2.64 y 2.96 kg respectivamente y una cantidad de sólidos solubles de 13.48 y 14.83 Respectivamente (Reyes *et al.*, 2020).

En el banco de germoplasma ubicado en el Centro de Investigación Palmira, en Colombia Reyes, *et al.* (2012), evaluaron tres genotipos con buen rendimiento y calidad de fruto: 1983-3, 2513-1 y 2513-4, y la variedad 'Elita' como testigo. El clon 2513-4 produjo de 11 a 32 frutos por árbol/año, siendo candidato para ser liberado como un nuevo y mejor cultivar para localidades de características agroecológicas similares a las de las empleadas en esta investigación.

Debido a la escasa existencia y disponibilidad de variedades de guanábana, los agricultores mexicanos se han visto en la necesidad de seleccionar los mejores árboles de sus plantaciones de acuerdo con la productividad y la calidad de fruta; a partir de esos árboles obtienen material vegetativo para establecer nuevas plantaciones. El objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización de frutos de guanábana de los materiales del banco de germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla, considerando las características cuantitativas y cualitativas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se efectuó en el banco de germoplasma de guanábana localizado en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP en el municipio de Medellín, Veracruz, a 18° 56' 09.4" LN y 96°11' 38.7" LO a una altitud de 15 m. El clima de la región es Aw0, con temperatura media anual de 25°C, temperatura mínima de 19.1°C en enero y temperatura máxima de 31°C en mayo. La precipitación anual es de 1,360 mm. El suelo que predomina es de origen aluvial, de textura migajón-arcillosa, tipo vertisol, y pH ligeramente ácido.

Material vegetal

El banco de germoplasma está conformado de 12 selecciones regionales de guanábana del estado de Veracruz. Estos materiales se seleccionaron considerando principalmente el rendimiento del árbol y la calidad de la fruta; además de estas selecciones regionales, se tienen cinco clones que se obtuvieron de la finca "Las Lilas" en el estado de Tabasco, que, a su vez, fueron introducidos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en Cartago, Turrialba, Costa Rica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Materiales de guanábana (*Annona muricata* L.) del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla.

Materiales regionales	Nomenclatura	Materiales introducidos	Nomenclatura
Cotaxtla 1	C-1	Clon 1	CL-1
Cotaxtla 8	C-8	Clon 8	CL-8
Cotaxtla 9	C-9	Clon 9	CL-9
Blanca Esperanza	B-Esp	Clon 10	CL-10
Pastorías 2	P-2	Clon 12	CL-12
Patuda Esperanza	Pa-E		
Pastorías 3	P-3		
Pastorías 5	P-5		

Materiales regionales	Nomenclatura	Materiales introducidos	Nomenclatura
Pastorías 1	P-1		
Pastorías Negra	P-N		
Pastorías 6	P-6		
Pastorías 4	P-4		

Manejo del cultivo y variables evaluadas

El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las recomendaciones de Rosas y Becerra (2012). El banco de germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla se estableció en 2012; cuenta con tres árboles de cada accesión. Se cuantificó el número de frutos por árbol en tres árboles de cada selección. Para la caracterización de los frutos se utilizó como base el descriptor de chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) de la UPOV (Biodiversity International y CHERLA, 2008), debido a que cuando se realizó el estudio no existían descriptores para esta anonacea. Se cosecharon de manera manual cinco frutos en madurez fisiológica de cada selección, durante el periodo de cosecha del año 2022-2023. Los frutos se trasladaron a la sección de trabajo dentro del Campo Experimental Cotaxtla, en donde se tomaron los siguientes datos: peso del fruto (kg); proporción pulpa/fruto (%); sólidos solubles °Brix por medio de un refractómetro PAL-3; longitud del fruto (cm); diámetro del fruto (cm); por medio de una balanza analítica standard de 500 g se obtuvieron las variables, peso del pedúnculo (g), peso del lóculo (g), peso del exocarpo (g) y con vernier digital AutoTec se midieron, longitud del lóculo (cm), diámetro del lóculo (cm), longitud del pedúnculo (cm), diámetro del pedúnculo (cm), grosor del exocarpo (mm) y longitud de protuberancias (cm). También se evaluaron características cualitativas como desprendimiento del exocarpo, color de la pulpa, textura de la pulpa, sabor de la pulpa, forma del fruto y tipo de exocarpo; para determinar el color del exocarpo se utilizó el código de colores de Munsell Plant Tissue Color Book.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de las variables evaluadas. El mayor número de frutos, lo mostraron los clones CL-8, CL-9, CL-10 y CL-12, los cuales variaron de 35 a 49 frutos por árbol; las selecciones regionales P-4, B-Esp y C-1 produjeron más de 20 frutos por árbol, los cuales están dentro del rango de los resultados de Reyes *et al.* (2012) quienes reportan de 11 a 31 frutos por árbol de un clon promisorio de guanábana en Colombia.

Cuadro 2. Características cuantitativas y cualitativas de los frutos de los materiales de guanábana (*Annona muricata* L.) del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla.

CUANTITATIVAS	C-8	C-9	C-1	B-Esp	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-N	Pa-E	CL-1	CL-8	CL-9	CL-10	CL-12
Número de frutos por árbol	18	19	24	21	14	17	17	23	14	16	16	16	32	49	41	35	35
peso del fruto (kg)	1.6	1.4	1.2	1.2	1.5	1.0	1.5	1.6	1.6	0.9	1.5	1.6	2.5	1.7	1.4	1.6	1.6
Sólidos solubles (°Brix)	14	16	13	14	13	11	13	14	13	14	14	15	16	15	15	16	14
Longitud del fruto (cm)	20.7	17.9	19.9	20.2	20.8	18.1	21.5	18.4	18.9	19.7	22.2	18.8	19.9	20.2	19.3	19.0	19.8
Diámetro del fruto (cm)	13.4	11.4	10.7	12.2	12.1	10.6	12.5	11.6	11.3	10.6	11.1	12.0	13.5	14.2	12.4	13.1	13.2
Peso del exocarpo (g)	135	121	137	145	169	138	177	137	152	127	135	169	186	184	150	160	163
Grosor del exocarpo (mm)	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.6	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.2
Longitud de protuberancias (cm)	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2
Número de semillas viables	74	28	41	60	48	37	64	37	39	35	48	61	93	66	60	49	49
Peso de semillas viables (g)	35.1	17.6	20.1	28.3	22.1	18.0	31.6	21.3	17.3	15.5	22.1	31.7	23.1	32.0	30.1	25.0	27.4
CUANLITATIVAS																	
Desprendimiento del exocarpo	S-A	S	S	S	S	S	S	S	S-A	S-A	S-A	S-A	S	S	S	S	S
Color de la pulpa	B	C	C	C	B	C	C	C	B	C	C	C	C	B	C	C	C
Forma del fruto	O	O	C-A	O	C-A	C-A	C-A	C-A	O	O	C-A	O	C-A	C-A	C-A	C-A	C-A
Tipo de exocarpo	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	M	M	U	U	T	U

S-A: Semi-adherida, S: Suelta, B: Blanca, C: Crema, O: Oval, C-A: Cordiforme alargado, T: Tuberculata, M: Mamillata, U: Umbonata.

El promedio del peso de los frutos de guanábana varió entre 1.2 y 2.5 kg, siendo el CL-1 el que presentó el máximo valor, lo cual coincide con los valores máximos en peso de fruto, pero no con los valores mínimos reportados por Jiménez-Zurita *et al.* (2016), ya que, en el presente estudio, el valor promedio mínimo fue de 1.2 kg. En cuanto a sólidos solubles totales, todas las selecciones presentaron valores entre los 14 y 16°Brix, valores que igualan o incluso superan a los reportados por Jiménez-Zurita *et al.* (2016). El promedio de número de semillas de la población de frutos evaluados varió entre 28 (C-9) y 93 (CL-1) semillas por fruto, con un peso total máximo y mínimo de semillas viables de 17.6 y 23.1 g respectivamente. Estos resultados coinciden con lo que reportan Villarreal *et al.* (2020) quienes encontraron un promedio de 94 semillas por fruto. Por otra parte, Franco-Mora *et al.* (2001), afirmaron que la alta variación en el número de semillas se atribuye a que la guanábana presenta problemas de polinización y fecundación de sus flores, debido a las características de morfología de la flor y de los polinizadores de la misma. La forma que presentaron los frutos varió entre oval y codiforme alargado, prevaleciendo este último en 11 de las 17 selecciones. La longitud de los frutos presentó variación entre 17.9 (C-9) y 22.2 cm (P-N); dichos resultados coinciden con Jiménez-Zurita *et al.* (2023) con los valores obtenidos en la evaluación de sus selecciones; el diámetro transversal promedio de los frutos varió entre 10.6 y 14.2 cm, respectivamente. Los materiales con mayor y menor peso de exocarpo fueron C-9 y CL-1, presentando un peso promedio de 121 a 186 g, respectivamente, sugiriendo así, que estos materiales tienen menor proporción de cáscara, en comparación a lo reportado por Jiménez-Zurita *et al.* (2016), quienes reportaron que el peso de cáscara de dos de sus selecciones sobrepasó los 200 g, sugiriendo que, a menor peso de cáscara, se afecta menos la proporción de la pulpa. En cuanto a las protuberancias del exocarpo de la fruta, se apreció que 16 de los 17 materiales presentaron protuberancias entre los 2 y 3 mm, sobresaliendo el CL-1 con protuberancias de 6 mm. El tipo de exocarpo que predominó en la mayoría de los frutos fue de tipo tuberculata, que corresponde a protuberancias medianas, aunque también se presentaron exocarpos tipo umbonata y mamillata, que corresponden a protuberancias pequeñas y largas respectivamente; en la Figura 1, se muestran el tipo de fruto que presentaron cada una de las selecciones). Doce de los 17 materiales presentaron desprendimiento de exocarpo suelto, es decir no adherido a la pulpa, lo que facilita la obtención de la misma. De las selecciones evaluadas, sólo cuatro presentaron pulpa blanca, mientras que en el resto predominó la pulpa

de color crema; al respecto, Nolasco-González et al (2019) encontró variación en el color de pulpa de guanábana, que varió de color blanco a crema, en los materiales evaluados.

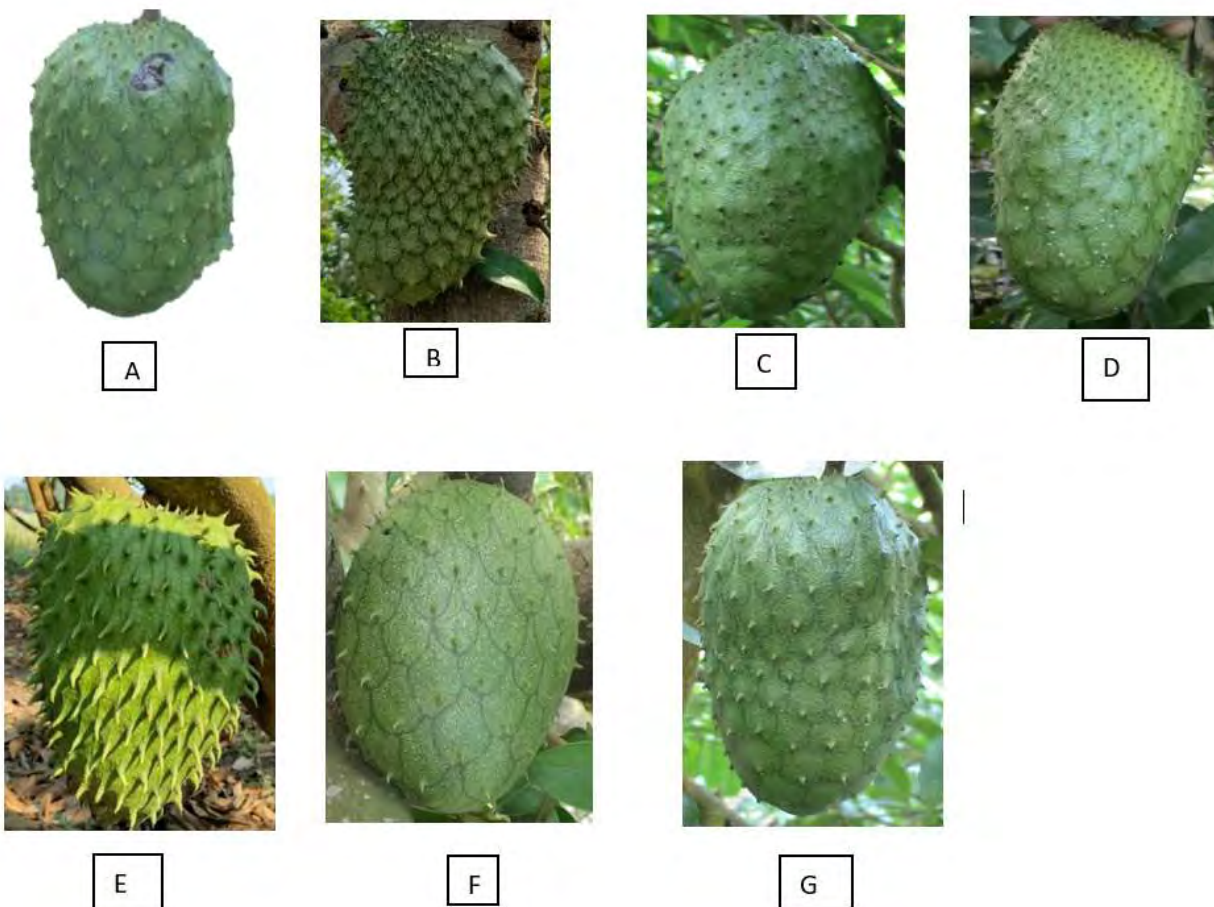


Figura 1. Frutos de los materiales de guanábana (*Annona muricata* L.) del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Cotaxtla: A= CL-8; B= CL-9; C= CL-10; D= CL-12; E= P-4; F= B-Esp; G= C-1.

Conclusiones

Existe alta variabilidad entre los materiales del banco de germoplasma de guanábana del Campo Experimental Cotaxtla, los cuales constituyen un gran potencial para proporcionar materiales con frutos de acuerdo con las demandas de los productores y del mercado. Los

mejores materiales con base en el número de frutos por árbol fueron los clones CL-1, CL-8, CL-9, CL-10 y CL-12, así como las selecciones regionales C-1, P-4 y B-Esp.

Literatura citada

- Bioversity International y CHERLA. 2008. Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Biodiversity International. Roma, Italia. Proyecto CHERLA. Málaga, España. 51 p.
- Castañeda, V. A. 2000. Insectos barrenadores de anonáceas. Folleto No. 327. Fundación Sánchez Colín. CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, Edo. de Méx., México. 43 p.
- De Quiroz, P. A. C., V. H. Vargas R. e A. Alves R. 2000. Melhoramento genético. IN: Cap. 4. Santo, O.M.A., Graviola. Producao: aspectos técnicos. EMBRAPA Informacao Tecnologica. Brasilia, D.F. Brasil. 78 p.
- Franco-Mora, O., J. Jasso-Mata, E. García-Villanueva y C. Saucedo-Veloz. 2001. Crecimiento y calidad de frutos de *Annona muricata* L. con diferente intensidad de polinización. Rev. Fitotec. Mex. 24(2):139-144.
- González, A. L. 1994. El cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). p. 27-29. In: Taller de cultivos alternativos tropicales. Villahermosa, Tab., México.
- Granadino, C. A. y R. D. Cave. 1994. Inventario de artrópodos y hongos patógenos de *Annona* spp., en cuatro localidades de Honduras. Turrialba 44(3):129-139.
- Hernández, F. L. M., Y. Nolasco G. y E. J. Cruz G. 2017. Selección y caracterización de guanábana y recomendaciones para su manejo agronómico. Folleto Técnico Núm. 34. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nay., México. 48 p.

- Jiménez-Zurita, J. O., R. Balois-Morales, G. G. López-Guzmán, Y. A. Palomino-Hermosillo y P. U. Bautista-Rosales. 2023. Guanay-1, Guanay-2 y Guanay-3: nuevas variedades de guanábana para Nayarit. REMEXCA 14(4):641-646.
- Jiménez-Zurita, J. O., R. Balois-Morales, I. Alia-Tejacal, P. Juárez-López, M. T. Sumaya-Martínez y J. E. Bello-Lara. 2016. Caracterización de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. REMEXCA 7(6)1261-1270.
- Landa, C. M. T. 2001. Zonificación agroecológica y estudio de comercio regional de guanábana (*Annona muricata* L.) en un sector de la zona centro del estado de Veracruz. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Ver., México. 86 p.
- Morton, J. F. 1987. Soursop *Annona muricata*. p. 75-80. In: Fruits of warm climates. Florida Flair Books. Miami, FL, USA.
- Munsell 2012. Munsell Plant Tissue Color Book whit genuine Munsell color chips. Munsell color Michigan USA.
- Nolasco-González, Y., L. M. Hernández-Fuentes y E. Montalvo G. 2019. Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de accesiones de guanábanas seleccionadas en Nayarit. REMEXCA Pub. Esp. 23:223-237.
- Reyes C. R., H. M. Reyes F., E. Peña R. y S. Bastidas P. 2012. Evaluación de clones promisorios de guanábana (*Annona muricata* L.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Corpoica C. I. Palmira. Palmira, Colombia. 19 p.
- Reyes, C. R., H. M. Reyes F., S. Bastidas, P., E. Peña R., Á. Caicedo A. y L. P. Moreno C. et al. 2020. Agrosavia Fecunda y Agrosavia Tesoro: Dos nuevos cultivares de guanábana como alternativa de producción para los agricultores colombianos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. Mosquera, Colombia. 59 p.

- Rosas, G. X. y E. N. Becerra L. 2012. Manual de producción de guanábana (*Annona muricata* L.). Folleto Técnico No. 67. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 89 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Guanábana. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 4 de junio de 2024].
- Vargas R.V.H., de Queiroz P. A.C., Alves R. A. *et al.* 2001. Exigencias de clima e solo Cap. 3 *in*: Graviola Producao. Aspectos técnicos. EMBRAPA. Informacao Tecnologica. Brasilia, D.F. Brasil. 78 p.
- Villarreal-Fuentes, J. M., I. Alia-Tejacal, M. A. Hernández-Salvador, E. Hernández-Ortiz, F. J. Marroquín-Agreda, C. A. Núñez-Colín, C. A. *et al.* 2020. *In situ* characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. Rev. Chapingo Serie Hort. 26(3):189-205.

DESARROLLO DE *Cosmos sulphureus* Cav. “xochipalli” EN DOS FECHAS DE SIEMBRA

Cesario Catalán Heverástico^{80*}, Alfonso de Jesús Correa López⁸⁰, Antonio Martínez Flores⁸⁰,
Juan Pereyda Hernández⁸⁰, José Manuel Castro Salas⁸⁰, Alejandro Sotelo Aguilar⁸⁰
y Adriana Bárbara Calderón Rojas⁸⁰

Resumen

En la región norte del estado de Guerrero, especialmente en el medio rural, las flores de “xochipalli” (*Cosmos sulphureus*), se colectan en el campo, se utilizan como colorante y para conferir aroma en la elaboración de tamales, los cuales se usan principalmente como alimento de autoconsumo y para venderlos en los mercados locales. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el desarrollo de *Cosmos sulphureus* en dos fechas de siembra y determinar si la especie prospera tanto en el temporal y como en riego; si esto ocurre, los pobladores del medio rural en el estado de Guerrero podrán utilizar esta planta durante un periodo mayor del año. Las plantas se sembraron en bolsas de polietileno negro de 18 L en terrenos del Campo Experimental Campus Tuxpan, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero. Las siembras se realizaron el 15 de junio y 5 de septiembre del 2017, con la toma de datos el 7 de septiembre del 2017, el 5 de enero del 2018, respectivamente. Se realizaron seis aplicaciones del fertilizante triple 17 en dosis de 1 g/L, el riego se hizo diariamente. Se estableció un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos y 10 repeticiones T1: junio-septiembre 2017 y T2 septiembre 2017-enero 2018. Los datos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey (Tukey, $P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.0 para Windows. Los resultados mostraron que las plantas sembradas en junio registraron mayor diámetro de tallo (23.25 mm), altura de planta (2.51 m), número de entrenudos (18.10), longitud de hoja (38.00 cm), diámetro de cobertura (237.10 cm), longitud de involucro (0.89 mm) y número de capítulos (231). Las plantas sembradas en septiembre presentaron la mayor longitud de pedúnculo (24.60 cm). Por otra parte, la longitud de entrenudo y diámetro de capítulo de las plantas no presentaron diferencias en ambas fechas de siembra.

Palabras clave: colecta, riego, triple 17

⁸⁰ Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Autónoma de Guerrero. Autor por correspondencia: catalanc@hotmail.com

Introducción

La familia Compositae es muy extensa, se compone aproximadamente por 1000 géneros y unas 20000 especies, además tiene distribución cosmopolita. Muchas especies se cultivan como ornamentales en el Valle de México, por ejemplo, especies de *Calendula officinalis* (“mercadela”), *Callistephus chinensis* (“margarita”), *Dendranthema grandiflora* (“crisantemo”), *Cosmos* (“girasol”, “mirasol”), *Dahlia coccinea* (“dalia”), *Gazania* (“gazania”), *Helichrysum italicum* (“siempreviva”), *Tagetes erecta* (“cempaxúchitl”, “flor de muerto”), *Zinnia violacea* (“Miguel”). Para uso en la medicina doméstica se plantan con frecuencia *Artemisia* spp. (“estafiate”), *Tanacetum parthenium* (“Santa María”), *Matricaria recutita* (“manzanilla”) y otras. Este género *Cosmos* consta de 26 especies, distribuidas en América tropical; seis se conocen de la región estudiada. Algunas son plantas de ornato y de fácil cultivo (Rzedowski y Rzedowski, 2005 y Rzedowski, 2008). *Cosmos sulphureus* se cultiva ampliamente como ornamental en regiones templadas y tropicales. Existen numerosas variedades mejoradas, con colores de amarillo a rojo; también existen variedades enanas y rellenas. Se reporta que en Indonesia se comen las hojas crudas, en guisados o con crema de coco. Tiene un sabor fuerte y aromático. Es una planta herbácea de hojas partido-lobuladas con los lóbulos angostos; flores en cabezuelas anaranjadas (Martínez, 1987). Se cultiva ampliamente como ornamental en regiones templadas y tropicales. Se reporta que en Indonesia se comen las hojas crudas, en guisados o con crema de coco. Tiene un sabor fuerte y aromático. Es importante como melífera en algunas regiones (Nash y Williams, 1976). En la región norte de Guerrero, especialmente en el medio rural, las flores son colectadas y colocadas en canastos o cubetas, procurando que no se compacten y se trasladan a las viviendas. Usualmente en casa o bajo la sombra de un árbol, los pétalos son separados del resto de la pieza floral y se extienden sobre un lienzo o superficie limpia para su deshidratación. Esta actividad regularmente la realizan las mujeres, e incluso participa toda la familia. Las flores de esta planta son más valoradas por personas de bajos recursos económicos en pueblos originarios, particularmente en los de origen náhuatl.

El producto deshidratado es almacenado en lugar seco y fresco para utilizarlo posteriormente para conferir color, aroma y sabor a los tamales nejos, comida típica de Guerrero, también se comercializa en mercados locales y en las comunidades es frecuente el trueque por otros

productos como maíz, frijol, calabaza, ciruela, entre otros. Se ha registrado en Aguascalientes, Chiapas, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (McVaugh, 1984; Villaseñor y Espinosa, 1998; Martínez, 1987). De acuerdo con lo anterior, se planteó un trabajo experimental con la especie *Cosmos sulphureus* “xochipalli”, el cual se estableció en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, en dos fechas de siembra de temporal y de riego.

Materiales y métodos

Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Campus Tuxpan, ubicado en el municipio de Iguala de la Independencia, Guerrero, sus coordenadas geográficas son 18° 20' 34.1", latitud Norte y 99° 20' 10.7" Longitud Oeste (García, 1973), con una altitud de 760 m (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio, Campo Experimental Campus Tuxpan.

El clima que predomina es Awo (w)(i) g, el más seco de los cálidos húmedos, con lluvias de verano distribuidas principalmente entre mayo y octubre, cuya precipitación media anual es de 977.15 mm y una temperatura promedio de 25°C (CONAGUA, 2020) (Figura 2).

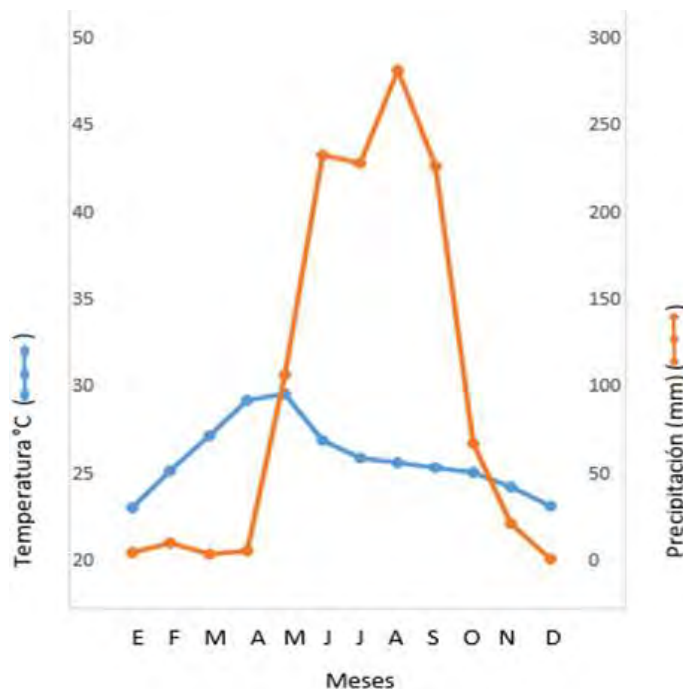


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de Iguala, Guerrero, promedio de 10 años, 2010 a 2019 (CONAGUA, 2020). Temperatura promedio anual = 25.9°C Precipitación promedio anual = 1195.5 mm Altitud =760 m.

Siembra y trasplante

Las semillas de “xochipalli” (*Cosmos sulphureus*), se colectaron a 1 km del Pochote a Ixcapuzalco, Guerrero; se pusieron a germinar en charolas de unicel desechables, como sustrato se utilizó papel absorbente húmedo, finalmente se colocaron en cámaras húmedas las cuales se observaron diariamente para contabilizar las semillas germinadas (Figura 3).

El trasplante se realizó en bolsas de polietileno d 18 L (45 x 45 cm) , las cuales se llenaron con sustrato compuesto de aserrín de “guamúchil”, agrolita y tepojal en proporciones de 70, 10 y 20% respectivamente, el aserrín se composteo previamente durante tres meses, el trasplante para las plantas del periodo junio-septiembre se realizó el 15 de junio del 2017, y para el periodo septiembre-enero se llevó a cabo el día 5 de septiembre del 2017, se realizó haciendo una cavidad en el centro del sustrato para colocar la plántula, apretando ligeramente el sustrato alrededor de la plántula (Figura 4).



Figura 3. Emergencia de la radícula en semillas de “xochipalli”.



Figura 4. Trasplante de plántulas de “xochipalli” (*C. sulphureus*).

Riego y fertilización

Los riegos se requirieron solamente cuando dejó de llover y como fertilizante se aplicó triple 17, a dosis de 1 g/L cada ocho días, desde que la planta tenía 20 cm de altura hasta los 15 días antes de la toma de datos.

Los tratamientos en estudio fueron dos fechas de siembra, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos en estudio.

Tratamientos	Fechas de siembra
T1	junio-septiembre 2017
T2	septiembre 2017-enero 2018

Variables evaluadas

Para conocer el efecto de las dos fechas de siembra en plantas de “xochipali” (*C. sulphureus*), se midieron las siguientes variables de estudio: diámetro de tallo (Figura 5), altura de planta, longitud de entrenudo (Figura 6), número de entrenudos, longitud de hoja, ancho de hoja, diámetro de cobertura, longitud de pedúnculo, longitud de involucro (Figura 7), diámetro de capítulo (Figura 8), número de capítulos y número de achenios por capítulo.



Figura 5. Medición del diámetro de tallo en plantas de “xochipali” (*C. sulphureus*).



Figura 6. Medición de longitud de entrenudo en plantas de “xochipali” (*C. sulphureus*).



Figura 7. Medición de la longitud de involucro en plantas de “xochipali” (*C. sulphureus*).



Figura 8. Medición del diámetro de capítulo en plantas de “xochipali” (*C. sulphureus*).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos y 10 repeticiones, por cada fecha de siembra, la unidad experimental estuvo formada por una planta, generando un total de 40 plantas evaluadas en el estudio. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza utilizando el sistema de cómputo SAS versión 9.0 para Windows; en las fuentes de variación donde se presentaron diferencias significativas, se realizaron pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey (Tukey, $P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2, se presentan los Análisis de varianza para las variables: diámetro de tallo, altura de planta, número de entrenudos, longitud de hoja, diámetro de cobertura, longitud de pedúnculo, longitud del involucro y número de capítulos, el cual indica diferencias altamente significativas entre las fechas de siembra; por otra parte el coeficiente de determinación indica el porcentaje de influencia ejercido por las fechas de siembra en cada una de las variables de estudio, de tal manera que en altura de planta el 91.0% es influenciado por los factores controlados (fechas de siembra) y el 9.0% restante se debe a factores no controlados como temperatura, radiación solar y humedad relativa, en cambio la longitud de pedúnculo solamente el 40% de los resultados se debe a los factores controlados y el restante 60% a los factores no controlados.

Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables de estudio evaluadas en el desarrollo de “xochipali” *C. sulphureus*.

Variable de estudio	Fuente de variación	Significancia experimental	Coef. De Det. (R^2)	Coef. De var. (%)	Media general
Diámetro de tallo	Fecha	<.0001**	0.85	15.46	17.08 mm
Altura de planta	Fecha	<.0001**	0.91	8.16	2.018 cm
Número de entrenudos	Fecha	<.0001**	0.75	12.75	14.90
Longitud de hoja	Fecha	<.0001**	0.73	11.58	32.06 cm

Variable de estudio	Fuente de variación	Significancia experimental	Coef. De Det. (R^2)	Coef. De var. (%)	Media general
Diámetro de cobertura	Fecha	<.0001**	0.85	11.79	186.77 cm
Longitud de pedúnculo	Fecha	<.0026**	0.40	10.33	22.76 cm
Longitud de involucro	Fecha	<.0001**	0.76	12.21	0.73 mm
Número de capítulos	Fecha	<.0001**	0.62	27.56	172.30

** = Diferencias altamente significativas Coef. de var. = Coeficiente de variación. Coef. de Det. = Coeficiente de determinación.

Las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey (Tukey, $P \leq 0.05$) indican que estadísticamente el mayor diámetro de tallo, la mayor altura de planta, número de entrenudos, longitud de hoja, diámetro de cobertura, longitud de involucro y número de capítulos se presentó en las plantas sembradas en junio y superaron estadísticamente a las plantas cultivadas en el periodo septiembre-enero, respecto a la variable longitud de pedúnculo, las plantas que se cultivaron en el periodo septiembre-enero superaron estadísticamente a las del periodo junio-septiembre (Cuadro 3). De las 12 variables estudiadas en “xochipali”, en las variables: diámetro de tallo, altura de planta, número de entrenudos, longitud de hoja, cobertura de planta, longitud de pedúnculo, longitud de involucro y número de capítulos, el periodo de lluvias influyó notablemente en el desarrollo de estas ocho variables de las plantas cultivadas de “xochipali” (*C. sulphureus*) del ciclo junio-septiembre; cabe hacer notar que en este periodo se tuvo una precipitación promedio anual de 1195.9 mm, lo que incrementó la humedad ambiental durante este periodo, además, los días son más largos, esto indica una relación entre la humedad y el crecimiento de las plantas de “xochipali” (*Cosmos sulphureus*) observadas en junio-septiembre; en contraste con las plantas cultivadas en el periodo de sequía septiembre-enero, donde las plantas tuvieron una menor humedad ambiental, y los días durante este tiempo de cultivo son más cortos. De las variables analizadas en este estudio (Calderón, 2020), y de las del trabajo de Cruz (2020), en dos fechas de siembra de temporal y riego en “cempaxúchitl enano”, en siete variables de ambos estudios: diámetro de tallo, altura de planta, longitud de hoja, cobertura de planta, longitud de pedúnculo, longitud de involucro y número de capítulos, se encontraron los valores más altos.

Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), de las variables evaluadas en el desarrollo de plantas de “xochipali” *C. sulphureus*.

Variable	Fechas	Medias	Grupo de Tukey	Diferencia mínima significativa
Diámetro de tallo (mm)	jun-sep	23.255	A	2.48
	sep-ene	10.905	B	
Altura de planta (m)	jun-sep	2.519	A	0.15
	sep-ene	1.518	B	
Número de entrenudos	jun-sep	18.100	A	1.78
	sep-ene	11.700	B	
Longitud de hoja (cm)	jun-sep	38.000	A	3.49
	sep-ene	26.130	B	
Diámetro de cobertura (cm)	jun-sep	237.100	A	20.69
	sep-ene	136.450	B	
Longitud de pedúnculo (cm)	sep-ene	24.600	A	2.20
	jun-sep	20.920	B	
Longitud de involucro (mm)	jun-sep	0.890	A	0.08
	sep-ene	0.580	B	
Número de capítulos	jun-sep	231.00	A	44.62
	sep-ene	113.60	B	

Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

Conclusiones

De las dos fechas de siembra establecidas, el mayor efecto registrado fue en las variables: diámetro de tallo, altura de planta, número de entrenudos, longitud de hoja, ancho de hoja, cobertura de planta, longitud de involucro y número de capítulos, encontrándose valores más altos en las plantas que se cultivaron en junio-septiembre. En cambio, en la longitud de

pedúnculo y número de aquenios por capítulo, los valores más altos se asociaron al periodo septiembre 2017-enero 2018. 3. En las variables longitud de entrenudo y diámetro de capítulo, no hubo ningún efecto de las dos fechas de siembra.

Literatura citada

- Calderón, R. A. B. 2020. Desarrollo de *Cosmos sulphureus* Cav. “xochipali” en dos fechas de siembra. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 36 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2020. Base de datos meteorológicos. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. No publicado.
- Cruz, M. E. 2020. Producción de “cempaxúchitl enano” (*Tagetes erecta* L.) con Citostim en dos fechas de siembra. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 58 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 2a ed. México, D.F. 246 p.
- Martínez, M. 1987. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Editorial Fondo de Cultura Económica, S. A. de C. V. México, D.F., 1247 p.
- McVaugh, R. 1984. Compositae. Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico, Vol. 12. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.

- Nash, D. L. y L. O. Williams (eds.). 1976. Flora of Guatemala, Compositae. Part XII. Fieldiana Botany 24: 96-97.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2008. Compositae. Tribu Heliantheae (II). En: Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 157. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. Pp.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski, 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimpresión, Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.
- SAS Institute. 2009. SAS/STAT User's guide, version 9.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Villaseñor Ríos, J. L. y F. J. Espinosa García. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. pp.

MULTIPLICACIÓN *in vitro* DE DOS GRUPOS VARIETALES DE CHAYOTE (*Sechium edule*)

Alejandra Pacheco Narcizo⁸¹, Juan Valente Hidalgo Contreras⁸², Régulo Carlos Llarena Hernández⁸¹,
Mauricio Luna Rodríguez⁸³, Luis Alfonso Sáenz Carbonell⁸⁴
y Rosalía Núñez Pastrana^{81*}

Resumen

El chayote es un cultivo endémico de México de gran importancia social, económica, cultural y ambiental debido a los múltiples usos que se le da a la planta en su totalidad, esta especie se ha desarrollado comercialmente, distribuyéndose en los cinco continentes. Entre los factores limitantes para su producción se encuentra el material de siembra, la semilla, que por su naturaleza no permite la obtención de una producción morfológicamente homogénea de frutos (color, forma y textura de la epidermis), lo que da como resultado altos porcentajes de rechazo en las plantas empacadoras. El objetivo de este trabajo fue evaluar la multiplicación *in vitro* de dos grupos varietales de chayote [*Sechium edule* var. *viren levis* (verde liso) y *Sechium edule* var. *albus dulcis* (cambray)] en medio Murashige y Skoog suplementado con 6-Bencilaminopurina (BAP). Se observó que la variedad cambray, presentó una altura de planta de 3.57 cm, 15.90 hojas, 9.60 brotes y 4.50 plantas con raíz, mientras que el chayote verde liso tuvo una altura de planta de 2.91, 10.5 hojas, 4.1 brotes y 0.2 plantas con raíz, en medio MS suplementado con 0.5 mg/L de BAP. La información generada en este trabajo permitirá sentar las bases para la micropropagación a gran escala del chayote.

Palabras clave: brotes, raíz, 6-bencilaminopurina, chayote

Introducción

El chayote (*Sechium edule*) pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es originario de Mesoamérica, donde se encuentra la mayor diversidad genética (Coronel *et al.*, 2017). Es una planta monoica, herbácea, y trepadora, los frutos son vivíparos y carnosos y es utilizado principalmente como alimento humano (Lira, 1996). Se consumen los frutos, las hojas tiernas

⁸¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana.

⁸² Colegio de Postgraduados Campus Córdoba.

⁸³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Región Xalapa. Universidad Veracruzana.

⁸⁴ Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán *Autor de correspondencia: ronunez@uv.mx

y las raíces tuberosas; sin embargo, el fruto es el más difundido y se utiliza en la industria para la elaboración de alimentos infantiles, salsas, jugos, y pastas, además de que se le atribuyen propiedades medicinales (Nataren *et al.*, 2021). Los tallos, duros y fibrosos se destinan a la fabricación artesanal de cestos y sombreros aprovechando la planta en su totalidad (Alvarenga *et al.*, 2007).

Existen factores limitantes en la producción de chayote, uno de los más importantes es el material de siembra, la semilla. Este tipo de propagación, aunque facilita la manipulación del material de siembra, no permite obtener la calidad deseada en la producción; el mercado internacional exige una producción morfológicamente homogénea en el fruto, que descarta la posibilidad de incorporar al mercado la variabilidad de frutos producida en los sistemas tradicionales de cultivo. Se ha reportado que en algunos casos el rechazo de frutos puede alcanzar hasta 80% (Abdelnour *et al.*, 2002) ya que esta especie muestra variación morfológica, con frutos marcadamente diversos en su forma (globular, ovoide, piriforme, oblongo), tamaño, color (blanco, verde pálido, verde oscuro, amarillento) y espinosidad (de glabra a densamente espinosa) (Cruz-Martínez *et al.*, 2017).

El establecimiento de una metodología para la propagación vegetativa de chayote sería muy ventajoso ya que permitiría la producción de clones a partir de material seleccionado y con esto un incremento en la uniformidad y en la aceptación del fruto en las empacadoras (Flores *et al.*, 1999).

La micropropagación o propagación *in vitro* es una de las técnicas del cultivo de tejidos vegetales que tiene potencial para resolver esta limitante en la producción de chayote. La propagación *in vitro* consiste en cultivar pequeños explantes como puntas de tallos y yemas axilares bajo condiciones asépticas, para multiplicar masivamente el material vegetal de interés y obtener plantas fenotípica y genotípicamente idénticas a la planta de origen (Ramírez *et al.*, 2023).

El objetivo de la presente investigación consistió en comparar el desarrollo de los explantes de dos grupos varietales de chayote (verde liso y cambray) en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementado con 0.5 mg/L de 6-Benciaminopurina (BAP) para su propagación masiva.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el Laboratorio de Micropropagación de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana de la Región Córdoba-Orizaba, Veracruz, México.

Material vegetal

Se colectaron 10 frutos de chayote de la variedad verde liso (*S. edule* var. *virens levis*) y 10 frutos de la variedad cambray (*S. edule* var. *albus dulcis*), sanos y en madurez fisiológica; los primeros en el municipio de Campo Grande, Orizaba, Veracruz (18.83900 °N, 97.07194 °O) y los segundos en el ejido de Rafael Delgado, Veracruz (18.81203 °N, 97.08196 °O).

Establecimiento y multiplicación *in vitro* del material vegetal

Para el establecimiento *in vitro* de las dos variedades de chayote, se utilizaron embriones cigóticos, los cuales se establecieron en medio MS 50% (Murashige y Skoog) de acuerdo con la metodología de Cruz-Martínez *et al.* (2017). El medio fue suplementado con 30 g/L de sacarosa, y solidificado con 2.5 g/L de Phytigel™ (Sigma P8169). El pH se ajustó a 5.8 con un potenciómetro (Thermo Scientific®) y se esterilizó en la autoclave vertical (AESAR®) a 1.1 kg/cm² de presión y 121° C durante 15 min. Todos los cultivos fueron incubados a 25 ± 2°C, bajo un fotoperiodo de 16/8 h (luz/oscuridad). La intensidad lumínica fue de 50 µmol m²/s provista por lámparas LED blancas.

Para la multiplicación *in vitro* de chayote se utilizaron segmentos nodales de aproximadamente 1 cm, cada uno contenía un nudo con una yema axilar, se multiplicaron en medio MS 100%, suplementado con 30 g/L de sacarosa y solidificado con 2.5 g/L de Phytigel™ (Sigma P8169) y 0.5 mg/mL de BAP (Sigma-Aldrich). El pH se ajustó a 5.8 con un potenciómetro (Thermo Scientific®) y se esterilizó en la autoclave vertical (AESAR®) a 1.1 kg/cm² de presión y 121° C durante 15 min. Todos los cultivos fueron incubados a 25 ± 2°C, bajo un fotoperiodo de 16/8 h (luz/oscuridad). La intensidad lumínica fue de 50 µmol m²/s provista por lámparas LED blancas.

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño completamente al azar; la unidad experimental consistió en un frasco de vidrio de 250 mL con 30 mL de medio MS 100% con 0.5 mg/mL de BAP y cuatro explantes de 1 cm.

Tratamientos

Se evaluaron dos tratamientos, cada uno conformado por una variedad de chayote, *S. edule* var. *viren levis* y *S. edule* var. *albus dulcis*, con 10 repeticiones para cada tratamiento. Estudios previos en nuestro laboratorio han mostrado que la multiplicación se ve favorecida a bajas concentraciones de BAP, respecto al medio basal sin reguladores del crecimiento vegetal. Por ello, en este trabajo ambos tratamientos se establecieron en medio de cultivo MS 100% con 0.5 mg/L de BAP, para comparar la respuesta dependiendo del genotipo.

Variables evaluadas

Se evaluaron la altura de la planta, número de brotes, número de raíces y número de hojas, en una única ocasión, al final de experimento, a los 30 días después de la siembra. La altura de planta se midió en cada individuo desde la base del tallo hasta la hoja más alta con el apoyo de un vernier. El número de hojas, número de brotes y el número de raíces se realizó mediante un conteo por observación.

Análisis estadístico

Se comprobó que los datos cumplieran los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, a través de las pruebas Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente; posteriormente, los datos fueron sometidos a análisis de varianza de una vía y las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el software SPSS Statistics.

Resultados y discusión

En este trabajo se muestra el efecto del BAP suplementado al medio de cultivo en una concentración de 0.5 mg/L sobre la multiplicación de los brotes, la presencia de hojas y raíz en

dos variedades de chayote. Se observó que con la adición de 0.5 mg/L de BAP, la variedad cambray (*S. edule* var. *albus dulcis*) presentó el mayor número de brotes, mayor número de hojas y el mayor número de plantas enraizadas, respecto al chayote verde liso (*S. edule* var. *virens levis*) (Cuadro 1, Figura 1).

El enriquecimiento del medio de cultivo con 0.5 mg/L BAP también favoreció la longitud de los brotes en la variedad cambray y, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas, el chayote cambray presentó altura media de 3.57 cm en comparación con el chayote verde liso que presentó una altura media de 2.91 cm (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de BAP sobre la altura de la planta, la regeneración de brotes, raíces y hojas de dos grupos varietales de *Sechium edule*.

Grupo varietal	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	Número de brotes	Plantas con raíz
<i>S. edule</i> var. <i>virens levis</i>	2.91 ± 2.69 a	10.50 ± 1.23 b	4.10 ± 0.43 b	0.20 ± 0.20 b
<i>S. edule</i> var. <i>albus dulcis</i>	3.57 ± 0.24 a	15.90 ± 1.87 a	9.60 ± 0.85 a	4.50 ± 1.56 a

Medias (± Error Estándar) con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

La propagación *in vitro* de plantas tiene muchas ventajas a mediano plazo, entre las más destacadas están, que se mantienen bajo condiciones estériles en un ambiente controlado (libres de enfermedades y de fluctuaciones climáticas), las plantas pueden ser rápidamente propagadas cuando se van a utilizar y, por último, el espacio y las labores requeridas para el mantenimiento, se reducen considerablemente con respecto al mantenimiento de las colecciones de campo (Alvarenga *et al.*, 2007). Por el contrario, la mayor desventaja es que requieren infraestructura y equipo especializado, así como, se debe contar con una fuente segura de electricidad (Rodríguez y Hechevarría, 2004). Los resultados obtenidos mostraron que los explantes del chayote cambray no requirieron de la presencia de otro regulador del crecimiento para el desarrollo de raíces bajo condiciones *in vitro*, mientras que en el verde liso si hubo producción de brotes, pero hay una mínima producción de raíces (Figura 1); resaltando la necesidad de utilizar un regulador del crecimiento vegetal que induzca la formación de raíces. En este sentido Abdelnour *et al.* (2002) reportaron resultados distintos para la

micropropagación de esta especie, en donde obtuvieron un mayor número de yemas axilares y en promedio cinco brotes por explante, en medio sin reguladores de crecimiento en comparación con medio suplementado con distintas concentraciones de BAP (0.05-0.5 mg/L).

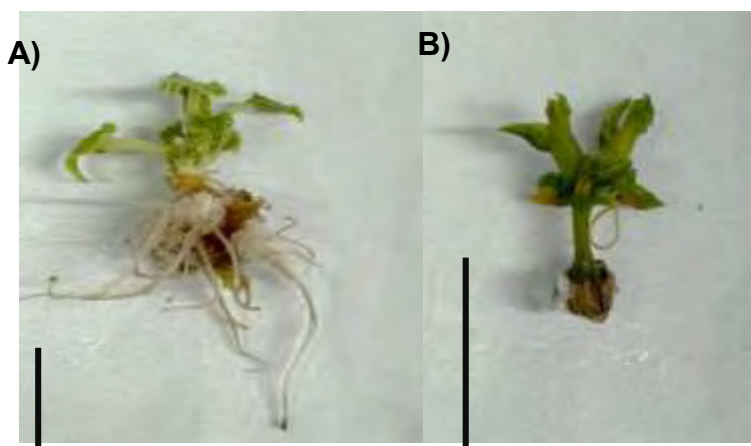


Figura 1. Plantas *in vitro* de chayote a los 30 días de subcultivo. A) Grupo varietal cambray. B) Grupo varietal verde liso. Barra de escala: 2 cm.

Mientras que Cruz-Martínez *et al.*, 2017 mencionan que la propagación *in vitro* de *S. edule* se logró con éxito cuando los segmentos nodales se colocaron en un medio suplementado con 0.1 mg/L de BAP y 0.05 mg/L de ácido giberélico (GA₃) durante 35 días. También se menciona que la adición de BAP por encima de esta concentración acompañado de la adición de GA₃ disminuyó la formación de brotes y aumentó la formación de callos.

Es importante mencionar que las respuestas morfogénicas en el cultivo *in vitro* de plantas suelen ser dependientes del genotipo dentro de una misma especie, este fenómeno se logra observar con trabajos previos y los de este estudio, mostrando que el genotipo en chayote es un factor que influye de manera importante en la respuesta de las plantas al cultivo *in vitro*, el grupo varietal cambray respondió de manera más notoria, respecto al chayote verde liso.

En cucurbitáceas se ha observado este fenómeno, como en melón (*Cucumis melo*) y en pepino (*Cucumis sativus*), donde el genotipo influyó en la regeneración y el desarrollo de embriones (Grozeva *et al.*, 2019; Baktemur *et al.*, 2022). El enraizamiento fue una respuesta morfogénica dependiente del genotipo muy evidente en el chayote, en donde el chayote cambray produjo 4.20 raíces respecto al chayote verde liso donde solo se produjeron 0.20 raíces. García *et al.* (2015) reportan que los brotes de chayote en medio de cultivo MS al 65% y sin reguladores de

crecimiento producen raíces en un 90%; mientras que cuando se adiciona ácido indol acético (AIA) o ácido indol butírico (AIB) al medio de cultivo, la producción de raíces aumenta en un 100% de los brotes. Esta respuesta se debe al estrés derivado de las bajas concentraciones de sales del medio de cultivo MS, que estimulan el surgimiento de raíces en las plántulas *in vitro* (Hurtado & Merino, 1994).

Sin embargo, para la producción de raíces en la variedad verde liso se recomienda la adición de algún regulador del crecimiento, ya que en este estudio se observó que el medio MS sin reguladores no favorece la producción de raíces. Alvarenga (1990) al utilizar AIB en el medio de cultivo, reportaron que el porcentaje de plantas enraizadas aumentó al 100%. Igualmente, en ausencia de reguladores, en un medio de cultivo MS a 22° C, obtuvo un 50% de enraizamiento, mientras que Somarribas *et al.* (1991), reportaron rizogénesis al complementar el medio de cultivo basal MS, con auxinas, principalmente ácido naftalenacético (ANA).

La técnica de disminuir la fuerza iónica del medio de cultivo MS y complementarlo con auxinas ha sido ampliamente utilizada para la inducción e incremento del porcentaje de raíces en cucurbitáceas (Rai *et al.*, 2012; Sangeetha y Venkatachalam, 2014). Sin embargo, algunos investigadores reportan mejores resultados de enraizamiento al utilizar medio de cultivo MS en su totalidad de sales suplementado con al menos una auxina (Ugandhar *et al.*, 2011, Thiruvengadam *et al.*, 2012). Sin embargo, en otras cucurbitáceas la ausencia de reguladores de crecimiento favoreció el enraizamiento (Pal *et al.*, 2007).

El chayote verde liso produjo muy pocas raíces en el medio suplementado con 0.5 mg/L de BAP, lo que sugiere que requiere de la adición de una auxina para generar raíces, este caso es similar al reportado en la calabaza de botella (*Lagenaria siceraria*), otro miembro de la familia *Cucurbitaceae*, donde en ausencia de una fuente de auxinas no genera raíces, mientras que la aplicación de 2 mg/L de ANA produjo un 100% de enraizamiento en los explantes (Kabiru & Njenga, 2023).

Conclusiones

La 6-Bencilaminopurina favorece el desarrollo *in vitro* del chayote, la respuesta es dependiente del genotipo, ya que el chayote cambray presentó una mayor respuesta en el número de hojas,

el número de brotes y la presencia de raíz, así como la longitud de la planta, en comparación con el chayote verde liso, en donde la principal variable afectada fue el desarrollo de la raíz, indicando que dependiendo del genotipo sea necesario utilizar una fuente externa de auxinas en esta etapa de la micropropagación del chayote. Esta investigación proporciona un método distinto de siembra y propagación donde se obtiene la producción masiva de brotes de chayote cambray y verde liso, y también el enraizamiento en el chayote cambray.

Literatura citada

- Abdelnour, E. A., C. Ramírez y F. Engelmann. 2002. Micropropagación de chayote (*Sechium edule* Jacq. S.W.) a partir de brotes vegetativos. *Agronomía Mesoamericana* 13(2):147-151.
- Alvarenga Venutolo, S. 1990. Micropropagación y estudio de algunas opciones para la conservación de germoplasma de chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) *in vitro*. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 154 p.
- Alvarenga, V. S., E. A. Abdelnour y A. V. Villalobos. 2007. Conservación *in vitro* de chayote (*Sechium edule*). *Agronomía Mesoamericana* 18:65-73.
- Baktemur, G., D. Keles, E. Kara, S. Yildiz and H. Taskin. 2022. Effects of genotype and nutrient medium on obtaining haploid plants through ovary culture in cucumber. *Molecular Biology Reports* 49:5451-5458.
- Coronel, O. A. D. Á., E. León G., G. Vela G., D. L. C. Medina J., R. García V. and S. García H. 2017. Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz). p. 979 - 992. In: Yahia, E. M. (Ed.). *Fruit and Vegetable Phytochemicals*. Wiley. Hoboken, NJ, USA.

- Cruz-Martínez, V., O. A. Castellanos-Hernández, G. J. Acevedo-Hernández, M. I. Torres-Morán, M. Gutiérrez-Lomelí, D. Ruvalcaba-Ruíz et al. 2017. Genetic fidelity assessment in plants of *Sechium edule* regenerated via organogenesis. South African Journal of Botany 112:118-122.
- Flores, M. D., E. A. Abdelnour y V. S. Alvarenga. 1999. Micropropagación de fenotipos seleccionados de chayote. Tecnología en Marcha 13:9-15.
- García, G. J., A. E. Salas y B. J. Azofeifa. 2015. Efecto del AIA y el AIB sobre el enraizamiento *in vitro* de brotes de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Biotecnología Vegetal 15:3-7.
- Grozeva, S. Y., N. V. Velkov and Z. V. Ivanova. 2019. *In vitro* plant regeneration of two *Cucumis melo* L. genotypes using different explant types and culture medium. Ecologia Balkanica 11(2).
- Hurtado, D & Merino, M. E. 1994. Cultivo de tejidos vegetales. 3ª. Edición. Editorial Trillas. México.
- Kabiru, T. and K. Njenga. 2023. *In vitro* propagation of *Lagenaria siceraria*: a plant of the Cucurbitaceae family with high medicinal value. Asian Plant Research Journal 11(5):42-52.
- Lira, R. 1996. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Chayote (*Sechium edule* Jacq.) SW. IPGRI. Rome, Italy. 58 p.
- Nataren, V. J., A. L. D. Angel P., J. V. Megchún G., E. Ramírez H., C. A. Hernandez E. y I. Meneses M. 2021. Caracterización del cultivo de chayote (*Sechium edule* Jacq) (Swartz) en la zona de Altas Montañas del estado de Veracruz. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable 5(1):134-152.

- Pal, S.P., I. Alam, M. Anisuzzaman, K. Sarker K., S. Sharmin A. and M. Alam F. 2007. Indirect organogenesis in summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 31(1):63-70.
- Rai, G. K., M. Singh, P. Rai N., R. Bhardwaj D. and Kumar S. 2012. *In vitro* propagation of spine gourd (*Momordica dioica* Roxb.) and assessment of genetic fidelity of micropropagated plants using RAPD analysis. Physiology and Molecular Biology of Plants 18(3):273–280.
- Ramírez, M. M., D.R.L Aguilar y C.A. Orduño. 2023. El cultivo de tejidos vegetales aliado en la propagación comercial de orquídeas. Universitarios Potosinos 275:14-19.
- Rodríguez, G. H. y S. I. Hechevarría. 2004. Efectos estimulantes del crecimiento de extractos acuosos de plantas medicinales y gel de Aloe vera (L.) N. L. Burm. Revista Cubana de Plantas Medicinales 9(2): 0-0.
- Sangeetha, P. and P. Venkatachalam. 2014. Induction of direct shoot organogenesis and *in vitro* flowering from shoot tip explants of cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Green long). *In vitro* Cellular and Developmental Biology-Plant 50:242-248.
- Somarribas, G., J. Sandoval y L. Müller. 1991. Propagación vegetativa *in vitro* del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Fase de establecimiento. Turrialba 41:538–544.
- Thiruvengadam, M. N., N. Praveen and I. M. Chung. 2012. *In vitro* regeneration from internodal explants of bitter melon (*Momordica charantia* L.) via indirect organogenesis. Revista Africana de Biotecnología 11(32):8218-8224.
- Ugandhar, T. M., G. Venkateshwarlu, T. Begum, T. Srilatha and K. Jaganmohanreddy. 2011. *In Vitro* plant regeneration of Cucumber (*Cucumis sativum* (L.) from cotyledon and hypocotyl explants. Science Research Reporter 1(3):164-169.

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN PATOGENICA DE HONGOS ASOCIADOS CON MUERTE REGRESIVA EN *Citrus latifolia* Tanaka

Ricardo Santillán Mendoza^{85*}, Felipe R. Flores de la Rosa⁸⁵, Monserrat Torres Olaya⁸⁶,
Sylvia P. Fernández Pavía⁸⁷, Gerardo Rodríguez Alvarado⁸⁷, Carmen Pablo Mendoza⁸⁵,
Cristian Matilde Hernández⁸⁵ y Humberto Estrella Maldonado⁸⁵

Resumen

En México, se producen más de 8,900,000 t de cítricos lo que representa una derrama económica de más de 47 mil millones de pesos al año. Sin embargo, las enfermedades son la principal causa en la reducción de la producción, lo cual se refleja en grandes pérdidas económicas, destacando las enfermedades fúngicas, debido a que en casos severos pueden ocasionar la muerte del árbol. La muerte regresiva destaca por ser una enfermedad emergente en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), cultivo de gran importancia en Tabasco, cuyos agentes etiológicos no habían sido previamente determinados. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue generar una colección de cepas fúngicas aisladas de ramas de limón persa con síntomas de muerte regresiva de huertas de la principal zona productora del estado, así como, caracterizarlas cultural, molecular y patogénicamente en ramas desprendidas y plantas certificadas de limón persa. Se monitorearon 9,229 árboles en 230 ha de huertas comerciales, en donde se colectaron 30 ramas de limón persa que abarcaron todo el abanico de síntomas observados. Se aislaron 40 cepas fúngicas, las cuales se caracterizaron cultural y molecularmente mediante la amplificación y secuenciación de la región Espaciador Interno Transcrito (ITS), los resultados indicaron que los hongos pertenecen a especies de los géneros *Diaporthe* (3), *Fusarium* (8), *Lasiodiplodia* (28) y *Pestalotiopsis* (1). Posteriormente, se seleccionaron 20 de los 40 aislados, los cuales se caracterizaron patogénicamente, completando los postulados de Koch para 12 de los 20 aislados sobre ramas desprendidas y plantas certificadas de limón persa, los 12 aislados que fueron patogénicos corresponden a *Lasiodiplodia* spp., con esto se concluye que especies del género *Lasiodiplodia* son los agentes causales de la enfermedad en Tabasco, México. Sin embargo, la caracterización molecular y filogenética con al menos cuatro marcadores moleculares es necesaria para la correcta identificación de los aislados fúngicos.

Palabras clave: Limón persa, Botryosphaeriaceae, *Lasiodiplodia*

⁸⁵ Campo Experimental Ixtacuaco, CIR-Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

*Autor de correspondencia: santillan.ricardo@inifap.gob.mx

⁸⁶ Técnico independiente en el Estado de Veracruz.

⁸⁷ Laboratorio de Patología Vegetal, IIAF, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Introducción

A nivel mundial, la citricultura se considera la actividad de mayor importancia para la producción agrícola dentro de la fruticultura con más de 150,000,000 t por año, los cítricos se cultivan en los cinco continentes, Asia aporta el 51.89%, América el 29.39%, África 11.44%, Europa 6.88% y Oceanía 0.39%. Entre los mayores países productores se encuentran China, Brasil, India, México y Estados Unidos (FAO, 2022).

En México se cultivan 852,717 ha de especies del género *Citrus*, que incluyen naranja dulce (*C. sinensis* L.), limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), limón ácido (*C. aurantifolia* (Christm.) Swingle), mandarina (*C. reticulata* Blanco) y toronja (*C. paradisi* Macfad), con un valor de producción superior a los 47 mil millones de pesos (FAO, 2022; SIAP, 2022).

Respecto al cultivo de limón persa, México produce más de 1,500,000 t de las cuales más de 600,000 t se exportan, principalmente a los mercados norteamericano, europeo y asiático, siendo el principal proveedor de Estados Unidos (FAO, 2022; SIAP, 2022).

Sin embargo, una de las limitantes para la producción citrícola son las enfermedades causadas por patógenos fúngicos, destacando la antracnosis causada por el complejo de especies de *Colletotrichum gloesporioides* (Talhinhas y Baroncelli, 2021), la gomosis causada por *Phytophthora* spp. (Gaikwad *et al.*, 2023) y la muerte descendente causada por especies de la familia Botryosphaeriaceae (Phillips *et al.*, 2013). Dichos microorganismos causan síntomas de clorosis, menor desarrollo y crecimiento, deficiencias en la absorción de agua y nutrientes, pudrición, necrosis, gomosis, canchales, muerte de ramas y en casos extremos la muerte de la planta (Sáenz-Pérez *et al.*, 2019).

Los miembros de la familia Botryosphaeriaceae causan enfermedades en troncos y ramas, lo que se traduce en pérdidas importantes en la producción (Phillips *et al.*, 2019); *Lasiodiplodia* es uno de los géneros de la familia Botryosphaeriaceae de mayor importancia fitopatológica, actualmente contiene 48 especies ampliamente distribuidas a nivel mundial (Phillips *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2021; El-Ganainy *et al.*, 2022). La mayoría de las especies de *Lasiodiplodia* son conocidas por ser patógenas, causando síntomas como canchales, gomosis, muerte de ramas, tizones y pudrición de frutos (Mondragón-Flores *et al.*, 2021; El-Ganainy *et al.*, 2022). Además, son comúnmente encontradas como endófitas, saprofitas, desarrollándose en

regiones subtropicales y tropicales en donde afectan a más de 1000 hospedantes (Leyva-Mir *et al.*, 2021; Rathnayaka *et al.*, 2023).

En México, a partir del año 2013, se observaron síntomas severos de gomosis, canchros y muerte descendente de ramas en huertas comerciales de limón persa de Veracruz y Puebla, las especies *L. brasiliense*, *L. citricola*, *L. pseudotheobromae*, *L. subglobosa* y *L. theobromae* fueron las responsables de la enfermedad (Bautista-Cruz *et al.*, 2019). Además, en Morelos se determinó que *L. theobromae*, *L. citricola* y *L. pseudotheobromae* fueron las especies responsables de causar la secreción de goma y pudrición del pie de árboles de limón persa (Valle-de la Paz *et al.*, 2019). Mientras que, en Tamaulipas, se reportó a *L. theobromae* causando muerte descendente de naranja dulce (Polanco-Florián *et al.*, 2019).

Sin embargo, la muerte regresiva de limón persa en Tabasco no ha sido estudiada, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue generar una colección de aislados fúngicos y caracterizarlos cultural, molecular y patogénicamente.

Materiales y métodos

Colecta de tejido vegetal de limón persa con síntomas de muerte descendente. Durante junio a agosto de 2023, se realizaron recorridos a pie y de forma visual se determinó la incidencia de la enfermedad en un total de 230 ha de limón persa en la principal región productora de Tabasco, México. Se colectaron ramas con síntomas de cancro, gomosis y muerte regresiva (Fig. 1), considerando una rama sintomática por árbol, en donde se incluyó todo el abanico de síntomas observados. Las ramas de aproximadamente 30 cm se cortaron directamente de los árboles, se guardaron en bolsas de plástico etiquetadas y se almacenaron en un contenedor de plástico con hielo para su transporte al Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

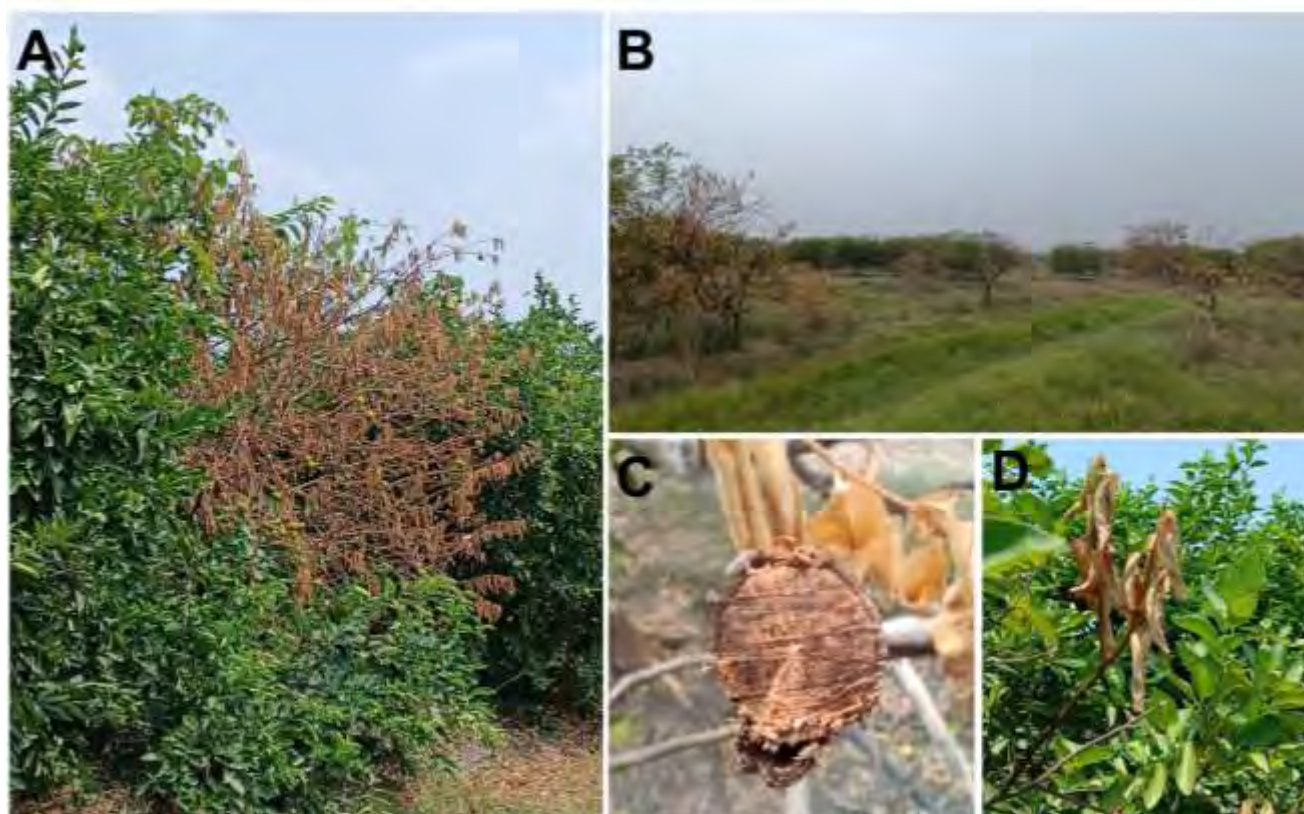


Figura 1. Síntomas de muerte regresiva observados en árboles de limón persa en el estado de Tabasco. A, árbol con muerte descendente de ramas; B, arboles con declinamiento; C, corte transversal de una rama con muerte descendente; D, rama terminal de limón persa con síntomas de la enfermedad.

Aislamientos de ramas de lima persa con muerte regresiva

Se obtuvieron aislados fúngicos siguiendo el protocolo establecido previamente por Bautista-Cruz *et al.* (2019). Se cortaron fragmentos de ~3 cm de cada rama del margen entre la zona de tejido necrótico y sano, se colocaron en un tubo de 50 mL que contenía 20 mL de jabón al 5% durante 10 min, posteriormente, se sumergieron en hipoclorito de sodio al 1% durante 1 min, se enjuagaron tres veces con agua estéril y se secaron en papel estéril. Cinco piezas de tejido (~5 mm²) se colocaron en placas de Petri de 100 por 15 mm que contenían agar papa dextrosa (PDA) suplementado con 0.5 g/L de sulfato de estreptomicina y 0.4 g/L de penicilina. Las placas se incubaron a 25°C durante 48 h en oscuridad. Las colonias fúngicas emergentes seleccionadas se transfirieron a placas que contenían agar agua al 2%, se incubaron en oscuridad durante 48 horas y se purificaron transfiriendo una punta de una hifa a placas de

Petri que contenían PDA y se incubaron a 25°C en la oscuridad. Los aislados utilizados en este estudio se almacenaron a -80°C en glicerol al 15% y se depositaron en la Colección de Cultivos de Hongos Fitopatógenos del CEIXTA-INIFAP.

Extracción de ADN, amplificación PCR y secuenciación

Los aislados se cultivaron en placas de PDA y se incubaron a 25°C durante 7 d. El micelio aéreo se recolectó directamente del medio utilizando una hoja de bisturí estéril y se transfirió a microtubos de 2 mL. El ADN genómico total se extrajo utilizando el método CTAB (bromuro de cetil trimetilamonio) con ligeras modificaciones (Santillán-Mendoza *et al.*, 2018). Las concentraciones de ADN se cuantificaron utilizando un NanoDrop OneC (Thermo Fisher Scientific, Madison, WI), y para la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), las muestras de ADN se diluyeron a una concentración de 100 ng/μL.

Se amplificó la región del espaciador interno transcrito (ITS) empleando los oligonucleótidos ITS5 e ITS4 (White *et al.*, 1990). Las reacciones de amplificación se realizaron en un volumen total de 25 μL, el cual contenía 12.5 μL de BlasTaq 2X PCR MasterMix (Applied Biological Materials), 9.5 μL de agua de biología molecular, 1 μL de cada oligonucleótido sentido y antisentido a una concentración de 10 μM, y 1 μL de ADN a 100 ng/μL. Las condiciones de amplificación incluyeron un paso inicial de desnaturalización a 95°C durante 3 min, seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 95°C durante 15 s, alineación a 55°C durante 15 s, y extensión a 72°C durante 10 s, seguido de una extensión final a 72°C durante 5 min. Las corridas de PCR se realizaron en un termociclador MiniAmp plus (Thermo Fisher Scientific). Los productos de PCR se separaron por electroforesis en un gel de agarosa al 1.5% teñido con bromuro de etidio. Los productos de PCR amplificados se purificaron utilizando el sistema Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System (Promega) y se secuenciaron en ambas direcciones utilizando el método de Sanger en el Laboratorio Nacional de biotecnología agrícola, médica y ambiental (LANBAMA) del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT).

Caracterización cultural y morfológica

Todos los aislados fúngicos se caracterizaron culturalmente en función de la apariencia y color de la colonia, así como la pigmentación del medio de cultivo, posteriormente, las colonias

fueron tentativamente identificadas, mediante la observación de la morfología y de las principales estructuras microscópicas utilizando la clave de Phillips *et al.* (2013).

Pruebas de patogenicidad

Se colectaron ramas de árboles sanos de una parcela experimental del Campo Experimental Ixtacuaco, ubicada en el municipio de Tlapacoyan (20°18'37" N y 96°59'29" W, 105 msnm). Las ramas se lavaron con jabón al 10%, seguido de una inmersión en una solución de cloro comercial al 2%, se enjuagaron con agua destilada estéril, y se asperjaron con alcohol al 70%. La inoculación se llevó a cabo siguiendo el protocolo descrito por Bautista-Cruz *et al.* (2019) con ligeras modificaciones. Tres ramas por cada aislado fueron colocadas en cámaras húmedas independientes, se les realizó una herida de aproximadamente 1 cm, lugar donde se colocó un disco de 0.5 mm de medio PDA con micelio de cada una de las cepas analizados, mientras que para los controles se emplearon discos de medio sin micelio, posteriormente se cubrieron con parafilm para evitar la desecación, se incubaron a 25°C durante 30 d con un fotoperiodo de 16/8 h luz/oscuridad, realizando observaciones cada 48 h.

Además, se adquirieron plantas de limón persa de 18 meses de edad provenientes de un vivero certificado, para el experimento en condiciones de invernadero, las cuales se inocularon de forma similar a las ramas desprendidas. Para completar los postulados de Koch, se recolectó tejido necrótico del margen de las lesiones y se sembró en PDA.

Ensayos de virulencia

Las evaluaciones de virulencia se realizaron 30 d después de la inoculación, removiendo la corteza y midiendo la longitud de la lesión en la madera utilizando un calibrador digital. El experimento se llevó a cabo dos veces para asegurar precisión y confiabilidad. Las diferencias en virulencia entre los aislados fúngicos, se analizaron utilizando la prueba de Diferencia Mínima Significativa ($p \leq 0.05$) con el software estadístico R v. 3.5.1.

Resultados y discusión

Incidencia de la enfermedad y obtención de aislados fúngicos

En el estado de Tabasco, México, de un total de 9,229 árboles de limón persa inspeccionados visualmente, se encontró que el 48% de los árboles presentaron algún tipo de sintomatología como fue gomosis, cancro del tallo, muerte regresiva de ramitas y ramas, momificación de frutos y declinamiento de los árboles, los cuales coinciden a los síntomas previamente observados en el estado de Veracruz (Bautista-Cruz *et al.*, 2019). De acuerdo con las observaciones realizadas, un total de 30 ramas con síntomas fueron colectadas debido a que cubrían todo el abanico de síntomas, las ramas fueron procesadas en el laboratorio, se obtuvo una colección de 40 aislados de hongos a partir de tejidos enfermos; se observó variabilidad cultural en términos de crecimiento y color de cada cepa (Fig. 2).

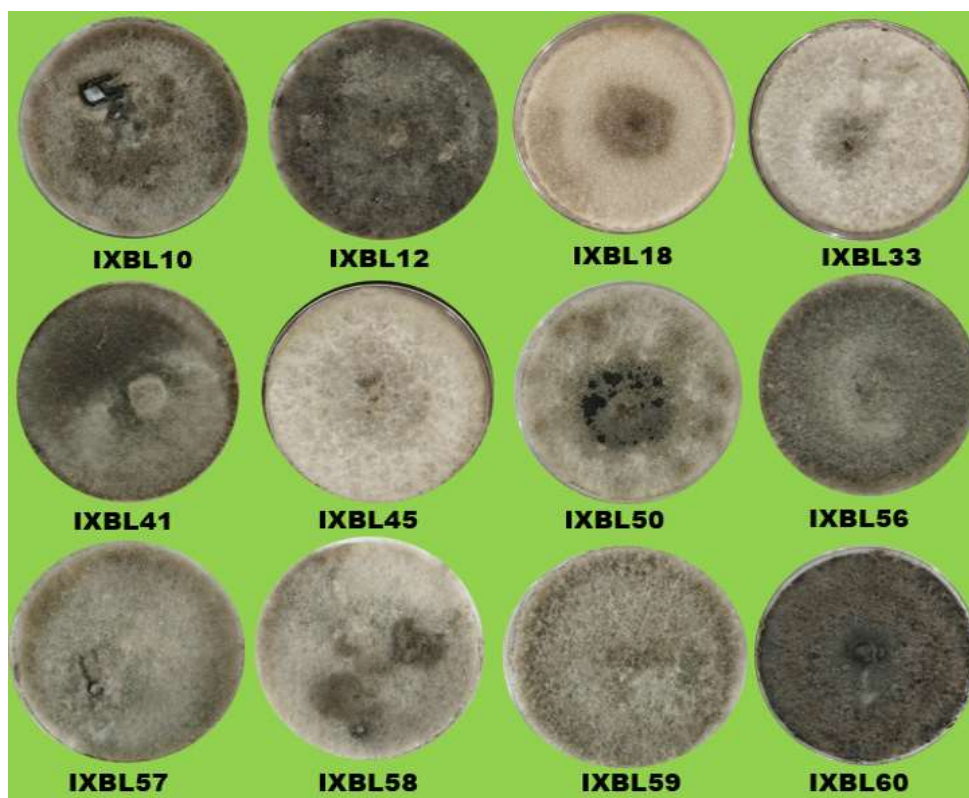


Figura 2. Imágenes representativas de la diversidad cultural de aislados fúngicos obtenidos de tejido vegetal de limón persa con síntomas de muerte regresiva, aislados crecidos en PDA por 7 d a 25°C y 12 h luz/oscuridad.

Secuenciación de la región ITS

Los 40 aislados de hongos obtenidos de plantas de limón persa con síntomas de muerte regresiva, se identificaron a nivel de género con base en el análisis BLAST de la región ITS, el cual fue amplificado por PCR (Fig. 3), los análisis mostraron que 28 aislados corresponden al género *Lasiodiplodia* sp., tres a *Diaporthe* sp., ocho a *Fusarium* sp. y uno a *Pestalotiopsis* sp. Nuestros resultados coinciden con otros estudios, en donde además de *Lasiodiplodia* han sido aislados otros géneros fúngicos como *Alternaria*, *Cladosporium*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Dothiorella*, *Fusarium*, y *Phomopsis* (Adesemoye et al., 2014).

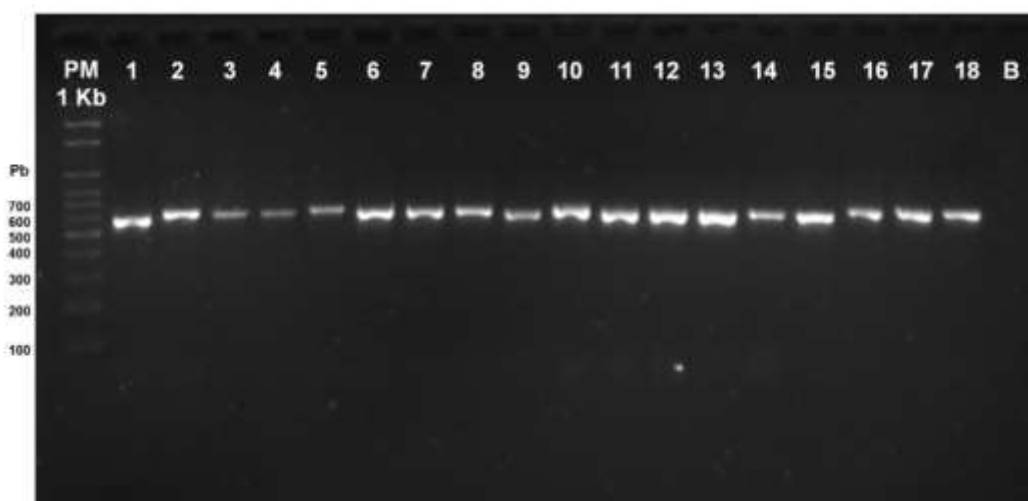


Figura 3. Imagen representativa de una electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de los productos de PCR de la región del ADN_r, ITS. El carril PM indica el marcador de pesos moleculares de 1 Kb, carriles 1 a 18 productos de PCR ITS de 18 cepas obtenidas de tejido de limón persa con síntomas de muerte descendente, carril B control negativo.

Pruebas de patogenicidad en ramas desprendidas de limón persa

Los postulados de Koch para los 40 aislados fúngicos obtenidos de tejido de limón persa con muerte descendente, fueron corroborados mediante la inoculación de discos de medio PDA con micelio sobre ramas desprendidas de limón persa por triplicado, las cuales se encontraban sin síntomas de muerte descendente y de cualquier otra enfermedad.

Las ramas se colocaron en cámara húmeda, se incubaron a 25°C durante 30 d y se realizaron observaciones cada 24 h. Un total de 28 de los 40 aislados inoculados causaron síntomas

sobre las ramas de limón persa inoculadas, los cuales se manifestaron como heridas necróticas de color café-negro con tamaños que oscilan de los 13 hasta los 35 mm hacía ambas direcciones a partir de la zona de inoculación, además, algunos aislados indujeron la exudación de goma (gomosis) de la rama de limón persa. La mayoría de los aislados presentaron síntomas iniciales a las 72 h, y otros aislados mostraron síntomas después de los seis días, por último, los testigos inoculados con medio PDA sin micelio no mostraron síntomas (Fig. 4).

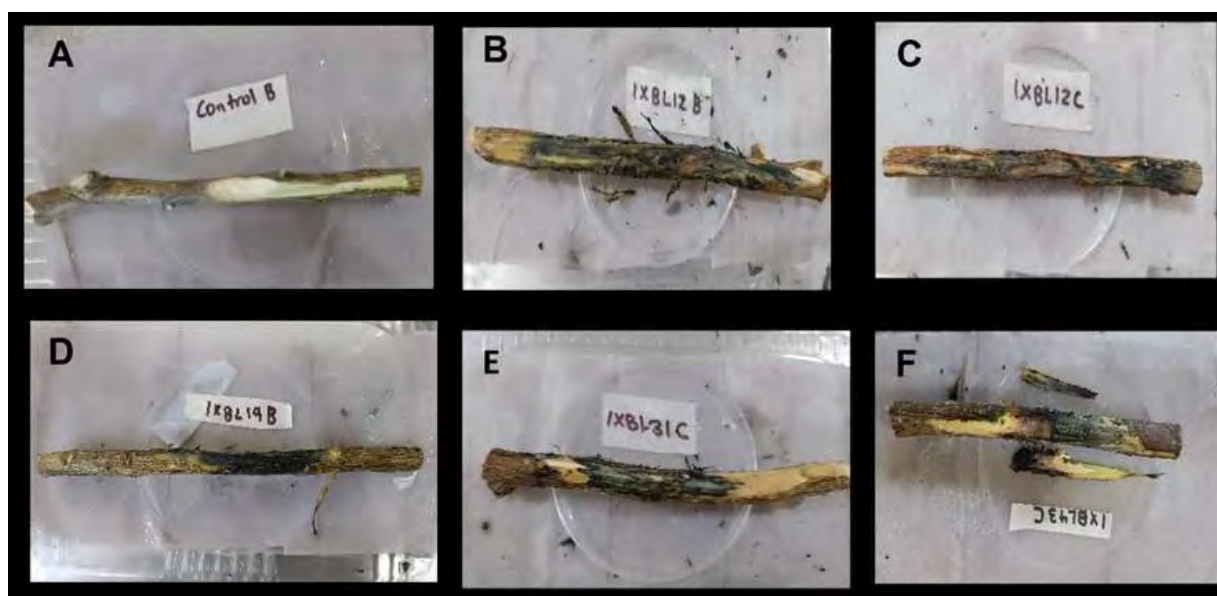


Figura 4. Imágenes representativas de las pruebas de patogenicidad sobre ramas desprendidas de limón persa. A) Rama control inoculada con medio PDA sin micelio, B-F) Ramas inoculadas con aislados fúngicos obtenidos de tejido vegetal de limón persa con síntomas de muerte regresiva.

Únicamente los aislados que causaron síntomas (*Lasiodiplodia* spp.) fueron recuperados a partir del tejido enfermo, mientras que ningún hongo fue reaislado del tejido sano de los controles, con lo cual se completaron satisfactoriamente los postulados de Koch.

Pruebas de patogenicidad en plantas de limón persa de vivero certificado

Debido a que, en ramas desprendidas de limón persa únicamente los aislados de *Lasiodiplodia* indujeron síntomas, estos fueron utilizados para realizar las inoculaciones en árboles de limón

persa de 18 meses de edad, provenientes de un vivero certificado. *Lasiodiplodia* fue capaz de inducir la formación de exudados gomosos, necrosis en la zona de inoculación y canchros en la parte superior e inferior del punto de inoculación (Fig. 5).



Figura 5. Pruebas de patogenicidad en árboles de limón persa certificados de un año de edad. De izquierda a derecha se observa el proceso de inoculación en condiciones de invernadero, posteriormente síntomas de cancro, necrosis y gomosis.

Los resultados muestran que únicamente los aislados de *Lasiodiplodia* fueron capaces de inducir síntomas relacionados con muerte regresiva, tanto en plantas certificadas como en ramas desprendidas, lo cual coincide con reportes previos, en donde especies de *Lasiodiplodia* son las responsables de la enfermedad en limón persa y naranja en México (Bautista-Cruz *et al.*, 2019; Polanco-Florián *et al.*, 2019); en naranja en Argelia (Berraf- Tebball *et al.*, 2020); en limón amarillo, mandarina, naranja y toronja en China (Xiao *et al.*, 2021); en mandarina y naranja en Egipto (El-Ganainy *et al.*, 2022); en naranja en Estados Unidos de América (Adesemoye *et al.*, 2014); y en limón ácido, mandarina y naranja en Omán (Al-Sadi *et al.*, 2013).

Conclusiones

Se generó una colección de 40 cepas fúngicas, de las cuales el 70% corresponden a *Lasiodiplodia* spp. Además, se determinó que únicamente este género fúngico es capaz de inducir síntomas de muerte regresiva en condiciones de laboratorio e invernadero, con lo cual se concluye que el agente causal de la muerte regresiva en limón persa en el estado de Tabasco, México es o son *Lasiodiplodia* sp. o spp. Sin embargo, la caracterización molecular y filogenética con al menos cuatro marcadores moleculares es necesaria para la correcta identificación de los aislados fúngicos, tal como lo indican trabajos recientes (Rathnayaka *et al.*, 2023).

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento para la realización del proyecto de Fortalecimiento de Infraestructura y Desarrollo de Capacidades Científicas No. 322068 denominado “Fortalecimiento del equipo e infraestructura para el estudio y control de las principales enfermedades de cítricos para incidir en el bienestar social de la zona citrícola de Veracruz”.

Literatura citada

- Adesemoye, A. O., J. S. Mayorquin, D. H. Wang, M. Twizeyimana, S. C. Lynch and A. Eskalen. 2014. Identification of species of Botryosphaeriaceae causing bot gummosis in citrus in California. *Plant Dis.* 98(1):55–61.
- Al-Sadi, A. M., A. N. Al-Wehaibi, R. M. Al-Shariqi, M. S. Al-Hammadi, I. A. Al-Hosni, I. H. Al-Mahmooli *et al.* 2013. Population genetic analysis reveals diversity in *Lasiodiplodia* species infecting date palm, *Citrus*, and mango in Oman and the UAE. *Plant Dis.* 97(10):1363–1369.

- Bautista-Cruz, M. A., G. Almaguer-Vargas, G. Leyva-Mir, M. T. Colinas-León, K. Correa and M. Camacho-Tapia. 2019. Phylogeny, distribution, and pathogenicity of *Lasiodiplodia* species associated with cankers and dieback symptoms of persian lime in Mexico. *Plant Dis.* 103(6):1156–1165.
- Berraf-Tebball, A., A. Eddine-Mahamedi, W. Aigoun-Mouhous, M. Spetik, J. Cechova, R. Pokludal, *et al.* 2020. *Lasiodiplodia mitidjana* sp. nov. and other Botryosphaeriaceae species causing branch canker and dieback of *Citrus sinensis* in Algeria. *PLoS ONE* 15(5):e0232448.
- El-Ganainy, S. M., A. M. Ismail, Z. Iqbal, E. S. Elshewy, K. A. Alhudaib, M. I. Almaghasla, *et al.* 2022. Diversity among *Lasiodiplodia* Species Causing Dieback, Root Rot and Leaf Spot on Fruit Trees in Egypt, and a Description of *Lasiodiplodia newvalleyensis* sp. nov. *J. Fungi* 8(11):1203.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2022. Datos sobre alimentación y agricultura, producción 2020. [consultado el 15 de abril de 2024].
- Gaikwad, P. N., V. Sharma, J. Singh, G. S. Sidhu, H. Singh and A. Omar. 2023. Biotechnological advancements in *Phytophthora* disease diagnosis, interaction and management in citrus. *Sci. Hortic.* 310:111739.
- Leyva-Mir, S. G., M. A. Bautista-Cruz, G. Almaguer-Vargas, M. T. Colinas-León, J. M. Tovar-Pedraza y M. Camacho-Tapia. 2021. Efectividad de fungicidas y *Trichoderma* spp. para el control de *Lasiodiplodia* spp. en huertos de limón ‘Persa’ en Veracruz. *REMEXCA.* 12(2):345–353.
- Mondragón-Flores, A., G. Rodríguez-Alvarado, N. Gómez-Dorantes, J. J. Guerra-Santos and S. P. Fernández-Pavía. 2021. Botryosphaeriaceae: una familia de hongos, compleja, diversa y cosmopolita. *REMEXCA.* 12(4):643–654.

- Phillips, A. J. L., A. Alves, J. Abdollahzadeh, B. Slippers, M. J. Wingfield, J. Z. Groenewald, *et al.* 2013. The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. *Stud. Mycol.* 76(1):51–167.
- Phillips, A. J. L., K. D. Hyde, A. Alves and J. K. Liu. 2019. Families in Botryosphaeriales: a phylogenetic, morphological, and evolutionary perspective. *Fungal Divers.* 94(1):1–22.
- Polanco-Florián, L. G., O. G. Alvarado-Gómez, O. Pérez-González, R. González-Garza y E. Olivares-Sáenz. 2019. Hongos asociados con la muerte regresiva de los cítricos en Nuevo León y Tamaulipas, México. *REMEXCA.* 10(4):757–764.
- Rathnayaka, A. R., K. W. T. Chethana, I. S. Manawasinghe, S. N. Wijesinghe, N. I. de Silva, D. S. Tennakoon, *et al.* 2023. *Lasiodiplodia*: Generic revision by providing molecular markers, geographical distribution and haplotype diversity. *Mycosphere* 14(1):1254–1339.
- Sáenz-Pérez, C. A., E. Osorio-Hernández, B. Estrada-Drouaillet, W. A. Poot-Poot, A. Delgado-Martínez and R. Rodríguez-Herrera. 2019. Principales enfermedades en cítricos. *REMEXCA.* 10(7):1653–1665.
- Santillán-Mendoza, R., S. P. Fernández-Pavía, K. O'Donnell, R. C. Ploetz, R. Ortega-Arreola, G. Vázquez-Marrufo, *et al.* 2018. A novel disease of big-leaf mahogany caused by two *Fusarium* species in Mexico. *Plant Dis.* 102(10):1965–1972.
- SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). 2022. Avance de siembras y cosechas Resumen por Cultivo, 2021. [consultado el 15 de abril de 2024].
- Talhinhas, P. and R. Baroncelli. 2021. *Colletotrichum* species and complexes: geographic distribution, host range and conservation status. *Fungal Divers.* 110: 109–198.

- Valle-de la Paz, M., D. Guillén-Sánchez, A. R. Gijón-Hernández, I. Alía-Tecal, V. López-Martínez, P. Juárez-López, *et al.* 2019. Especies de *Lasiodiplodia* en lima 'Persa' (*Citrus latifolia* Tanaka) en Morelos, México. *Rev. Biocienc.* 6:e595.
- White, T. J., T. Bruns, S. Lee and T. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. P. 315-322. *In*: Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White (eds.). *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Academic Press, New York, NY, USA.
- Xiao, X. E., W. Wang, P. W. Crous, H. K. Wang, C. Jiao, F. Huang, *et al.* 2021. Species of Botryosphaeriaceae associated with citrus branch diseases in China. *Persoonia* 47:106–135.
- Zhang, W., J. Z. Groenewald, L. Lombard, R. K. Schumacher, A. J. L. Phillips and P. W. Crous. 2021. Evaluating species in Botryosphaeriales. *Persoonia* 46:63–115.

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y FILOGENÉTICA DE *Lasiodiplodia* spp. ASOCIADAS CON MUERTE REGRESIVA DE LIMÓN PERSA

Ricardo Santillán Mendoza^{88*}, Jazmín Vergara Estudillo⁸⁹, Felipe R. Flores de la Rosa⁸⁸, Humberto J. Estrella Maldonado⁸⁸, Sylvia P. Fernández Pavía⁹⁰, Gerardo Rodríguez Alvarado⁹⁰, Carmen Pablo Mendoza⁸⁸ y Cristian Matilde Hernández⁸⁸

Resumen

En México la citricultura ocupa el primer lugar en producción dentro de la fruticultura nacional. Sin embargo, las enfermedades son el principal factor que reduce la producción, lo que causa pérdidas económicas importantes. Entre estas enfermedades, destaca la muerte regresiva como enfermedad emergente en el limón persa, la cual es causada por especies de *Lasiodiplodia*. Los síntomas incluyen gomosis, muerte de ramas, canchros, necrosis de la corteza y la madera, momificación de frutos y decaimiento de los árboles. El objetivo de este estudio fue identificar molecular y filogenéticamente las especies de *Lasiodiplodia* asociadas con el tejido vegetal de limón persa con síntomas de la enfermedad en árboles de limón persa del estado de Tabasco, México, así como, dilucidar el estado actual de las especies de *Lasiodiplodia* en México. Previamente, en 2023, se obtuvieron 28 aislados de *Lasiodiplodia* a partir de ramas sintomáticas de limón persa del estado de Tabasco, las cuales se caracterizaron patogénicamente. En este estudio, un total de 12 aislados fueron caracterizados molecular y filogenéticamente a través de cuatro regiones parciales, la región espaciadora transcrita interna (ITS), el gen de la β -tubulina (*tub2*), el gen del factor de elongación de la traducción 1-alfa (*tef1- α*) y el gen de la segunda subunidad grande de la ARN polimerasa II (*rpb2*). Los resultados obtenidos, muestran que, al menos cinco especies del género *Lasiodiplodia* se encuentran asociadas con los síntomas de muerte regresiva en limón persa del estado de Tabasco.

Palabras clave: Botryosphaeriaceae, *Citrus latifolia*, marcadores moleculares

Introducción

Los cítricos ocupan el primer lugar en producción y en derrama económica dentro de la fruticultura nacional (SIAP, 2022). Sin embargo, una de las limitantes para la producción

⁸⁸ Campo Experimental Ixtacuaco, CIR-Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

*Autor de correspondencia: santillan.ricardo@inifap.gob.mx

⁸⁹ Tecnológico Nacional de México, campus Teziutlán.

⁹⁰ Laboratorio de Patología Vegetal, IIAF, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

citrícola son las enfermedades causadas por patógenos fúngicos, virales y bacterianos, entre los cuales destacan: la gomosis causada por *Phytophthora* spp., la mancha grasienta causada por *Mycosphaerella citri*, la antracnosis causada por el complejo de especies de *Colletotrichum gloesporioides*, el Huanglongbing causado por *Candidatus Liberibacter* spp., el virus de la tristeza de los cítricos (VTC), y cancro y muerte regresiva causada por especies de la familia Botryosphaeriaceae. Dichos microorganismos causan síntomas de clorosis, moteado, menor desarrollo y crecimiento, deficiencias en la absorción de agua y nutrientes, pudrición, necrosis, gomosis, canchros, muerte de ramas y en casos más extremos la muerte de la planta (Tarnowski *et al.*, 2013; Sáenz *et al.*, 2019).

Los miembros de la familia Botryosphaeriaceae, causan enfermedades en troncos y ramas, lo que se traduce en pérdidas importantes en la producción; las especies de los géneros *Lasiodiplodia*, *Diplodia*, *Dothiorella*, *Neofusicoccum* y *Neoscytalidium*, han sido reportadas enfermado a los árboles de cítricos en China, Egipto, España, Estados Unidos, Irán, Italia, México y Omán (Mayorquin *et al.*, 2016; Espargham *et al.*, 2020; Mondragón *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2021; El-Ganainy *et al.*, 2022).

En México, la investigación relacionada con la muerte descendente, indica que especies del género *Lasiodiplodia* son los agentes etiológicos, reportando como agente causal en naranja dulce (*C. sinensis*) a *Lasiodiplodia theobromae*, en Nuevo León y Tamaulipas (Polanco *et al.*, 2019); en limón persa (*C. latifolia*) se han reportado como agentes etiológicos a *L. theobromae*, *L. citricola* y *L. pseudotheobromae* en el estado de Morelos (Valle *et al.*, 2019); *L. theobromae*, *L. pseudotheobromae*, *L. brasiliense*, *L. subglobosa* y *L. citricola* en el estado de Puebla, y *L. theobromae*, *L. pseudotheobromae*, *L. iraniensis* y *L. subglobosa* en el estado de Veracruz (Bautista *et al.*, 2019). Por último, en naranja, toronja, mandarina y limón italiano ha sido reportado a *Lasiodiplodia theobromae* asociado con pudrición de frutos, gomosis y muerte descendente en ramas en el estado de Tamaulipas, sin embargo, la patogenicidad no fue corroborada sobre esas especies de cítricos (Flores *et al.*, 2021). No obstante, debido a la alta similitud en las características culturales y morfológicas de las especies de la familia Botryosphaeriaceae, para la correcta identificación de las especies es indispensable realizar la caracterización molecular y filogenética (Liu *et al.*, 2012; Slippers *et al.*, 2014). Los marcadores moleculares propuestos para la identificación y clasificación filogenética de los géneros *Botryosphaeria*, *Diplodia*, *Dothiorella* y *Pseudofusicoccum*, es mediante la región

espaciadora transcrita interna (ITS), el gen de la β -tubulina (*tub2*) y el gen del factor de elongación de la traducción 1-alfa (*tef1- α*), mientras que para los géneros *Lasiodiplodia*, *Neofusicoccum*, *Neoscytalidium*, *Phaeobotryon*, además de las regiones ITS, *tub2* y *tef1- α* , es necesario incluir la región de la subunidad grande del ARNr (LSU) y el gen de la segunda subunidad grande de la ARN polimerasa II (*rpb2*), todos ellos géneros de la familia Botryosphaeriaceae (Zhang *et al.*, 2021). Sin embargo, recientemente fue determinado que para la adecuada identificación de las especies del género *Lasiodiplodia*, la combinación de los marcadores ITS, *tef1- α* , *tub2*, y *rpb2*, es suficiente para la resolución a nivel de especie (Rathnayaka *et al.*, 2023).

En México únicamente han sido reportadas especies de *Lasiodiplodia* como agentes causales de la muerte regresiva de los cítricos, no obstante, ninguno de los estudios emplea los cuatro marcadores moleculares recomendados para la identificación de las especies, por tal razón, el presente trabajo plantea determinar la situación actual de la especies de *Lasiodiplodia* causantes de muerte regresiva en limón persa, del estado de Tabasco, aunado a que en el sur del país, no ha sido identificado el agente o los agentes etiológicos.

Materiales y métodos

Colecta, obtención y caracterización patogénica de cepas fúngicas

Previamente, durante junio a agosto de 2023, se obtuvieron 28 aislados de *Lasiodiplodia* a partir ramas con síntomas de cancro, gomosis y muerte regresiva de limón persa del estado de Tabasco, las cuales se caracterizaron patogénicamente, mediante inoculaciones en ramas desprendidas y plantas provenientes de vivero certificado (Santillán *et al.*, 2024).

Extracción de ADN

Los aislados almacenados en glicerol al 15% a -80°C en la colección micológica del C.E. Ixtacuaco, se cultivaron en cajas Petri con PDA y se incubaron a 25°C durante 7 días. El micelio aéreo se recolectó directamente del medio utilizando una hoja de bisturí estéril y se transfirió a microtubos de 2 mL. El ADN genómico total se extrajo utilizando el método CTAB (bromuro de cetil trimetilamonio) con ligeras modificaciones (Santillán *et al.* 2018). Las concentraciones

de ADN se cuantificaron utilizando un NanoDrop OneC (Thermo Fisher Scientific, Madison, WI), y para la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), las muestras de ADN se diluyeron a una concentración de 100 ng/μL.

Amplificación PCR y secuenciación

Se amplificaron por PCR, regiones parciales de cuatro marcadores moleculares, la región espaciadora transcrita interna (ITS), parte del gen de la β-tubulina (*tub2*), el gen del factor de elongación de la traducción 1-alfa (*tef1-α*) y el gen de la segunda subunidad grande de la ARN polimerasa II (*rpb2*), utilizando oligonucleótidos específicos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Secuencias de los oligonucleótidos empleados en la identificación de las cepas de *Lasiodiplodia*.

Locus	Tm ^a (°C)	Oligonucleótido	Secuencia	Referencia
ITS	55	ITS5	GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG	White <i>et al.</i> , 1990.
		ITS4	TCCTCCGCTTATTGATATGC	
<i>tub2</i>	60	Bt2a	GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC	Glass y Donaldson, 1995.
		Bt2b	ACCCTCAGTG TAGTGACCCTTGCC	
<i>tef1-α</i>	58	EF1-688F	CGGTCACCTTGATCTACAAGTGC	Alves <i>et al.</i> , 2008.
		EF1-1251R	CCTCGAACTCACCAGTACCG	
<i>rpb2</i>	60	RPB2-5F	GAYGAYMGWGATCAYTTYGG	Liu <i>et al.</i> , 1999.
		RPB2-7cR	CCCATRGCTTG YTTTRCCCAT	

^aTm=Temperatura de alineamiento de los oligonucleótidos. **M**=A o C, **R**=A o G, **W**=A o T, **Y**=C o T.

Las reacciones en cadena de la polimerasa (PCR), se realizaron en un volumen total de 25 μL de una mezcla que constaba de 12.5 μL de BlasTaq 2X PCR MasterMix (ABM), 9.5 μL de agua grado biología molecular, 1 μL de cada oligonucleótido (directo y reverso) a una concentración de 10 pmol y 1 μL de ADN a una concentración de 100 ng/μL. Las condiciones de amplificación constaron de un paso de desnaturalización inicial a 95°C durante 3 min, seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 95°C durante 15 s, hibridación a 55°C para la región ITS, 58°C para el gen *tef1-α*, y 60°C para los genes *tub2* y *rpb2* durante 15 s, y extensión a 72°C durante 10 s, seguido de una extensión final a 72°C durante 5 min. Los ensayos de PCR se realizaron en un

termociclador MiniAmp plus (Thermo Fisher Scientific). Los productos de la PCR se separaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5% corridos a 60 V durante 90 min teñido con bromuro de etidio. Los productos de PCR amplificados fueron purificados usando el kit Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System (Promega) y posteriormente se mandaron secuenciar en ambas direcciones en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (SLP, México), usando el método de Sanger.

Alineamiento de secuencias

Las secuencias de cada una de las regiones secuenciadas en sentido y antisentido fueron ensambladas y editadas empleando el software Staden Package (Staden *et al.*, 1998). Posteriormente, las secuencias de cada región (ITS, *tef1- α* , *tub2*, and *rpb2*) para las especies de *Lasiodiplodia* descritas fueron tomadas del GenBank con base en el estudio de Rathnayaka *et al.* (2023) en conjunto con las secuencias obtenidas en el presente estudio. En seguida, fueron alineadas usando el programa para alinear secuencias MAFFT v.7 (Kato *et al.*, 2019), y editados manualmente empleando el programa MEGA XI (Tamura *et al.*, 2021). Por último, para realizar la concatenación de las secuencias, cada región alineada fue corrida en el programa SequenceMatrix v.1.8 (Vaidya *et al.*, 2011).

Análisis Filogenéticos

La selección del modelo de evolución molecular de las secuencias concatenadas, fue inferido bajo el Criterio de Información de Akaike (CIA) con el programa ModelTest-NG v.0.1.7 (Darriba *et al.*, 2020). Los árboles filogenéticos para las secuencias concatenadas (ITS, *tef1- α* , *tub2* y *rpb2*) fueron inferidos usando los criterios de Máxima Verosimilitud (MV) empleando el software RAxML (Stamatakis, 2014), con 1,000 réplicas bootstrap, mientras que, la Inferencia Bayesiana (IB) fue realizada con el programa MrBayes v.3.2.7a (Ronquist *et al.*, 2012) utilizando el algoritmo Markov Chain Monte Carlo (MCMC) con cuatro cadenas por corrida, con 10,000,000 de generaciones, muestreando cada 1,000 generaciones, resultando en un total de 10,000 árboles, de los cuales, los primeros 2,500 árboles fueron descartados, y con los 7,500 árboles restantes fueron calculadas las probabilidades posteriores (PP) en el árbol

consenso con la regla de mayoría. Por último, la topología de los árboles fue visualizada y editada usando el programa FigTree v1.4.0 (Rambaut, 2012).

Resultados y discusión

Amplificación PCR de regiones nucleares y ribosomales

La región espaciadora transcrita interna (ITS), el gen de la segunda subunidad grande de la ARN polimerasa II (*rpb2*), el gen del factor de elongación de la traducción 1-alfa (*tef1-α*) y el gen de la β-tubulina (*tub2*), fueron amplificados por PCR a partir del ADN genómico de los 12 aislados representativos de *Lasiodiplodia* obtenidos de ramas de limón persa con muerte regresiva, el cual generó productos de amplificación de aproximadamente 550, 700, 480 y 520 pb para las regiones ITS, *rpb2*, *tef1-α* y *tub2*, respectivamente (Fig. 1).

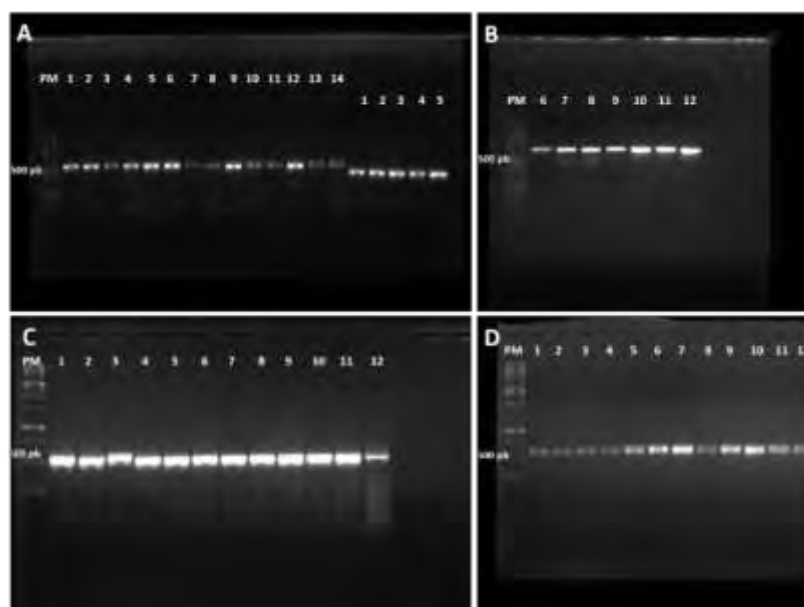


Figura 1. Imágenes de los productos de PCR resueltos por electroforesis en gel de agarosa. A y B, productos de PCR de las regiones ITS y *rpb2*; C y D, Productos de PCR de las regiones *tef1-α* y *tub2*. En todos los casos fueron corridos 2 µL de producto a 60 V por 90 min, PM=marcador de pesos moleculares de 1 Kb, carriles 1 a 12 representan los aislados de *Lasiodiplodia*.

Identificación molecular de los aislados de *Lasiodiplodia*

Los productos de PCR fueron purificados y mandados a secuenciar al IPICYT, en seguida las secuencias fueron editadas y verificadas manualmente, para posteriormente depositarlas en el GenBank (Cuadro 2).

Cuadro 2. Códigos de acceso GenBank de los aislados de *Lasiodiplodia* obtenidos de limón persa con síntomas de muerte regresiva en Tabasco.

Aislado ^a	Especie	Número de acceso GenBank			
		ITS	<i>tef1-α</i>	<i>tub2</i>	<i>rpb2</i>
IXBLT3	<i>L. lignicola</i>	PP778677	PP779531	PP769234	PP784195
IXBLT4	<i>L. pseudotheobromae</i>	PP778678	PP779532	PP769235	PP784196
IXBLT5	<i>L. pseudotheobromae</i>	PP778679	PP779533	PP769236	PP784197
IXBLT6	<i>L. pseudotheobromae</i>	PP778680	PP779534	PP769237	PP784198
IXBLT7	<i>L. theobromae</i>	PP778681	PP779535	PP769238	PP784199
IXBLT9	<i>L. theobromae</i>	PP778682	PP779536	PP769239	PP784200
IXBLT10	<i>L. theobromae</i>	PP778683	PP779537	PP769240	PP784201
IXBLT12	<i>L. pseudotheobromae</i>	PP778684	PP779538	PP769241	PP784202
IXBLT14	<i>L. iraniensis</i>	PP778685	PP779539	PP769242	PP784203
IXBLT15	<i>L. mexicanensis</i>	PP778686	PP779540	PP769243	PP784204
IXBLT16	<i>L. iraniensis</i>	PP778687	PP779541	PP769244	PP784205
IXBLT18	<i>L. pseudotheobromae</i>	PP778688	PP779542	PP769245	PP784206

^a IXBLT: Colección micológica del Campo Experimental Ixtacuaco, CIRGOC, INIFAP, México.

Cada una de las secuencias fue analizada mediante alineamientos múltiples con la herramienta BLAST del “National Center for Biotechnology Information” en la página <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>, donde fueron comparadas contra las secuencias que se encuentran depositadas en la base de datos (GenBank), con el objetivo de obtener los porcentajes de cobertura e identidad. Los resultados no son mostrados debido a que se obtuvieron valores entre el 98 y 100% de cobertura e identidad para más de una especie de *Lasiodiplodia*, para cada uno de los aislados obtenidos de limón persa de Tabasco; esto es

debido a que, para la caracterización de las especies de *Lasiodiplodia* es necesario utilizar al menos cuatro regiones concatenadas para la correcta identificación (Zhang *et al.*, 2021; Rathnayaka *et al.*, 2023), ya que ha sido reportado en la literatura que un gen o región no es suficiente para la correcta identificación de las especies del género (Liu *et al.*, 2012; Slippers *et al.*, 2014; Phillips *et al.*, 2019), siguiendo este razonamiento, se procedió a realizar análisis filogenéticos concatenados, para agrupar e identificar a las especies de acuerdo con sus relaciones evolutivas.

Análisis filogenéticos

Para la identificación filogenética de las especies de *Lasiodiplodia*, las secuencias concatenadas de las cuatro regiones, ITS, *tub2*, *tef1-α* y *rpb2*, más secuencias holotipo que han sido utilizadas previamente en la resolución filogenética del género (Rathnayaka *et al.*, 2023) fueron obtenidas del GenBank, lo cual género un total de 80 secuencias de *Lasiodiplodia*, de 36 especies. Además, se incluyó y utilizó *Diplodia seriata* (CBS 112555) como grupo externo.

La base de datos considerando las cuatro regiones tuvo una longitud de 1,684 caracteres, incluidos los “gaps”. Tanto los análisis de Máxima Verosimilitud (MV) como los de Inferencia Bayesiana (IV) produjeron árboles con topologías similares, en ambos casos se seleccionó el modelo de evolución molecular GTR+G+I. El árbol MV con mejor puntuación que mostró un valor de probabilidad final de -6844.057514 se presenta en la Figura 2. Los conjuntos de datos combinados para nuestras doce secuencias dieron como resultado la ubicación de estas cepas en cinco clados correspondientes a especies de *Lasiodiplodia* descritas previamente con valores bootstrap y probabilidades posteriores altas (Fig. 2).

En el presente estudio, nosotros reportamos que *L. lignicola* y *L. mexicanensis* causan muerte regresiva en limón persa, previamente, *L. lignicola* fue identificada como agente causal de cancro y muerte regresiva en *Vangueria infausta* subsp. *rotundata* y *Berchemia discolor* en Kenia (Karani *et al.*, 2022). Mientras que, *L. mexicanensis* únicamente había sido reportada en asociación con el follaje de la palma *Chamaedorea seifrizii* en México (Douanla *et al.*, 2021).

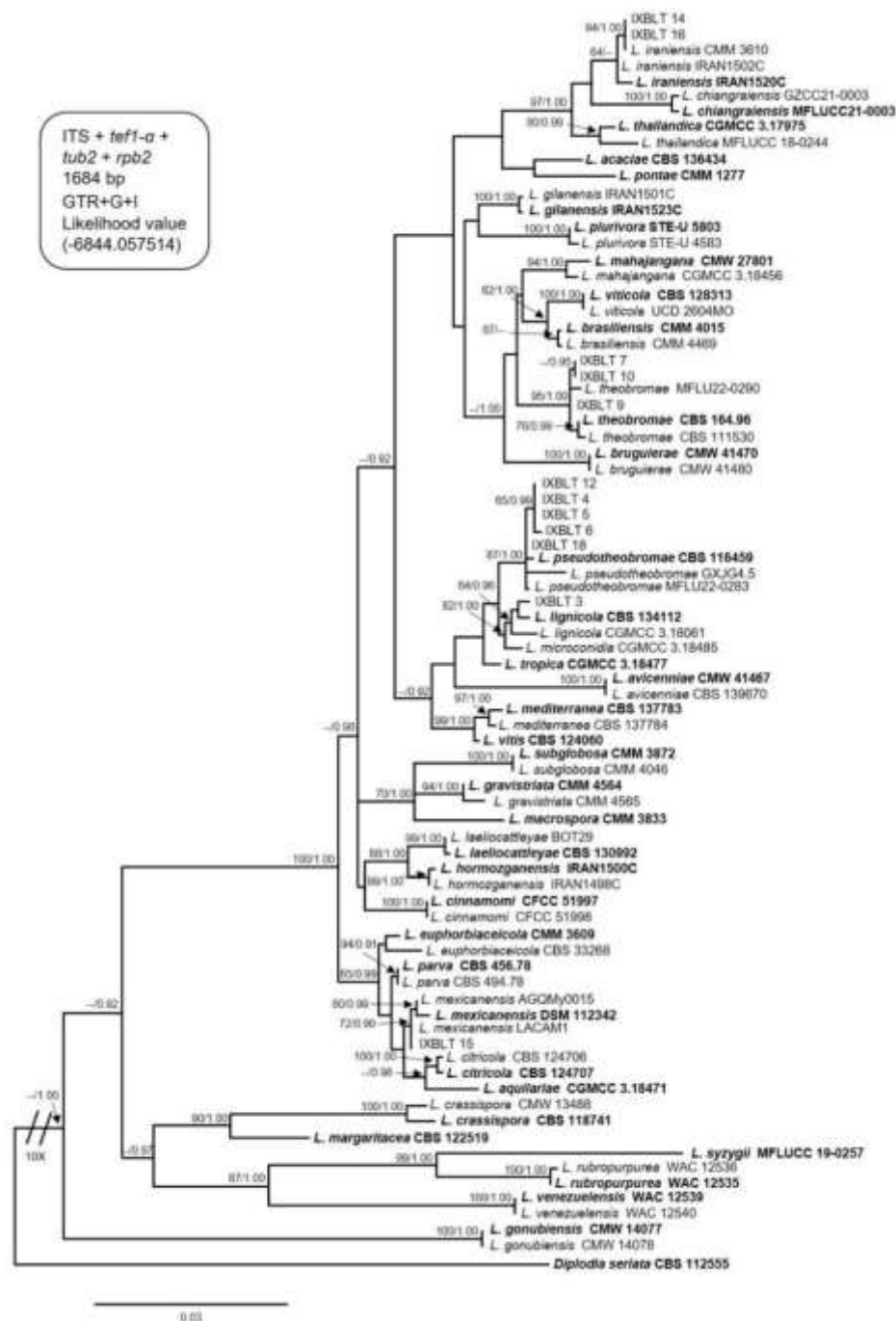


Figura 2. Árbol filogenético de *Lasiodiplodia* generado a partir del análisis de MV de las cuatro regiones concatenadas ITS, *tef1-α*, *tub2*, and *rpb2*. Los valores bootstrap de MV $\geq 64\%$ y las probabilidades posteriores Bayesianas (PP) ≥ 0.90 son indicadas arriba de los nodos. Las cepas holotipo son indicadas en negritas. Los aislados colectados en el presente estudio son indicados con la nomenclatura IXBLT seguido por su número de colección. El árbol fue enraizado con el holotipo de *Diplodia seriata* (CBS 112555).

Conclusiones

En el presente estudio se identificaron molecular y filogenéticamente a cinco especies de *Lasiodiplodia* en el estado de Tabasco, México. Además, se determinó que, el estado actual de las especies de *Lasiodiplodia* ha cambiado del 2019 a la fecha, en donde encontramos a las especies *L. lignicola* y *L. mexicanensis* causando la enfermedad en limón persa, las cuales previamente habían sido reportadas asociadas a níspero africano y a palma de bambú, respectivamente.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento para la realización del proyecto de Fortalecimiento de Infraestructura y Desarrollo de Capacidades Científicas No. 322068 denominado “Fortalecimiento del equipo e infraestructura para el estudio y control de las principales enfermedades de cítricos para incidir en el bienestar social de la zona citrícola de Veracruz”.

Literatura citada

- Alves, A., P. W. Crous, A. Correia and A. J. L. Phillips. 2008. Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. Fungal Divers. 28:1–13.
- Bautista C., M. A., G. Almaguer V., G. Leyva M., M. T. Colinas L., K. Correia and M. Camacho T. 2019. Phylogeny, distribution, and pathogenicity of *Lasiodiplodia* species associated with cankers and dieback symptoms of persian lime in Mexico. Plant Dis. 103(6):1156–1165.
- Darriba, D., D. Posada, A. M. Kozlov, A. Stamatakis, B. Morel and T. Flouri. 2020. ModelTest-NG: A New and Scalable Tool for the Selection of DNA and Protein Evolutionary Models. Mol. Biol. Evol. 37(1):291–294.

- Douanla M., C. and A. Scharnhorst. 2021. Palm Foliage as Pathways of Pathogenic Botryosphaeriaceae Fungi and Host of New *Lasiodiplodia* Species from Mexico. *Pathogens* 10(10):1297.
- El-Ganainy, S. M., A. M. Ismail, Z. Iqbal, E. S. Elshewy, K. A. Alhudaib, M. I. Almaghasla, *et al.* 2022. Diversity among *Lasiodiplodia* Species Causing Dieback, Root Rot and Leaf Spot on Fruit Trees in Egypt, and a Description of *Lasiodiplodia newvalleyensis* sp. nov. *J. Fungi* 8(11):1203.
- Espargham, N., H. Mohammadi and D. A. Gramaje. 2020. A Survey of Trunk Disease Pathogens within Citrus Trees in Iran. *Plants* 9(6):754.
- Flores H., H. J. Flores G., S. E. Varela F., A. Pérez R., A. Azuara D. y A. Monteon O. 2021. Reporte de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon y Maubl. en árboles cítricos de Tamaulipas. *REMEXCA* 12(3):499–511.
- Glass, N. L. and G. C. Donaldson. 1995. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *App. Environ. Microbiol.* 61:1323–1330.
- Katoh, K., J. Rozewicki and K. D. Yamada. 2019. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Brief Bioinform* 20(4):1160–1166.
- Karani, S., J. Njuguna, S. Runo, A. Muchugi, J. Machua and P. Mwaniki. 2022. Molecular and morphological identification of fungi causing canker and *dieback diseases on Vangueria infausta* (Burch) subsp. *rotundata* (Robyns) and *Berchemia discolor* (Klotzsch) Hemsl in lower Eastern Kenya. *Afr. J. Biotechnol.* 21:6–15.
- Liu, Y. J., S. Whelen and B. D. Hall. 1999. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerase II subunit. *Mol. Biol. Evol.* 16(12):1799–1808.

- Liu, J. K., R. Phookamsak, M. Doilom, S. Wikee, Y. M. Li, H. Ariyawansa, *et al.* 2012. Towards a natural classification of Botryosphaerales. *Fungal Divers.* 57:149–210.
- Mayorquin, J. S., D. H. Wang, M. Twizeyimana and A. Eskalen. 2016. Identification, distribution, and pathogenicity of Diatrypaceae and Botryosphaeriaceae associated with citrus branch canker in the southern California desert. *Plant Dis.* 100(12):2402–2413.
- Mondragón-Flores, A., G. Rodríguez-Alvarado, N. Gómez-Dorantes, J. J. Guerra-Santos and S. P. Fernández-Pavía. 2021. Botryosphaeriaceae: una familia de hongos, compleja, diversa y cosmopolita. *REMEXCA* 12(4):643–654.
- Pereira B., J. D., P. W. Crous, D. Aiello, M. L. Gullino, G. Polizzi and V. Guarnaccia. 2021. Genetic Diversity and Pathogenicity of Botryosphaeriaceae Species Associated with Symptomatic Citrus Plants in Europe. *Plants* 10(3):492.
- Phillips, A. J. L., K. D. Hyde, A. Alves and J. K. Liu. 2019. Families in Botryosphaerales: A phylogenetic, morphological, and evolutionary perspective. *Fungal Divers.* 94(1):1–22.
- Polanco F., L. G., O. G. Alvarado G., O. Pérez G., R. González G. y E. Olivares S. 2019. Hongos asociados con la muerte regresiva de los cítricos en Nuevo León y Tamaulipas, México. *REMEXCA* 10(4):757–764.
- Rambaut A. 2012. FigTree v1.4.0. University of Oxford, Oxford, UK. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree>.
- Rathnayaka, A. R., K. W. T. Chethana, I. S. Manawasinghe, S. N. Wijesinghe, N. I. de Silva, D. S. Tennakoon, *et al.* 2023. *Lasiodiplodia*: Generic revision by providing molecular markers, geographical distribution and haplotype diversity. *Mycosphere* 14(1):1254–1339.

- Ronquist, F., M. Teslenko, P. van der Mark, D. L. Ayres, A. Darling, S. Höhna, *et al.* 2012. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Syst. Biol.* 61(3):539–542.
- Sáenz P., C. A., E. Osorio H., B. Estrada D., W. A. Poot P., A. Delgado M. and R. Rodríguez H. 2019. Principales enfermedades en cítricos. *REMEXCA* 10(7):1653–1665.
- Santillán M., R., S. P. Fernández P., K. O'Donnell, R. C. Ploetz, R. Ortega A., G. Vázquez M., *et al.* 2018. A novel disease of big-leaf mahogany caused by two *Fusarium* species in Mexico. *Plant Dis.* 102(10):1965–1972.
- Santillán M., R., H. Estrella M., L. Marín O., C. Matilde H., G. Rodríguez A., S. P. Fernández P., *et al.* 2024. Phylogenetic and Pathogenic Evidence Reveals Novel Host–Pathogen Interactions between Species of *Lasiodiplodia* and *Citrus latifolia* Dieback Disease in Southern Mexico. *J. Fungi* 10(7):484.
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2022. Avance de siembras y cosechas Resumen por Cultivo, 2021. [consultado el 15 de abril de 2024].
- Slippers, B., J. Roux, M. J. Wingfield, F. J. van der Walt, F. Jami, J. W. Meh, *et al.* 2014. Confronting the constraints of morphological taxonomy in the Botryosphaeriales. *Persoonia* 33:155–168.
- Staden, R., K. F. Beal and J. K. Bonfield. 1998. The Staden Package. *In:* Misener, S. and S. A. Krawetz (Eds), *Bioinformatics Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology*, pp 132. Humana Press, Totowa, NJ, USA.
- Stamatakis, A. 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* 30(9):1312–1313.

- Tamura, K., G. Stecher and S. Kumar. 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Mol. Biol. Evol.* 38(7):3022–3027.
- Tarnowski, T., A. J. Palmateer, I. Maguire and J. H. Crane. 2013. Florida Plant Disease Management Guide: 'Tahiti' Lime (*Citrus latifolia*). University of Florida. IFAS Extension, USA.
- Vaidya, G., D. J. Lohman and R. Meier. 2011. SequenceMatrix: concatenation software for the fast assembly of multi-gene datasets with character set and codon information. *Cladistics* 27:171–180.
- Valle P., M., D. Guillén S., A. R. Gijón H., I. Alía T., V. López M., P. Juárez L., *et al.* 2019. Especies de *Lasiodiplodia* en lima 'Persa' (*Citrus latifolia* Tanaka) en Morelos, México. *Rev Biocienc.* 6:e595.
- White, T. J., T. Bruns, S. Lee and T. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. P. 315-322. *In*: Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White (eds.). *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Academic Press, New York, NY, USA.
- Xiao, X. E., W. Wang, P. W. Crous, H. K. Wang, C. Jiao, F. Huang, *et al.* 2021. Species of Botryosphaeriaceae associated with citrus branch diseases in China. *Persoonia* 47:106–135.
- Zhang, W., J. Z. Groenewald, L. Lombard, R. K. Schumacher, A. J. L. Phillips and P. W. Crous. 2021. Evaluating species in Botryosphaeriales. *Persoonia* 46:63–115.

EFFECTO DEL ÁCIDO GLUTÁMICO EN LA GERMINACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp. Híbrido)

Montserrat Sorcia Morales⁹¹, Joaquín Maciel Alejandre⁹¹, Wendy Espinoza Sandoval⁹¹
y Tania Romero Figueiras⁹¹

Resumen

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es de gran importancia en el mundo debido a su capacidad para producir azúcar, así como por la cantidad de coproductos y subproductos que genera, lo convierte en un cultivo de alto impacto económico. Actualmente, México ocupa el octavo lugar mundial en la producción de caña de azúcar, lo que marca su importancia para la economía y el desarrollo social de las comunidades productoras. No obstante, es necesario implementar tecnologías que aumenten el rendimiento del cultivo. El ácido glutámico, un aminoácido clave en diversos procesos metabólicos de las plantas, actúa como uno de los principales sustratos para la formación de tejido y la síntesis de clorofila. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del ácido glutámico en la germinación de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido). Se utilizaron plantas de caña de azúcar de siete meses de edad, de las cuales se cortaron tallos de 8 cm con la yema en el centro. Estas se sembraron en bolsas de polipropileno y se administraron diferentes dosis de ácido glutámico (0, 0.5, 1 y 1.5 g/L). Las aplicaciones se realizaron 1 y 3 días después de la siembra. Se sembraron 25 yemas por tratamiento, y se evaluaron las variables de desarrollo 10 días después de la siembra. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Los resultados mostraron que las yemas con dosis de 1.5 g/L de ácido glutámico mostraron mayor desarrollo foliar, con un mayor número y longitud de hojas. Las yemas tratadas con dosis de 1g/L mostraron un mejor desarrollo radicular, con un mayor número de raíces por yema y longitud de la raíz. La aplicación de ácido glutámico tiene efecto durante la germinación de la caña de azúcar, lo que sugiere su potencial como bioestimulante. Sin embargo, se recomienda evaluar su efecto en otras etapas del desarrollo del cultivo.

Palabras clave: bioestimulante, raíz, desarrollo

⁹¹ Agricultura Sustentable y Protegida – Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. *Autor de correspondencia: Monserrat.sorcia@utcv.edu.mx

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo tropical y subtropical de propagación vegetativa que contribuye a aproximadamente el 80% de la producción mundial de azúcar y el 40% de los biocombustibles (Vandenberghe *et al.*, 2022). La productividad y la sostenibilidad de la caña de azúcar se ven afectadas por los cambios abióticos, al igual que otros cultivos, los diversos eventos climáticos extremos, como temperaturas y escasez de agua son factores limitantes para el rendimiento de la caña de azúcar, inhibiendo procesos fisiológicos y bioquímicos como el crecimiento, el desarrollo, la fotosíntesis y la respiración, lo que resulta en una pérdida de biomasa total y producción de jugo (Liang *et al.*, 2020; Christina *et al.*, 2021). Estos factores estresantes reducen la tasa de asimilación de carbono, mientras que la incapacidad de las plantas para absorber el exceso de luz conduce a una mayor acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que en consecuencia resulta en estrés oxidativo (Kumar *et al.*, 2023). Una alternativa son los bioestimulantes que pueden ser sintéticos o naturales, que están compuestos por sustancias como hormonas vegetales, macro y micronutrientes, aminoácidos, proteínas y microorganismos, por lo cual se pueden definir por su composición, modo de acción y su impacto en la planta (Yakhin *et al.*, 2017; López-Padrón *et al.*, 2021). La aplicación de bioestimulantes ricos en aminoácidos (AA), que sustituyan y/o complementen a los fertilizantes convencionales y ayuden a las plantas a adaptarse al cambio climático, para mejorar la producción y calidad de las cosechas, estos productos no nutricionales pueden reducir el uso de fertilizantes y mejorar la resistencia de las plantas al estrés (Quintero *et al.*, 2018; Alfosea-Simón *et al.*, 2021). El ácido glutámico, es de los aminoácidos más utilizados en la formulación de productos bioestimulantes, es importante en el metabolismo del nitrógeno, ya que interviene en la asimilación de nitrógeno en las plantas y es precursor de otros aminoácidos como el ácido aspártico, la serina, la alanina, la lisina y la prolina (Colla *et al.*, 2015; Alfosea-Simón *et al.*, 2021). Por lo antes se tiene como objetivo evaluar el efecto del ácido glutámico en la germinación de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido).

Materiales y métodos

Área de estudio. El proyecto se realizó en el área experimental del programa educativo de Agricultura Sustentable y Protegida de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Campus Cuitláhuac, localizado en las coordenadas 18°47'43" Norte, 96°42'13" oeste.

Efecto del ácido glutámico durante la germinación y enraizamiento de la caña de azúcar

Para el establecimiento del cultivo, se utilizaron plantas de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) de siete meses de edad. Se cortando tallos de 8 cm de longitud con la yema en el centro, los cuales se sembraron en bolsas de polipropileno de color negro, con medidas de 30 x 15 cm, cada una contenía 1.5 kg suelo franco limoso. El suelo fue extraído del campo experimental de la institución, con riego cada tercer día. La evaluación del desarrollo de los brotes y enraizamiento se llevó a cabo durante los meses de mayo-junio de 2024.

Se administraron diferentes concentraciones de ácido glutámico (Metabolic, intrakam, Saltillo, Coah, Mex.) (0 g/L, 0.5 g/L, 1 g/L, 1.5 g/L). La aplicación del ácido glutámico se realizó a los 1 y 3 días después de la siembra. Se sembraron 25 yemas por tratamiento, las variables de desarrollo se evaluaron 10 días después de la siembra. Se realizó un riego profundo cada tercer día.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el software estadístico IBM SPSS® (Versión. 22 para Windows).

Resultados y discusión

Efecto de ácido glutámico en el desarrollo de brotes

La administración de diferentes concentraciones de ácido glutámico tuvo un efecto sobre el porcentaje de germinación, longitud del tallo, grosor del tallo, número de hojas, longitud de

hojas, número de raíces y longitud de raíz. Se mostró diferencia significativa entre los tratamientos. La mayor longitud de tallo la tuvo la dosis de 1.5 g/L, con 14.36 cm, mientras que la menor longitud la tuvo las concentraciones 0 g/L y 0.5 g/L con 8.0 cm y 8.4 cm respectivamente (Figura 1a). El grosor del tallo fue mayor en la dosis 1.5 g/L con 0.8 cm, mientras que, la dosis de 0 g/L, tuvo el menor diámetro con 0.53 cm (Figura 1b). El mayor número de hojas se obtuvo en la dosis de 1.5 g/L con 5 hojas, mientras que, el menor número de hojas la tuvo la dosis 0 g/L con cero hojas (Figura 1c). La longitud de la hoja fue mayor en la dosis de 1.5 g/L con 42.16 cm de largo, mientras que, la menor longitud de la hoja la tiene la dosis 0 g/L con 0 cm (Figura 1d). Respecto al número de raíces, la dosis con mayor número de raíces es 1.0 g/L con 68.3 raíces por planta, mientras que, la dosis 1.5 g/L tuvo la menor cantidad con 39 raíces por planta (Figura 1e). Para la variable longitud de raíz, la dosis con mayor longitud de raíz fue con 1.0 g/L con 18.47 cm, mientras que, la menor longitud de la raíz, la obtuvo la dosis 0.5 g/L con 9.78 cm (Figura 1f). En la Figura 2 se observa el efecto del ácido glutámico en el área foliar, mientras que, en la Figura 3 se observa el efecto en el desarrollo radicular.

La aplicación de ácido glutámico mostró efectos sobre la germinación de yemas de caña de azúcar en sus diferentes concentraciones, favoreciendo el desarrollo radicular y foliar, la germinación de las semillas es un paso clave en el ciclo de vida de las plantas, que es base importante para la propagación exitosa de las plantas. Walch-Liu *et al.*, (2006a) reportaron que el L-glutamato aplicado exógenamente a las raíces de *Arabidopsis*, inhibe el crecimiento de la raíz primaria y estimula la ramificación de la raíz en la región apical de la raíz primaria. El aumento en la ramificación de las raíces tiene el efecto de aumentar la densidad de las raíces dentro de la zona que contiene L-Glu, lo que lleva a la sugerencia de que podría ser una forma de mejorar la eficiencia de la exploración del suelo (Walch-Liu *et al.*, 2006b). Suk-Heung, (2003) reportó que, en arroz integral, la germinación se vió favorecida a bajas concentraciones, mientras que, a concentraciones altas la germinación se inhibió.

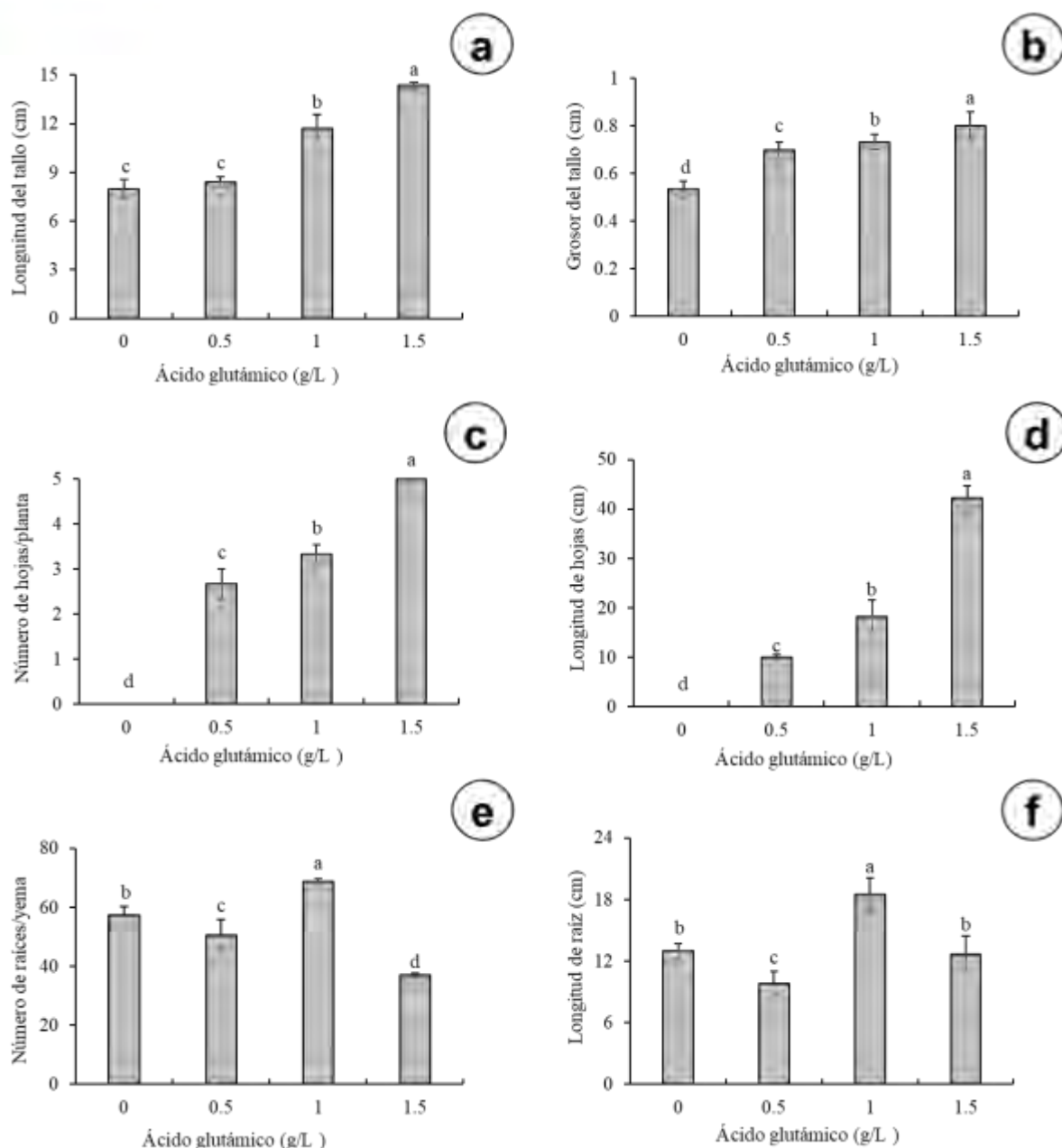


Figura 1. Efecto del ácido glutámico en el desarrollo de brotes de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido), a) longitud del tallo, b) grosor del tallo, c) número de hojas, d) Longitud de hoja, d) longitud de la hoja, e) número de raíces, f) longitud de la raíz a los 10 días después de la siembra. Los valores representan la media $\pm$ ES (error estándar). Medias con diferente letra, son significativamente diferentes Tukey, $p \leq 0.05$).

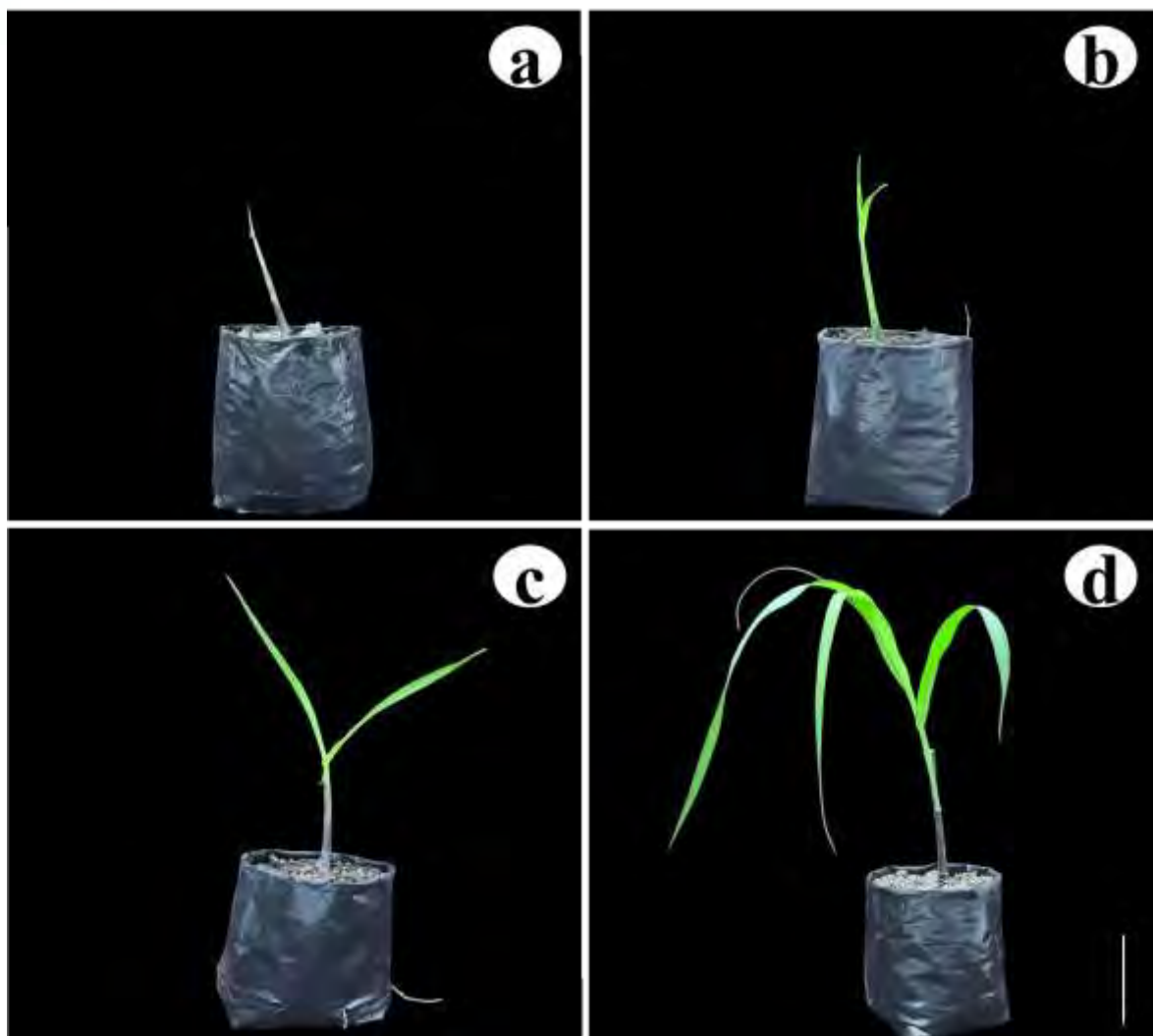


Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones del ácido glutámico en el desarrollo de brotes de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) a los 10 días después de la siembra; a-d) 0, 0.5, 1.0, 1.5 g/L de, ácido glutámico respectivamente. Barra = 10 cm.

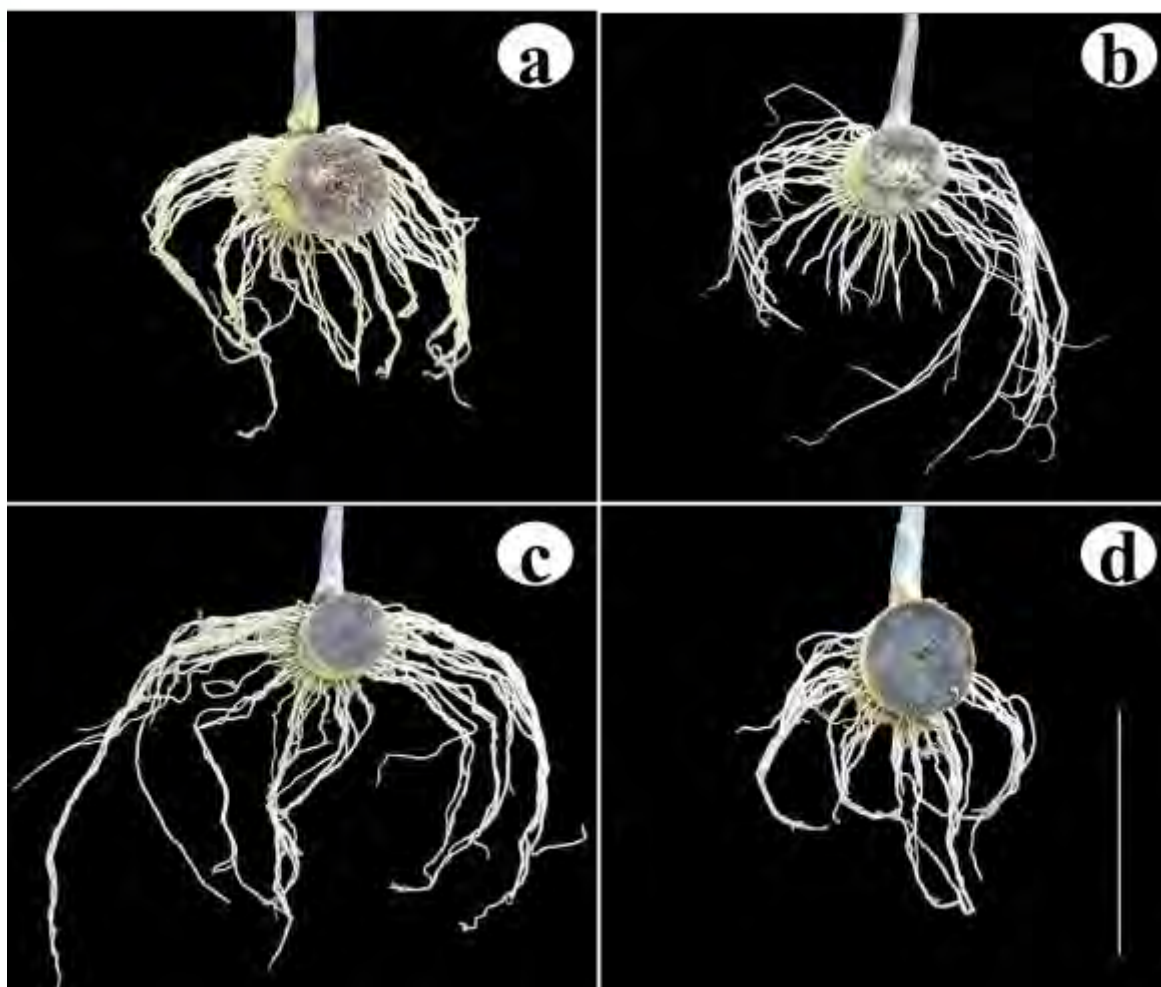


Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones del ácido glutámico en el desarrollo de raíces de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a los 10 días después de la siembra; a-d) 0, 0.5, 1.0, 1.5 g/L de ácido glutámico respectivamente. Barra = 10 cm.

El ácido glutámico o glutamato es propulsor de aminoácidos como prolina y arginina, así como de GABA, (Forde y Lea, 2007), esto puede ser la razón por la que su aplicación tuvo efecto en la germinación de yemas de caña de azúcar, ya que aminoácidos como la prolina y su derivado la hidroxiprolina, también son constituyentes importantes de las proteínas de la pared celular, como las extensinas. Estos polipéptidos tienen capacidad de entrecruzamiento como componentes de la pared celular y están regulados por señales ambientales y de desarrollo (Okumoto *et al.*, 2016), además que, el glutamato es el precursor de la síntesis de clorofila en las hojas en desarrollo (Yaronskaya *et al.*, 2006). La arginina, desempeña un papel metabólico

clave en la maduración y germinación de las semillas, el transporte del floema y la xilema (Forde y Walch-Liu, 2009). Se ha reportado que sus efectos incluyen la germinación de semillas, el establecimiento de plántulas, el crecimiento de las plantas, el desarrollo, la senescencia e incluso la respuesta y adaptación al estrés ambiental, como la sal, el frío, el calor, la sequía, las heridas y el estrés por patógenos (Qiu *et al.*, 2020).

Conclusiones

La aplicación de ácido glutámico en bajas concentraciones ha demostrado efectos positivos en el desarrollo de las yemas de la caña de azúcar, favoreciendo tanto el crecimiento radicular como el incremento del área foliar en comparación con el control. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales para evaluar el efecto del ácido glutámico en las siguientes etapas de desarrollo de la caña de azúcar, así como su respuesta frente a condiciones de estrés.

Literatura citada

- Alfosea-Simón, M., Simón-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E. A., Cámara-Zapata, J. M., Simón, I., Martínez-Nicolás, et al. 2021. Physiological, nutritional and metabolomic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids aspartic acid, glutamic acid and alanine. *Frontiers in plant science*, 11:581234.
- Christina, M., Jones, M. R., Versini, A., Mézino, M., Le Mezo, L., Auzoux, S., *et al.* 2021. Impact of climate variability and extreme rainfall events on sugarcane yield gap in a tropical Island. *Field Crops Research*, 274:108326.
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., et al. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* 196:28–38.

- Forde, B. G., & Lea, P. J. 2007. Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. *Journal of experimental botany*, 58(9):2339-2358.
- Forde, BG y Walch-Liu, PIA 2009. Nitrato y glutamato como señales ambientales para respuestas de comportamiento en las raíces de las plantas. *Planta, célula y medio ambiente*, 32 (6):682-693.
- Kumar, R., Sagar, V., Verma, V. C., Kumari, M., Gujjar, R. S., Goswami, S. K., *et al.* 2023. Drought and salinity stresses induced physio-biochemical changes in sugarcane: an overview of tolerance mechanism and mitigating approaches. *Frontiers in Plant Science*, 14:1225234.
- Liang, Y., Yu, S., Zhen, Z., Zhao, Y., Deng, J., & Jiang, W. 2020. Climatic change impacts on Chinese sugarcane planting: Benefits and risks. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 116:102856.
- López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2021). Uso de bioestimulantes en el cultivo del garbanzo. *Cultivos Tropicales*, 42(4).
- Okumoto, S., Funck, D., Trovato, M., y Forlani, G. 2016. Amino acids of the glutamate family: Functions beyond primary metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 7:191113.
- Price, M. B., Jelesko, J., y Okumoto, S. 2012. Glutamate receptor homologs in plants: functions and evolutionary origins. *Frontiers in Plant Science*, 3:235.
- Qiu, X. M., Sun, Y. Y., Ye, X. Y., & Li, Z. G. 2020. Signaling role of glutamate in plants. *Frontiers in plant science*, 10:1743.

- Quintero Rodríguez, E., Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., y Enríquez Gómez, L. 2018. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3): 73-80.
- Suk-Heung, Oh, 2003. Stimulation of γ -aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. *BMB Reports*, 36(3):319-325p.
- Vandenberghe, L. P. S., Valladares-Diestra, K. K., Bittencourt, G. A., Torres, L. Z., Vieira, S., Karp, S. G., *et al.* 2022. Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167:112721.
- Walch-Liu, P. I. A., Ivanov, I. I., Filleur, S., Gan, Y., Remans, T., y Forde, B. G. 2006b. Nitrogen regulation of root branching. *Annals of botany*, 97(5): 875-881p.
- Walch-Liu, P., Liu, L. H., Remans, T., Tester, M., y Forde, B. G. 2006a. Evidence that L-glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, 47(8):1045-1057p.

DIAGNÓSTICO TÉCNICO, PRODUCTIVO Y DE MERCADO DE LA NARANJA EN COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR

Venancio Cuevas Reyes⁹², Jaime Rangel Quintos^{92*}, Sergio Alberto Curti Díaz⁹²
y José Joaquín Velázquez Monreal⁹²

Resumen

La producción de naranja (*Citrus sinensis*) en México está concentrada en un 80% en los estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí y Puebla. En estados de la república como Baja California Sur, la producción de naranja es emergente con alto potencial de producción. Sin embargo, a la fecha se cuenta con escasos estudios donde se describan las características técnico productivas de este cultivo en esta zona del país. El objetivo de la investigación es presentar la problemática técnica-productiva y de mercado en la producción de naranja en Comondú, Baja California Sur. Se realizó un estudio de caso a través de un muestreo dirigido y se aplicó un cuestionario a 17 productores, la muestra corresponde a productores que reciben asesoría por parte de SENASICA estatal y se obtuvo con el apoyo de un técnico en campo. Para el análisis de la información se utilizó el análisis clúster, con lo que se identificaron tres grupos de productores (C1, C2 y C3) los cuales fueron caracterizados por estadística descriptiva. El grupo C1 tuvo un menor uso de tecnologías y mayores problemáticas técnicas, además de ser el grupo que recibe menos asesoría técnica. El grupo C3 se caracterizó por utilizar más tecnologías, mientras que el grupo C2 se ubicó en un nivel de transición, con rendimientos parecidos al C3, pero con mayores problemas de financiamiento. La problemática técnica está asociada a la presencia de plagas y falta de planta certificada; la dependencia de agroquímicos para el control de enfermedades. La problemática de mercado es la variación de precios de la naranja. Los productores indicaron como principales necesidades de capacitación el control de plagas y fertilización. Se concluye que de acuerdo a la problemática técnica y de mercado se requiere una mayor capacitación en control de enfermedades y fertilización, así como también incluir estrategias que permitan mejorar los precios del producto.

Palabras clave: cítricos, análisis clúster, tipología de productores

⁹² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia: rangel.jaime@inifap.gob.mx

Introducción

El estado de Veracruz es el principal productor de naranja con 51.6% de la producción nacional, seguido Tamaulipas (16%), Puebla (6.9%), San Luis Potosí (6.7%) y Nuevo León (4%); mientras que el estado de Baja California Sur (BCS), en el año 2022, se ubicó en el décimo lugar en la producción de este cítrico con una aportación del 1.2% de la producción nacional de este año (SIAP, 2023). El Valle de Santo Domingo, municipio de Comondú, al centro de BCS, se destaca por la producción de cítricos, principalmente la naranja, la cual ronda en las 45 mil toneladas anuales; en una superficie superior a las 4 mil hectáreas potenciales. Una parte de la producción de naranja del Valle de Santo Domingo se comercializa en el corredor turístico La Paz - Los Cabos, otra en los mercados de la Ciudad de México, Guadalajara y, una más, en el mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (SEDAPA, 2022).

En Baja California Sur, la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y caza representan únicamente el 3.03% del PIB estatal (INEGI, 2018). Las actividades productivas en este territorio se han realizado con niveles de intensificación muy altos, lo que ha generado deterioro en el ambiente, especialmente en la disponibilidad y calidad del recurso agua aumentando su salinidad (Márquez, 2017). Si bien, la naranja es una fruta subtropical, las condiciones agroclimáticas del centro de Baja California Sur tienen ciertas ventajas, como el hecho de que el naranjo no tolera temperaturas inferiores a -3°C ; por el contrario, requiere temperaturas cálidas en verano y precipitaciones cercanas a los 1200 mm al año. Esta región de BCS ofrece condiciones favorables al recibir una de las tasas más altas de erradicación solar en el mundo, además de suelos permeables y poco calizos garantizando una buena aireación y paso del agua. No obstante, la mayor desventaja la representa la salinidad del suelo y agua de riego (Ochoa *et al.*, 2007), por lo que hay una disminución en la productividad entre el 10 al 25% de naranja, por lo que se deben seleccionar variedades halófilas. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo presentar la problemática técnica-productiva y de mercado en la producción de naranja en el Valle de Santo Domingo, Baja California Sur.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Comondú, el cual se ubica entre los paralelos 24° 18' y 26° 36' de Latitud Norte y los meridianos 110° 52' y 112° 49' de Longitud Oeste; altitud entre 0 y 1 000 m. Ocupa el 21.2% de la superficie del estado y presenta un rango de temperatura de entre 16 - 24°C, precipitación de 0 a 500 mm, un clima considerado de acuerdo a la clasificación Köppen es BWh(x') es decir, muy seco, muy cálido y cálido (INEGI, 2010).

Técnicas de recolección de la información y selección de la muestra

Se elaboró y aplicó un cuestionario en tres secciones: la primera relacionada con las características sociales del productor (edad, escolaridad, número de miembros totales en su familia, principal actividad productiva y tipo de tenencia de la tierra). La segunda relacionada con la producción y problemática técnico productivo (superficie agrícola, superficie plantada con naranjo, árboles por hectárea, edad de la plantación, rendimientos y épocas de cosecha, tipos de porta injertos utilizados, uso de innovaciones y tipo de plagas enfermedades y manejo de arvenses, así como principales problemas). Finalmente, la sección tres, estuvo relacionada con aspectos de comercialización y mercado de la naranja (a quien vende, precio, como vende la producción, destino, tipos de apoyos con los que cuenta y problemática de venta). Para seleccionar la muestra se utilizó muestreo no probabilístico (Hernández, 2021). Se entrevistó a 17 productores en noviembre de 2023, a través de un estudio de caso. La muestra corresponde a productores que reciben asesoría por parte de SENASICA estatal y se obtuvo con el apoyo de un técnico en campo.

Variables analizadas

Para realizar el análisis clúster se seleccionaron ocho variables cuantitativas relacionadas con los aspectos sociales del productor, recursos y rendimiento agrícolas (Cuadro 1), las cuales de acuerdo con la literatura influyen en la adopción de tecnología (Feder *et al.*, 1985).

Cuadro 1. Variables utilizadas para el análisis clúster.

Variables	Unidades	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Edad	años	48.2	29	76	12.2
Escolaridad	años	4.1	2	5	0.8
Miembros de familia	N	4.5	2	9	1.6
Superficie total	ha	55.6	10	100	29.8
Superficie de naranja	ha	46.2	10	100	26.9
Árboles plantados	ha	293.0	156	312	51.1
Edad de la plantación	años	24.9	5	32	24.9
Rendimiento	t/ha	23.6	3	35	23.6

Fuente: Elaboración propia. (n=17).

Análisis de la información

Para la identificación y caracterización de los grupos se siguió a Cuevas *et al.* (2024). El criterio de agrupación fue el método de vinculación de Ward y la medida de asociación fue la distancia euclídea al cuadrado. La estandarización de las variables se realizó mediante la puntuación Z en el “programa estadístico IBM SPSS Statistics”. Posteriormente fue elaborado el dendrograma y realizada la caracterización de las tipologías. La descripción de los grupos fue realizada mediante estadística descriptiva. El análisis de los indicadores de las tecnologías de adaptación a la sequía se realizó mediante análisis de frecuencia. Los análisis fueron realizados con el software SPSS 27.0 para Windows.

Resultados y discusión

Tipología de las Unidades de Producción

El análisis clúster permitió clasificar a los productores en tres grupos o clústeres: el Clúster1 (C1, n=9) constituye el 56% de unidades de producción (UP), el Clúster2 (C2, n=2) representa el 9%, mientras que el Clúster3 (C3, n= 6) fue el 35% del total de la muestra (Figura 1).

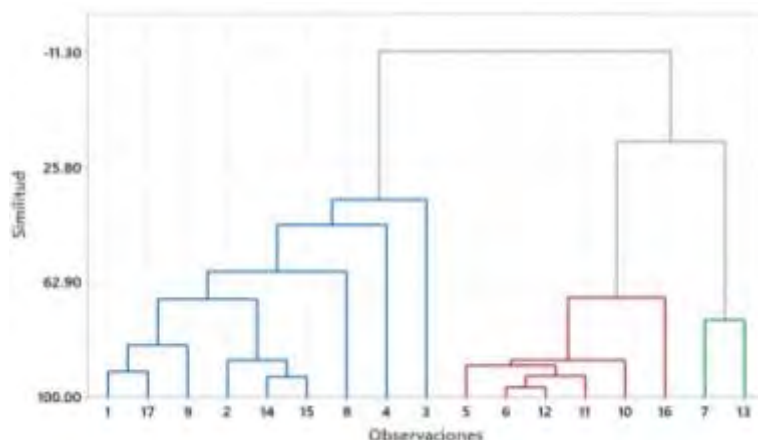


Figura 1. Dendrograma de las tipologías de Unidades de Producción de naranja.

Características sociales y tenencia de la tierra

Los productores son menores de 53 años en los tres grupos identificados, lo que puede favorecer a que sean más receptivos al uso de nuevas innovaciones tecnológicas y temas de capacitación. En general, se observa que varios integrantes dependen económicamente del jefe de familia: 5.0 ± 1.7 para el C1, 4.0 ± 1.4 para el C2 y 6.0 ± 3.5 para el C3 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Edad y número de hijos de los grupos de productores (media $\pm$ de).

Clúster	Edad (años)	Hijos totales (#)
C1	53.3 ± 16.6	5.0 ± 1.7
C2	50.0 ± 21.2	4.0 ± 1.4
C3	41.8 ± 6.9	6.0 ± 3.5

Fuente: elaboración propia.

El C1 tiene 66.7% de responsables en las UP a hombres y 33.3% a mujeres, el C2 y C3 tienen solo a hombres como responsables. El C1 es el que tiene una mayor diversidad en el nivel de escolaridad, pues se cuenta con estudios a nivel secundaria (12.5%), preparatoria (25%), universidad (25%) y estudios de maestría o diplomados (37.5%). En contraste, los productores del C2 y C3 cuentan con estudios a nivel universidad o superiores. Los productores del C1 tienen otras actividades productivas (cultivos agrícolas y ganadería), en comparación con los productores del C2 y C3, que se dedican solo a la producción de cítricos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables sociales y económicas en los grupos de productores (%).

Clúster	Género		Escolaridad			Otra actividad		
	Masculino	Femenino	Secundaria	Preparatoria	Universidad	Otro	Cítricos	Otra
C1	66.7	33.3	12.5	25.0	25.0	37.5	55.6	44.4
C2	100	0	0	0	50.0	50.0	100	0
C3	100	0	0	0	80.0	20.0	100	0

Fuente: elaboración propia.

El 88.9% de productores del C1 tienen propiedad privada, 11.1% tiene su superficie prestada y 12.5% en asociación con otros productores. En el C2, 50% tiene propiedad privada y 50% en asociación, en tanto que todos los productores del C3 tienen propiedad privada de la tierra. Los tres grupos de productores se cuentan con una topografía plana de la tierra.

Disponibilidad de tierra y variables productivas de la naranja

La superficie agrícola total es de 45.4 ± 33.7 ha, 43.5 ± 23.3 y 75.0 ± 15.1 hectáreas para el C1, C2 y C3, respectivamente. El C1 cuenta con una superficie de riego de 27.6 ± 14.9 ha, aproximadamente el 60% del total. Mientras los otros dos clústeres el 100% de su superficie es de riego (Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie agrícola total y superficie con riego (media $\pm$ de).

Clúster	Superficie total (ha)	Superficie bajo riego (ha)
C1	45.4 ± 33.7	27.6 ± 14.9
C2	43.5 ± 23.3	43.5 ± 23.3
C3	75.0 ± 15.1	75.0 ± 15.1

Fuente: elaboración propia.

La densidad de planta por hectárea va de 156 árboles/ha para C2, mientras que C1 y C3 tienen 312 árboles/ha. La edad de las plantaciones es semejante entre el C1 y C3 (24.5 ± 7.8 y 23.0 ± 7.4 años, respectivamente), en tanto que el C3 tiene plantaciones de naranjo con 32 años en promedio. Respecto a los rendimientos reportados por los productores, estos fueron similares entre el C2 y C3 (31.5 ± 4.9 y 30.5 ± 3.5 t/ha para el C2 y C3, respectivamente), en

tanto el C1 tiene rendimientos promedio de 17.2 ± 7.9 t/ha (Cuadro 5). El 100% de los tres grupos utilizan la variedad Valencia.

Cuadro 5. Variables relacionadas con la producción de naranja (media $\pm$ de).

Clúster	Superficie total (ha)	Árboles/ha	Edad de plantación (años)	Rendimiento (t/ha)
C1	27.6 ± 14.9	312.0 ± 0	24.5 ± 7.8	17.2 ± 7.9
C2	43.5 ± 23.3	156.0 ± 0	32.0 ± 0	31.5 ± 4.9
C3	75.0 ± 15.1	312.0 ± 0	23.0 ± 7.4	30.5 ± 3.5

Fuente: elaboración propia.

Portainjertos

El C1 señaló utiliza el portainjerto Volkameriana (44.4%), 11.1% utiliza naranjo agrio y el 44.4% de productores restantes usan ambos portainjertos. El total de productores del C2 utiliza ambos tipos y, finalmente, 16.7% del C3 utiliza Volkameriana y el 83.3% restante usa ambos portainjertos (Cuadro 6). El origen del material vegetativo proviene de viveros privados en la región. El 25% de productores del C1, 50% del C2 y 33.3% del C3 señalaron comprar planta en viveros públicos del gobierno.

Cuadro 6. Tipo de portainjerto utilizado (%).

Clúster	Limón Volkameriana	Naranjo Agrio	Limón Volkameriana y Naranjo Agrio
C1	44.4	11.1	44.4
C2	0	0	100
C3	16.7	0	83.3

Fuente: elaboración propia.

Nutrición y fertilización

La fertilización de los cítricos con macro nutrientes se realiza con aplicaciones al suelo, pero cuando las plantas están con algún grado de deficiencia se utilizan fertilizantes de respuesta

rápida (Alayón *et al.*, 2014). La nutrición foliar dentro de los programas de fertilización promueve una mayor productividad debido a la mayor eficiencia en el uso del fertilizante (Hossain y Ryu, 2009). En este sentido, en los tres grupos de productores usan fertilizantes granulados y líquidos: 100% del C2, 77.8% del C1 y 50%. La fertilización orgánica se realiza en los grupos C1 (22.2%) y C3 (33.3%). Con relación a los nutrimentos, el nitrógeno es el mayormente utilizado, el 55.6% del C1, 50% del C2 y 66.7% del C3 lo utilizan. En segundo lugar, se mencionó la aplicación conjunta de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P₂O₅ y K₂O): 22.2%, 50% y 16.7% para el C1, C2 y C3, respectivamente. El 11.1% del C1 mencionó que utiliza urea y otro 11.1% del C1 y 16.7% del C3 no mencionaron la fuente de fertilizante utilizado (Cuadro 7).

Cuadro 7. Fuente de fertilizante y nutrimento que aplican (%).

Clúster	Nitrógeno		NPK (no definida)
	Urea	No definida	
C1	11.1	55.6	22.2
C2	0	50	50
C3	0	66.7	16.7

Fuente: elaboración propia.

Manejo de arvenses

Las prácticas más comunes son: el chapeo en las calles (manual, con desbrozadora o chapeadora mecánica) y el control químico en hileras, el método combinado lo utiliza, el 88.9% del C1, el 100% del C2 y el 83.3% de C3. El control mecánico solo lo realiza el 11.1% del C1 y el 16.7% del C3. Cabe señalar que el total de productores entrevistados de cada grupo señalaron realizar rotación de herbicidas para el manejo de las malezas.

Plagas y enfermedades

La principal plaga fue la *Diaphorina citri Kuwayana*: 88.9% de C1 y el 100% del C2 y C3 la mencionaron, en segundo lugar, se presenta la mosca blanca (*Aleurothrixus floccosus*): 66.7% del C1 y 100% del C2 y C3, respectivamente. En tercer lugar, se mencionó la presencia de escama de nieve (*Unaspis citri*): 44.4% del C1 y 50% del C2 y C3. Finalmente, con los mismos

porcentajes de la escama de nieve se presentó la presencia de ácaros como plaga relevante en la producción de naranja en Comondú (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tipo de plagas presentes en la producción de naranja (%).

Clúster	Mosca blanca	Diaforina	Escama de nieve	Ácaros
C1	66.7	88.9	44.4	44.5
C2	100	100	50	50
C3	100	100	50	50

Fuente: elaboración propia.

El método de manejo de las plagas es mecánico y químico (77.8%, 50% y 50% para el C1, C2 y C3, respectivamente). En segundo lugar, es un control mediante métodos químicos y 16.7% de los productores del C3 mencionaron realizar un manejo combinado y biológico.

El total de productores señaló contar en su huerta con la enfermedad de Huanglongbing (HLB) (*Candidatus Liberibacter* spp.), la cual se considera una de las enfermedades más devastadoras de los cítricos a nivel mundial por su rápida diseminación, ya que disminuye los rendimientos del cultivo y ocasiona la muerte del árbol (Wang *et al.*, 2017). En segundo lugar (55.6%, 100% y 83.3% para el C1, C2 y C3, respectivamente) se señaló a la enfermedad de la gomosis (*Phytophthora* spp) y la antracnosis (*Colletotrichum* spp). También se identificó la presencia del Virus Tristeza de los Cítricos (VTC) que es una enfermedad transmitida por áfidos, entre los cuales destaca el pulgón café (*Toxoptera citricida*) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Tipo de enfermedades presentes en la producción de naranja (%).

Clúster	VTC	Antracnosis	Gomosis	Muerte de arboles
C1	0	55.6	55.6	11.1
C2	0	100	100	0
C3	16.7	83.3	83.3	33.3

Fuente: elaboración propia.

El método de manejo de estas enfermedades es principalmente combinado (químico y mecánico este último principalmente para el manejo de Gomosis), 77.8% del C1, y 100% en los grupos C2 y C3. Solo 22.2% del C1 mencionó que utilizaba control químico.

Podas

Las podas permiten mejorar la estructura del árbol, la correcta forma, tamaño y volumen del árbol favorece la producción de cosechas más abundantes, equilibradas en su reparto en el árbol y regulares con los años; además, facilita su protección y recolección, reduciendo costos y mejorando su rentabilidad (Alia et al., 2011). El 100% de los productores del C3 realiza esta práctica, en el C2 solo la realiza el 50% y en el C1 es aún menor el porcentaje que la lleva a cabo (solo 44.4%). Es importante hacer notar que el 55.6% de los productores del C1 desinfecta las herramientas con las cuales realiza las podas, en el C2 el porcentaje es de 50% y en el C3 de 83.3%. Un gran porcentaje de los productores de los tres grupos queman los residuos de las podas realizadas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Uso de tecnologías en la poda de árboles (%).

Clúster	Realiza podas	Desinfecta herramientas	Quema los residuos
C1	44.4	55.6	77.8
C2	50	50	100
C3	100	83.3	83.3

Fuente: elaboración propia.

Cosecha

La cosecha se realiza entre los meses de abril, mayo y junio (Cuadro 11). El 100% de los productores del C3 y C2 clasifica su fruta con base a su calidad; en contraste, en el C1 solo 44.4% señalaron que realizan esta actividad. Los grupos C1 y C2 perciben que el nivel de rendimientos obtenidos en el último año es igual respecto a años anteriores 75% del C1 y 100% del C2. En contraste, el 50% del C3 mencionó que fue mejor. Solo 25% del C1 y 16.7% del C3 mencionaron que fueron rendimientos peores.

Cuadro 11. Meses de cosecha de la naranja (%).

Clúster	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
C1	11.1		33.3	66.7	88.9	88.9	44.4	11.1				11.1
C2	0		50.0	100	100	100	50.0	0				0
C3	0		33.3	66.7	100	83.3	50.0	0				0

Fuente: elaboración propia. Nota: los porcentajes señalan que un mismo productor o grupo puede tener cosechas de dos o tres meses.

Uso de innovaciones y prácticas tecnológicas

El uso de bitácora se realiza solo en el C1 y C2. El uso de análisis de suelo es realizado por el 25% del C1, 50% del C2 y 33.3% del C3. El 22.2% de productores del C1 y 33.3% del C3 mencionaron que han incursionado en el manejo orgánico. Por otro lado, el servicio de asistencia técnica es utilizado en el 100% del C2, 67.7% del C3, en el C1 solo fue del 33.3% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Innovaciones tecnológicas implementadas (% de uso).

Clúster	Uso de bitácora	Realiza análisis de suelo	Manejo orgánico	Cuenta con asistencia técnica
C1	44.4	25.0	22.2	33.3
C2	50.0	50.0	0	100
C3	0	33.3	33.3	66.7

Fuente: elaboración propia.

Problemática técnica de la producción de naranja

El principal problema señalado por dos grupos fue la falta de planta certificada (44.4% y 50% para el C1 y C2, respectivamente). Para el C3, quienes son los productores con mayor superficie plantada de naranjo, fue el control de las plagas, le siguen la necesidad de la nutrición y fertilización (11% del C1 y 59% del C2), alto costo del fertilizante (16.7%), la planta es cara (16.7%) y solo un 11.1% del C1 reconoció como problema los efectos del HLB (Cuadro 13).

Cuadro 13. Principales problemas técnicos (%).

Clúster	Falta de planta certificada	Plagas	Nutrición	Alto costo del fertilizante	Efectos del HLB	Planta es cara
C1	44.4	33.3	11.0	0	11.1	0
C2	50	0	50.0	0	0	0
C3	16.7	50.1	0	16.7	0	16.7

Fuente: elaboración propia.

Caracterización económica y de mercado de la naranja

Se identificaron tres tipos de compradores de naranja; empresa de jugos, acopiador y venta de la huerta. Un alto porcentaje vende en la huerta (77.8% del C1, 100% del C2 y 66.6% del C3). Al acopiador local y a la empresa de jugo solo vende el 11.1% del C2 y 16.7% del C3 (Cuadro 14). El 94.1% de los productores venden su producción por tonelada, solo 5.9% (un productor del C1 mencionó que vendía por rejas de 30 kg. El precio por tonelada por grupo fue el siguiente: el C1 tiene un precio de \$9,714.3±1,253.6; el C2 11,500.0±707.1 y finalmente, el C3 tiene un precio promedio de \$10,333.3±1,146.4 por tonelada de naranja. El 66.7% de los productores del C3 mencionaron contar con un contrato de compra venta, mientras que para el 22.2% y 50% del C1 y C2 respectivamente también tienen contrato de compra venta.

Cuadro 14. A quien vende la naranja (%).

Clúster	Juguera	Acopiador	Vende la huerta
C1	11.1	11.1	77.8
C2	0	0	100
C3	16.7	16.7	66.6

Fuente: elaboración propia.

Respecto al destino de la producción, solo el C1 tiene diversificada la comercialización de la naranja (55.5% vende en la misma localidad; 22.2% en el estado y 22.3% fuera del estado), el C2 y el C3 venden 50% en el estado y 50% fuera del estado. La percepción de los productores respecto al volumen vendido de naranja respecto al año anterior es que se vendía la misma cantidad (77.8% del C1, 100% del C2 y 83.3% del C3).

Entorno económico e institucional

Los productores tienen poco apoyo para el otorgamiento de crédito o financiamiento para su actividad productiva, solo 11.1% del C1 señaló haber obtenido alguno, 50% del C2 y 33.3% del C3. El apoyo que llegan a obtener es a través de los proveedores de insumos, ya que el 50% del C3, 100% del C2 y 55.6% del C1 mencionaron que le ofrecen compras a crédito. Otro apoyo que llegan a obtener es el recibir asistencia técnica, aunque el porcentaje de productores que mencionaron que obtenían este apoyo es apenas del 11.1% para el C1 y de 16.7% del C3 (Cuadro 15). El apoyo institucional que reciben los productores solo proviene del Comité Estatal de Sanidad Vegetal 88.9% para el C1 y 100% para el C2 y C3, y un 11.1% de productores del C1 señaló tener apoyo del Gobierno del Estado.

Cuadro 15. Apoyo de proveedores de insumos (%).

Clúster	Asistencia técnica	Compras a crédito	Ningún apoyo
C1	11.1	55.6	33.3
C2	0	100	0
C3	16.7	50.0	33.3

Fuente: elaboración propia.

Problemática de mercado y comercialización

El principal problema fue la variación de precios de la naranja (44.4% del C1, 50% del C2 y 66.7% del C3), en segundo lugar, señalaron tener problemas con empaque para la naranja (11.1% del C1 y 50% del C2), ya que el producto se comercializa a centrales de abasto de Guadalajara y en La Paz, BCS, también mencionaron tener problemas con el comprador (16.7% del C3) y caída del fruto (11.1% de productores del C1) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Principales problemas de mercado (%).

Clúster	Variación de precio	Empaque	Caída de fruto	Problemas con comprador	No tiene
C1	44.4	11.1	11.1	0	33.4
C2	50.0	50.0	0	0	0
C3	66.6	0	0	16.7	16.7

Fuente: elaboración propia.

Temas de capacitación demandados por los productores

Los principales temas de capacitación que demandan los productores de naranja de Comondú son: cursos sobre el manejo plagas y enfermedades, comercialización de fruta, fertilización y nutrición y, finalmente, producción de planta y viveros (Cuadro 17).

Cuadro 17. Temas de capacitación relevantes (%).

Clúster	Fertilización y nutrición	Plagas y enfermedades	Comercialización de la fruta	Producción de planta y viveros
C1	33.3	44.4	0	22.2
C2	0	0	100	0
C3	16.7	50.0	33.3	0

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La producción de naranja en Comondú se realiza bajo la modalidad de riego. El total de los tres tipos de productores entrevistados señalo que la principal problemática en la parte técnica productiva fue la presencia de Huanglongbing (HLB), la presencia de mosca blanca, así como la falta de planta certificada para nuevas plantaciones. Además, las plantaciones son mayores de 20 años por lo que lo que debería plantearse un proceso de replantación.

Esta problemática plantea la necesidad y desarrollo de capacidades de técnicos y productores, así como el desarrollo de paquetes tecnológicos donde se incluya el manejo integral del cultivo. Respecto a la problemática de mercado y comercialización, los productores mencionaron tener una alta variabilidad en los precios de compra y falta de empaques adecuados para el traslado de la naranja cuando el destino o mercado es fuera del estado, problemática común en todas las regiones del país por lo que se requiere de una planeación nacional de las cosechas para mejorar los precios de este cítrico.

Literatura citada

- Alayón L., P., V. Rodríguez A., A. Píccoli B., M. Chabbal D., L. Giménez I. y G. Martínez C. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis*(L.) Osbeck). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 46(1):87-96.
- Alia, TI., A. Lugo A., R. Ariza F, A. L. Valdez A., M. López V. y H. Pacheco P. 2011. Manual de tecnología de producción en limón ‘Persa’ y naranja ‘Valencia’ en el estado de Morelos. Folleto Técnico No. 57. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental “Zacatepec”. México.
- Cuevas R. V., A. Loaiza L., O. Gutiérrez G., G. Buendía R. and C. Rosales N. 2024. Typology of production units and livestock technologies for adaptation to drought in Sinaloa, Mexico. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia 41(1):e244106.
- Feder, G., E. Just R. and D. Zilberman. 1985. Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. Economic Development and Cultural Change 33(2):255-298.
- Hernández, G.O. 2021. Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. Revista Cubana de Medicina General Integral 37(3):e1442.
- Hossain, M. B., & Ryu, K. S. 2009. Effect of foliar applied phosphatic fertilizer on absorption pathways, yield and quality of sweet persimmon. Scientia Horticulturae 122(4):626-632.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Comondú. Baja California Sur. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/03/03001.pdf (consultado el 14 de mayo de 2024).

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2018. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Baja California Sur: PIB en valores básicos por actividad económica. Catálogo Nacional de Indicadores. <https://www.snieg.mx/cni/sereferencia.aspx>.
- Márquez S.M.A. 2017. Análisis crítico sobre la ecología social del municipio de Comondú y su impacto en la sustentabilidad. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 131 p.
- Ochoa, J. L., L. G. Hernández M, H. Latisnere B., L. de La Luz J. and P. Larralde C. 2007. Aislamiento e identificación de hongos patógenos de naranja *Citrus sinensis* L. Osbeck cultivada en Baja California sur, México. CYTA-Journal of Food 5(5):352-359.
- SEDAPA (Secretaría de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Agropecuario). 2022. Produce el Valle de Santo Domingo 45 mil toneladas de naranja actualmente. <https://www.bcs.gob.mx/produce-el-valle-de-santo-domingo-45-mil-toneladas-de-naranja-actualmente/> (consultado el 14 mayo de 2024).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Panorama Agroalimentario 2023. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035> (consultado el 14 de mayo de 2024).
- Wang, N., E. Pierson A., J. C. Setubal, J. Xu, G. Julien, G Levy J. *et al.* 2017. The Candidatus Liberibacter-host interface: insights into pathogenesis mechanisms and disease control. Ann. Rev. Phytopathol. 107(4):451-482.

DIAGNÓSTICO TÉCNICO, PRODUCTIVO Y DE MERCADO DE LA NARANJA EN ÁLAMO, VERACRUZ

Venancio Cuevas Reyes⁹³, Jaime Rangel Quintos^{93*}, Sergio Alberto Curti Díaz⁹³
y José Joaquín Velázquez Monreal⁹³

Resumen

La producción de naranja es uno de los principales cultivos en México, que ofrece una intensa actividad económica y aporta a la seguridad alimentaria del país. El estado de Veracruz es el productor de naranja más importante en el país y el municipio de Álamo aporta el 27% de la producción estatal. Actualmente, la producción de naranja se encuentra en una incertidumbre derivada de la aparición de enfermedades que ponen en riesgo esta actividad. Pocos estudios se han realizado donde se expongan las características técnico-productivas que tienen los productores de naranja en esta región. El documento tiene como objetivo presentar la problemática técnica-productiva y de mercado en la producción de naranja en el municipio de Álamo, Veracruz. Para lo cual se aplicó un cuestionario a 51 productores dividido en tres secciones: 1) características sociales, 2) producción y problemática técnico-productivo y 3) aspectos de comercialización y mercado de naranja. Para el análisis de la información se utilizó el análisis clúster, con lo que se identificaron tres grupos de productores (C1, C2 y C3) los cuales fueron caracterizados por estadística descriptiva. El grupo C1 es un grupo de productores más jóvenes y se caracterizó por ser el de mayor superficie, pero con mayores problemas técnicos y dificultad por utilizar tecnología, mientras que el C2 fue un grupo con un nivel intermedio de tecnología y disposición de superficie, pero con problemas ligados de productividad. El C3 con menor superficie, mostró los mejores rendimientos y menor problemática en el manejo de la huerta. La problemática general está asociada a la dependencia del uso de agroquímicos para el manejo de enfermedades y a la inestabilidad de precios de la naranja en el mercado.

Palabras clave: cítricos, análisis clúster, tipología de productores

⁹³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia rangel.jaime@inifap.gob.mx

Introducción

El cultivo de la naranja (*Citrus sinensis*) tiene una importancia para México tanto a nivel económico como en su aporte a la soberanía alimentaria, además de favorecer socioeconómicamente a poblaciones locales. Se calcula que genera 22.3 millones de jornales anualmente, más de 46 mil empleos directos y 139 mil empleos indirectos (Bautista y Reyes, 2020). De acuerdo con el SIAP (2024), en México hay una superficie de 353 mil hectáreas de naranjo con un volumen de producción de más de 4.9 millones de toneladas y generaron una derrama económica de 19,700 millones de pesos en el 2023, siendo el estado de Veracruz el principal productor del naranja en el País con 51.6% de toda la producción nacional, le siguen en orden de importancia Tamaulipas (16%), Puebla (6.9%), San Luis Potosí (6.7%) y Nuevo León (4%).

La región de Tuxpan, al norte de Veracruz es la principal zona productora de naranja en el Estado, principalmente el municipio de Álamo Temapache que concentra el 27% de la producción estatal con una superficie de más de 82 mil ha y una producción de más de 1.3 millones de toneladas (SIAP, 2024). La variedad de naranja más empleada por los productores de esta región es la Valencia tardía (95% de la superficie), predomina el sistema de plantación en marco real, aunque en general se consideran algunas prácticas de manejo que han sido inadecuadas o demasiado intensificadas, lo que ha provocado problemas en los rendimientos productivos derivados de erosión de suelo, disponibilidad de agua y aparición de enfermedades de difícil manejo (Curti *et al.*, 2024). Cabe destacar que no hay mucha información actual de cómo se están desarrollando los sistemas de producción de naranja en esta región, lo cual dificulta la detección de áreas de oportunidad para el desarrollo de este cultivo. El presente documento tiene como objetivo presentar la problemática técnica-productiva y de mercado que se presenta en la producción de naranja en el municipio de Álamo, Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Álamo, Temapache, Veracruz. El municipio se ubica entre los paralelos 20° 47' y 21° 12' de latitud norte y los meridianos 97° 30' y 97° 56' de longitud oeste; altitud entre 10 y 500 m. Colinda al norte con los municipios de Tepetzintla, Cerro Azul y Tamiahua; al este con los municipios de Tamiahua, Tuxpan y Tihuatlán; al sur con los municipios de Tihuatlán, Castillo de Teayo, el estado de Puebla y el municipio de Ixhuatlán de Madero; al oeste con los municipios de Ixhuatlán de Madero, Chicontepec y Tepetzintla. El municipio presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (91.72%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (8.28%) (INEGI, 2010).

Técnicas de recolección de la información y selección de la muestra

Se elaboró y aplicó un cuestionario en tres secciones: la primera relacionada con las características sociales del productor (edad, escolaridad, número de miembros totales en su familia, principal actividad productiva y tipo de tenencia de la tierra). La segunda relacionada con la producción y problemática técnico-productivo: superficie agrícola, superficie plantada con naranjo, árboles por hectárea, edad de la plantación, rendimientos, épocas de cosecha, tipos de porta injertos utilizados, uso de innovaciones, tipo de plagas y enfermedades, manejo de arvenses, así como principales problemas. Finalmente, la sección tres estuvo relacionada con aspectos de comercialización y mercado de la naranja: a quien vende, precio, como vende la producción, destino, tipos de apoyos con los que cuenta y problemática de venta.

Para seleccionar la muestra, se utilizó muestreo no probabilístico e intencional (Hernández, 2021). Los productores fueron entrevistados durante la implementación de un curso de capacitación sobre cítricos realizado en el mes de octubre de 2023. Fueron entrevistados 51 productores de naranja.

Variables analizadas

Para realizar el análisis clúster se seleccionaron ocho variables cuantitativas relacionadas con los aspectos sociales del productor, recursos y rendimiento agrícolas (Cuadro 1), las cuales de acuerdo con la literatura influyen en la adopción de tecnología (Feder *et al.*, 1985).

Cuadro 1. Variables utilizadas para el análisis clúster.

Variables	Unidades	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Edad	años	51.5	27	85	14.6
Escolaridad	años	3.3	0	6	1.3
Miembros de familia	núm.	3.1	0	8	1.8
Superficie total	ha	7.2	1	22	5.2
Superficie de naranja	ha	6.1	1	20	4.6
Árboles plantados	ha	229	100	560	67.7
Edad de la plantación	años	21.3	2	60	14
Rendimiento	t/ha	12.7	1	50	10.3

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la información

Para la identificación y caracterización de los grupos se siguió la metodología propuesta por Cuevas *et al.* (2024). El criterio de agrupación fue el método de vinculación de Ward y la medida de asociación fue la distancia euclídea al cuadrado. La estandarización de las variables se realizó mediante la puntuación Z en el “programa estadístico IBM SPSS Statistics. Posteriormente fue elaborado el dendrograma y realizada la caracterización de las tipologías. La descripción de los grupos fue realizada mediante estadística descriptiva. El análisis de los indicadores de las tecnologías de adaptación a la sequía se realizó mediante análisis de frecuencia. Los análisis fueron realizados con el software SPSS versión 27.0 para Windows.

Resultados y discusión

Tipología de las Unidades de Producción

El análisis clúster permitió clasificar las unidades de producción de naranja en tres grupos o clústeres: el Clúster1 (C1, n=6) constituye el 12% de UP (unidades de producción), el Clúster2 (C2, n=31) representa el 61%, y finalmente el Clúster3 (C3, n= 14) representa el 27% del total de la muestra (Figura 1).

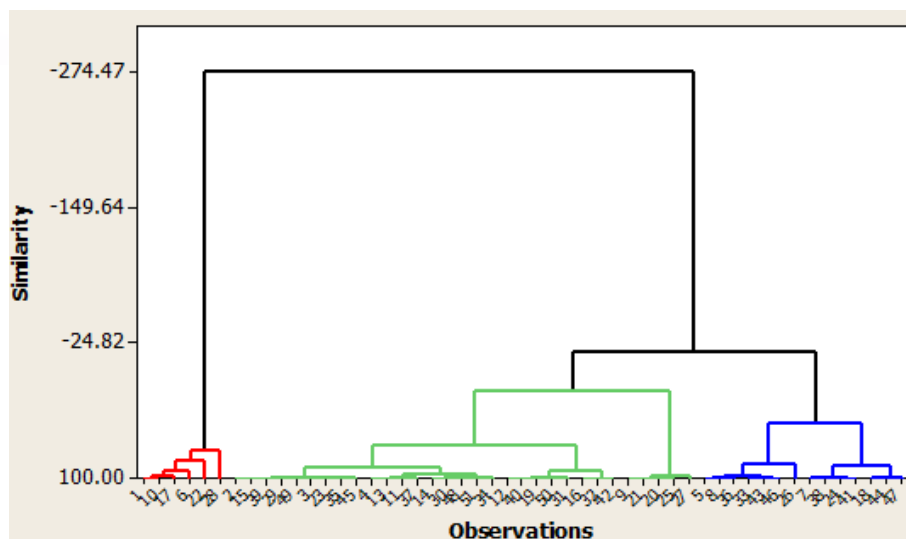


Figura 1. Dendrograma de las tipologías de unidades de producción de naranja en Álamo, Veracruz

Características sociales

Los productores de naranja del C1 y C2 son relativamente de mediana edad 50 años en promedio, es probable que sean más receptivos al uso de nuevas innovaciones tecnológicas y temas de capacitación al ser más jóvenes que el C3 tiene una edad promedio de 58 años. En general, se observa que aún tienen varios integrantes que dependen económicamente del jefe de familia; 3.7 ± 1.6 para el C1, 2.6 ± 1.3 para el C2 y 4.7 ± 1.6 para el C3 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Edad y número de hijos de los grupos de productores (media $\pm$ d.e.).

Clúster	Edad (años)	Hijos totales (Núm)
C1	46.8 ± 12.9	3.7 ± 1.6
C2	50.1 ± 14.2	2.6 ± 1.3
C3	58 ± 16.4	4.7 ± 1.6

Fuente: elaboración propia.

El C1 tiene 83.3% de responsables en las unidades de producción (UP) a hombres y 16.7% a mujeres, el C2 y C3 tienen el 75% a hombres como responsables de las UP y 25% a mujeres. El C1 es el que tiene un mayor nivel educativo, puesto que el 83.3% tiene estudios universitarios, el C2 tiene 50% de productores con este mismo nivel de estudios, y el C3 tiene

33.3%. En general, los tres tipos de productores tienen buen nivel de escolaridad (secundaria, preparatoria y universidad). El 85.7% de productores del C3 tienen como única actividad la producción de cítricos; por el contrario, los grupos C1 y C2 solo el 50% y 51.6% respectivamente se dedican a esta actividad. Otras actividades económicas son: profesores, comerciantes, empleado municipal, etc. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables sociales y económicas en los grupos de productores (%).

Clúster	Género		Escolaridad				Otra actividad	
	Hombre	Mujer	Primaria	Secundaria	Preparatoria	Universidad	Cítricos	Otra
C1	83.3	16.7	0	16.7	0	83.3	50	50
C2	75	25	3.3	13.3	30	50.0	51.6	48.4
C3	75	25	8.3	50	8.3	33.3	85.7	14.3

Fuente: elaboración propia.

Los productores del C2 tienen diversos tipos de tenencia de la tierra: 60.3% tienen propiedad ejidal, 6.5% tienen propiedad privada y 3.2% tiene tierra prestada. El C1 y C3 tiene solo propiedad ejidal y privada. En general, en los tres grupos de productores se cuenta con una topografía plana y ladera, el C1 tiene 50% de superficie plana y 50% de superficie en ladera.

Disponibilidad de tierra y variables productivas de la naranja

La superficie agrícola total para el C1 de 19.6 ± 1.5 ha, 4.7 ± 2.2 y 7.1 ± 2.4 ha para el C2 y C3, respectivamente. En cuanto a superficie de riego, solo el C2 y C3 disponen de tierra en esta modalidad: 1.4 ± 2.4 y 1.0 ± 3 , respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie agrícola total y bajo riego (media $\pm$ d.e.).

Clúster	Superficie total (ha)	Superficie bajo riego (ha)
C1	19.6 ± 1.5	0
C2	4.7 ± 2.2	1.4 ± 2.4
C3	7.1 ± 2.4	1.0 ± 3

Fuente: elaboración propia.

La superficie plantada con naranjo es mayor para el C1 con 16.0 ± 4.8 ha, para el C2 de 4.1 ± 2.2 ha y de 6.4 ± 2.5 ha para el C3. La edad de la plantación es de 24.3 ± 16.6 para el C1, 18.8 ± 14.9 y $25.47.9.9$ para el C2 y C3, respectivamente. Es relevante señalar que el C3 es el que presenta un mayor rendimiento de naranja por ha (16.8 ± 10.8 t/ha). El 100% de los tres grupos de productores utilizan la variedad Valencia, (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables relacionadas con la producción de naranja (media $\pm$ d.e.).

Clúster	Superficie total (ha)	Arboles/ha	Edad plantación (años)	Rendimiento (t/ha)
C1	16.0 ± 4.8	220 ± 75.5	24.3 ± 16.6	12.4 ± 8.4
C2	4.1 ± 2.2	234 ± 82.0	18.8 ± 14.9	11.2 ± 10.5
C3	6.4 ± 2.5	223 ± 31.5	$25.47.9.9$	16.8 ± 10.8

Fuente: elaboración propia.

Portainjertos

El tipo de portainjerto más utilizado por los productores es el naranjo agrio (50%, 74.2% y 78.6% para el C1, C2 y C3, respectivamente). En segundo lugar se utiliza el tipo Volkameriano (solo en el caso de los productores del grupo 1 y 2) y el tipo Swingle para el C2 y C3 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tipo de porta injerto utilizado (%).

Clúster	Volkameriano	Naranjo agrio	Swingle
C1	33.3	50	0
C2	3.2	74.2	16.1
C3	0	78.6	21.4

Fuente: elaboración propia.

El origen del material vegetativo es obtenido principalmente de viveros privados en la región, aunque igual se realiza compra de plantas en otro tipo de viveros, pero en muy poco porcentaje.

Nutrición y fertilización

La fertilización de los cítricos con macronutrientes tradicionalmente se realiza con aplicaciones al suelo; pero a veces, cuando las plantas están bajo algún grado de deficiencia, los productores generalmente compensan de acuerdo a su criterio (Alayón *et al.*, 2014), la utilización de la nutrición foliar dentro de los programas de fertilización promueve una mayor productividad debido a la mayor eficiencia de uso de fertilizante (Hossain y Ryu, 2009). En este sentido, en los tres grupos de productores se identificó que realizan fertilización granular, foliar y orgánico: siendo la fertilización foliar la que más se utiliza (más del 50% de los tres grupos realizan este tipo de fertilización) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tipo de fertilización que realiza (%).

Clúster	Granular	Foliar	Orgánico
C1	16.7	50	50
C2	23.3	53.3	31
C3	53.8	53.8	7.7

Fuente: elaboración propia.

Manejo de malezas

La práctica más común es el chapeo de las calles (manual, con desbrozadora o chapeadora mecánica) y el control químico en hileras, el método combinado lo utiliza el 50% del C1, el 33.3% del C2 y el 28.6% de C3. El control mecánico lo realiza el 50% del C1. 43.3% del C2 y el 42.9% del C3 (Cuadro 8). Cabe señalar que el total de productores entrevistados de cada grupo señalaron realizar rotación de herbicidas.

Cuadro 8. Métodos de manejo de malezas (%).

Clúster	Mecánico	Químico	Combinado
C1	50	0	50
C2	43.3	26.7	33.3
C3	42.9	42.9	28.6

Fuente: elaboración propia.

Plagas y enfermedades

La principal plaga presente fue la *Diaphorina citri* Kuwayana (Hemiptera: Liviidae): 100% de C1, 89.7% del C2 y 92.9% del C3. En segundo lugar, se presenta la mosca blanca (*Aleurothrixus floccosus*): 17.7% del C2 y 21.4% del C3. En tercer lugar, se mencionó la presencia de escama de nieve (*Unaspis citri*): 16.7% del C1 y 10.3% del C2. Finalmente, se presentó la presencia de ácaros (Cuadro 9).

Cuadro 9. Tipo de plagas presentes en la producción de naranja (%).

Clúster	Mosca blanca	<i>D. citri</i>	Escama de nieve	Ácaros
C1	0	100	16.7	16.7
C2	17.2	89.7	10.3	6.9
C3	21.4	92.9	0	0

Fuente: elaboración propia.

El principal método de manejo de las plagas que utilizan los tres grupos es el control químico; 16.7% en el c1, 50% en el C2 y 57.1% en el C3. En segundo lugar, el método combinado, y en tercer lugar se realiza también control biológico (Cuadro 10).

Cuadro 10. Métodos de control de plagas (%).

Clúster	Mecánico	Químico	Combinado	Biológico
C1	16.7	16.7	33.3	33.3
C2	6.7	50	30	16.7
C3	7.1	57.1	28.6	14.3

Fuente: elaboración propia.

El total de productores de los tres grupos entrevistados señaló la presencia en su huerta de la enfermedad de Huanglongbing (*Candidatus Liberibacter* spp.): 33.3% del C1, 44.8% del C2 y 7.1% del C3. El huanglongbing (HLB) o dragón amarillo, se considera una de las enfermedades más devastadoras de los cítricos a nivel mundial por su rápida diseminación y devastación, ya que disminuye los rendimientos del cultivo y ocasiona la muerte del árbol (Wang *et al.*, 2017). En segundo lugar, con los mismos porcentajes, se señaló a la enfermedad de la gomosis

(*Phytophthora* spp.) y la antracnosis (*Colletotrichum* spp) (55.6%, 100% y 83.3% para el C1, C2 y C3, respectivamente). También, se mencionó la presencia del Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC), es una enfermedad transmitida por áfidos, entre los cuales destaca el pulgón café (*Toxoptera citricida*) por su eficiencia en la transmisión de este patógeno (Cuadro 11). La sintomatología de esta enfermedad se manifiesta con clorosis en las hojas y una leve picadura de tallo, posteriormente, 50% del árbol presenta defoliación y la picadura del tallo es más notoria y cubre una mayor área, las hojas muestran halos amarillos por ambos lados, los frutos son de menor tamaño y de color verde pálido, por lo tanto, la producción de cítricos es muy poca o nula y el árbol muere (Sáenz *et al.*, 2019) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tipo de enfermedades presentes en la producción de naranja (%).

Clúster	HLB	VCT	Gomosis	Muerte de árboles	Antracnosis
C1	33.3	0	50	33.3	16.7
C2	44.8	6.9	51.7	34.5	13.8
C3	7.1	14.3	21.4	50	14.3

Fuente: elaboración propia.

El método más utilizado para el manejo de estas enfermedades, es el químico; en segundo lugar el método combinado y los tres tipos de productores hacen uso del control biológico (Cuadro 12).

Cuadro 12. Métodos de control de enfermedades (%).

Clúster	Mecánico	Químico	Combinado	Biológico
C1	16.7	16.7	33.3	33.3
C2	10.3	51.7	27.6	17.2
C3	0	35.7	28.6	14.3

Fuente: elaboración propia.

Podas

Los objetivos principales de esta práctica son mejorar la estructura del árbol, aprovechar la luz al máximo (interna y externa de la copa), incrementar el rendimiento y calidad de la fruta, así

como promover floración en periodos deseados (Alia *et al.*, 2011). El 83.3% del C1, 86.7% del C2 y 71.4% realiza esta práctica. Entre una tercera parte y la mitad de productores (C2) realizan la desinfección de herramientas y aproximadamente el 20% de los productores quema los residuos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Uso de tecnologías en la poda de árboles (%).

Clúster	Realiza podas	Desinfecta herramientas	Quema los residuos
C1	83.3	33.3	20
C2	86.7	50	26.7
C3	71.4	35.7	16.7

Fuente: elaboración propia.

Cosecha

La cosecha de naranja en el municipio de Álamo, Temapache, se realiza principalmente de diciembre a mayo, aunque hay productores que señalaron realizar cosecha en otros meses del año (Cuadro 14).

Cuadro 14. Meses de cosecha de la naranja (%).

Clúster	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
C1	33.3	83.3	66.7	0	0			0	0	0	50	33.3
C2	41.4	44.8	24.1	10.3	13.8			6.9	6.9	6.9	20.7	17.2
C3	64.3	71.4	28.6	7.1	7.1			14.3	0	0	7.1	28.6

Fuente: elaboración propia.

Problemática técnica de la producción de naranja

El principal problema señalado por los productores de los tres grupos fueron las plagas. En segundo lugar, mencionaron el problema de la sequía, en tercer lugar, la alta existencia de intermediarios quienes les pagan precios bajos y finalmente, el C1 y el C2 señalaron que un problema fuerte son los costos altos de los insumos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Principales problemas técnicos (%).

Clúster	Sequía	Altos costos	Plagas	Intermediarios
C1	66.7	33.3	66.7	33.3
C2	30.4	4.3	62.5	21.7
C3	57.1	0	42.9	42.9

Fuente: elaboración propia.

Caracterización económica y de mercado de la naranja

Un alto porcentaje de productores vende a empresas a nivel nacional (33.3% del C1, 30% del C2 y 50% del C3). En segundo lugar, el destino de la venta es a nivel municipal: 33.3% del C1, 43.3% del C2 y 28.6% del C3 los cuales venden a intermediarios municipales. En tercer lugar, se vende a nivel localidad, y es interesante resaltar que existen productores del C1 (7%) y del C2 (6.9%) que exportan la naranja.

La percepción de los productores respecto al volumen vendido de naranja el año inmediato anterior, se diferenció entre grupos, mientras que para C1 la venta fue mayor para un 50% de los productores, los productores del C2 consideraron que la venta fue menor (45.2%) y para los productores del C3 las opiniones fueron repartidas entre mayor y menor (35.7%) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Percepción de volumen vendido de naranja respecto al año anterior (%).

Clúster	Mayor	Menor	Igual
C1	50	16.7	33.3
C2	12.9	45.2	32.3
C3	35.7	35.7	28.6

Fuente: elaboración propia.

Entorno económico e institucional

El apoyo que llegan a obtener es a través de los proveedores de asistencia técnica sobre los insumos que compra, ya que el 50% del C1, 27.6% del C2 y 14.3% del C1 mencionaron que le ofrecen este servicio. El apoyo de ventas a crédito solo lo señalaron productores del C2 y C3, en tanto que la mayoría señaló que no les otorgan ningún tipo de apoyo (Cuadro 17).

Cuadro 17. Apoyo de proveedores de insumos (%).

Clúster	Asistencia técnica	Compras a crédito	Ningún apoyo
C1	50	0	33.3
C2	27.6	3.3	60
C3	14.3	14.3	57.1

Fuente: elaboración propia.

Problemática de mercado y comercialización

El principal problema que mencionaron los productores entrevistados fue el bajo precio de la naranja (33.3% del C1, 50% del C2 y 53.8% del C3), en segundo lugar, señalaron tener problemas por la existencia de mucho intermediario para la compra de la naranja (30% del C2 y 23.1% del C3), además, de la baja calidad de la fruta (16.7% del C1 y 13.8% del C2) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Principales problemas de mercado (%).

Clúster	Precio bajo	Baja calidad de la fruta	Alto intermediarismo
C1	33.3	16.7	0
C2	50	13.8	30
C3	53.8	0	23.1

Fuente: elaboración propia.

Temas de capacitación demandados por los productores

Los principales temas de capacitación que demandan los productores de naranja son: cursos sobre plagas y enfermedades, en segundo lugar, temas relacionados con la fertilización y nutrición y en tercer lugar temas relacionados con manejo orgánico de la huerta (Cuadro 19).

Cuadro 19. Temas de capacitación relevantes (%).

Clúster	Fertilización y nutrición	Plagas y enfermedades	Manejo orgánico
C1	16.7	16.7	16.7
C2	20.6	20.7	10.3
C3	16.7	25	8.3

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La producción de naranja en el municipio de Álamo no solo representa un cultivo importante para la economía de la población de la región y hace un aporte importante en la seguridad alimentaria del país. La actividad tiene el riesgo de la incidencia de enfermedades y el problema en el manejo fitosanitario, por el desconocimiento del productor de cómo tratarlas, por lo que se requiere una mayor capacitación en paquetes tecnológicos en donde se promueva el manejo integral desde la adquisición de material vegetativo, hasta la correcta ejecución de actividades. Se identificaron tres diferentes grupos de productores, desde el C1 caracterizado por ser un grupo con menor edad, con mayor superficie, pero con menores rendimientos junto con el C2, presentando problemas técnicos. El C2 que es de nivel tecnológico intermedio, con problemas en su productividad y la comercialización se limita a niveles locales. El C3 tuvo una menor superficie, pero mostró los mejores rendimientos. La diferenciación por grupos permite identificar estrategias en función a las prioridades y capacidades por tipo de productor.

Literatura citada

- Alayón, L. P., V. Rodríguez A., A. Píccoli B., M. Chabbal D., L. Giménez I. y G. Martínez C. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 46(1):87-96.
- Alia, T. I., A. Lugo A., R. Ariza F., L.A. Valdez A., V. López M. y P. Pacheco H. 2011. Manual de tecnología de producción en limón 'Persa' y naranja 'Valencia' en el estado de Morelos. Folleto Técnico No. 57. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental "Zacatepec". Zacatepec, Mor., México.
- Bautista, M. F. y E. Reyes S. 2020. Efecto de los costos de producción en el mercado de naranja en Veracruz, 1980-2018. Región y Sociedad 32:e1294.

- Cuevas R. V., A. Loaiza M., O. Gutiérrez G., G. Buendía R. and C. Rosales N. 2024. Typology of production units and livestock technologies for adaptation to drought in Sinaloa, Mexico. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 41(1):e244106.
- Curti D. S. A., P. U. Hernández L., J. Rangel Q., C. G. Rodríguez Q., S. Domínguez M., M. Rodríguez C. y D. Sumano L. 2024. Programa de investigación, validación y transferencia de tecnología de las cadenas agroalimentarias naranja y limón Persa del Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Publicación Especial Núm. 11. Veracruz, México. 113 p.
- Feder, G., R. E. Just and D. Zilberman. 1985. Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change* 33(2):255-298.
- Hernández, G. O. 2021. Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral* 37(3):e1442.
- Hossain, M. B. and K. S. Ryu. 2009. Effect of foliar applied phosphatic fertilizer on absorption pathways, yield and quality of sweet persimmon. *Scientia Horticulturae* 122:626-632.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Álamo Temapache Veracruz de Ignacio de la Llave. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30160.pdf
- Sáenz, P.C.A., E.O. Hernández, D.B Estrada, P.W.A. Poot, M.R. Delgado and R.R. Herrera. 2019. Principales enfermedades en cítricos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10(7):1653-1665.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Datos abiertos 2023. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. 14 de mayo de 2024.

Wang, N., E. A. Pierson, J. C. Setubal, J. Xu, J. G. Levy, Y. Zhang, *et al.* 2017. The Candidatus Liberibacter-host interface: insights into pathogenesis mechanisms and disease control. *Ann. Rev. Phytopathol* 107(4):451-482.

COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN VERACRUZ, MÉXICO

Luis Carlos Alvarado Gómez^{94†}, Catalino Jorge López Collado^{94*}, Ángel Capetillo Burela⁹⁴, Rigoberto Zetina Lezama⁹⁵, Eusebio Ortega Jiménez⁹⁴, Gustavo López Romero⁹⁴, David Jesús Palma López⁹⁶ y Marco Antonio Reynolds Chávez⁹⁵

Resumen

En los actuales sistemas de producción agrícola, los paquetes tecnológicos recomendados por algunos investigadores de instituciones educativas y de investigación, consideran como principal objetivo lograr un alto rendimiento económico, sin considerar el impacto ambiental; es decir, se promueve el uso de paquetes de alto precio, como el uso de agroquímicos, lo que implica elevados costos de producción y un impacto ambiental negativo, sin tomar en cuenta la eficiencia de los sistemas agroproductivos, en términos de cantidad de insumos utilizados. El objetivo de esta investigación fue determinar la producción de materia seca, la absorción de nitrógeno (N) y la eficiencia en el uso del N, en diferentes condiciones de manejo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). El experimento se desarrolló en el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. En bolsas negras de polietileno calibre 300, se evaluaron 16 tratamientos, producto de la combinación de los factores: tipo de suelo (migajón-arenoso y franco), genotipo (semilla híbrida “Orca®” de la compañía Monsanto y la variedad criolla “Olotillo”), nitrógeno (0 y 140 kg N/h¹) y con y sin cal agrícola. Se utilizó un arreglo ortogonal Taguchi L 8⁻¹, en un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Para las variables, peso seco de hojas y peso seco de raíces, se encontraron diferencias estadísticas a favor de la aplicación de nitrógeno. La absorción de N en porcentaje por la planta no mostró diferencia para ninguno de los factores, ni sus interacciones, mientras que la absorción de N, en gramos, fue mayor en plantas fertilizadas. Finalmente, la eficiencia en el uso de N (EUN) fue mayor en plantas no fertilizadas, asimismo la interacción textura de suelo por concentración de nitrógeno, resultó significativa.

Palabras clave: *Zea mays*, arreglo Taguchi, eficiencia nutrimental, cal agrícola

⁹⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: ljorge@colpos.mx

⁹⁵ INIFAP- Campo Experimental Cotaxtla.

⁹⁶ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco

Introducción

La producción moderna de cultivos se relaciona con la modificación y el control de los factores de manejo que determinan un mayor rendimiento, donde el principal criterio es a favor de la combinación de factores que maximicen el rendimiento económico. Sin embargo, son pocas las veces en que se analiza la eficiencia de los sistemas agroproductivos, específicamente en función de la combinación de diversos factores de manejo. Si se considera, que la agricultura debe satisfacer las demandas de alimentos y materias primas de una población en constante aumento, minimizando al mismo tiempo los riesgos de contaminación del ambiente, se deben utilizar sistemas de producción sustentables, con el fin de preservar los recursos para las futuras generaciones. Un aspecto clave en el logro de la sustentabilidad de los agroecosistemas es el uso eficiente de los nutrimentos presentes en el suelo y los aplicados (Salazar *et al.*, 2021).

Uno de los problemas actuales de la nutrición mineral, es la eficiencia con la cual las plantas pueden usar los elementos, particularmente en un escenario de incremento constante en el costo de los fertilizantes. De este modo, el uso eficiente de los fertilizantes aplicados a los cultivos constituye uno de los factores más importantes para mantener la producción de alimentos a un nivel satisfactorio para cumplir con las necesidades de la población, disminuir la contaminación y los costos de producción, e incrementando la rentabilidad agrícola.

Fageria *et al.* (2011) establecen que la eficiencia nutrimental en los cultivos es la capacidad para producir mayor cantidad de biomasa seca por unidad de mineral aplicado o absorbido. Las diferencias en rendimiento de los cultivos se atribuyen tanto a la eficiencia en la adquisición del nutrimento por las raíces, como a la adecuada utilización de éste por la planta.

En relación a la eficiencia en el uso de nutrimentos, se ha encontrado lo siguiente: 1. Es un mecanismo de adaptación de las plantas a condiciones de baja fertilidad (Retuerto y Woodward, 2003); 2. En variedades e híbridos de maíz se han observado que los rendimientos y las eficiencias son diferentes (Delgado, 2002); 3. Las plantas con mayor rendimiento, no siempre son las más eficientes (Sosa-Rodriguez y García-Vivas, 2018) y 4. En maíz, existen diferencias en la eficiencia en el uso del nitrógeno desde un 44% hasta un 143% (González *et al.*, 2014).

Gallais and Hirel (2004) y Xu *et al.* (2012) consideran que mediante un conjunto de prácticas de manejo, tecnologías y mejoramiento genético se puede lograr eficiencias superiores al 85% y que cada mejora en la eficiencia de uso del N implica una reducción en las pérdidas del mismo y al incrementar la absorción, repercute proporcionalmente en el retorno económico, principalmente en condiciones de altos costos del fertilizante.

El nitrógeno es un elemento indispensable para la fotosíntesis. Es decir, para que las plantas fijen el carbono del aire, acumulen materia seca y produzcan rendimientos económicos atractivos, se requiere de cantidades suficientes de este elemento. Sin embargo, el N es un nutrimento usualmente deficiente en los suelos agrícolas (Delgado, 2002) y Zenteno *et al* (2019). La eficiencia de uso del N depende, entre otros factores, del pH, del tipo de suelo, de la especie a cultivar, del tipo de agroecosistema, tipo de fertilizante aplicado, así como de las prácticas de manejo (Smith, 2020).

El diseño experimental Taguchi, es un arreglo factorial, utilizado en estudios exploratorios, tiene las ventajas de reducir el número de tratamientos, unidades experimentales y el costo del experimento. Este diseño se basa en la confusión de efectos, donde se pierde precisión en el estudio de las interacciones de alto grado, las cuales, generalmente tienen poca importancia y son de difícil interpretación; sin embargo, esta pérdida se compensa con el incremento en la precisión de los efectos principales (Padrón, 1996).

Cada variedad de una misma especie, puede también presentar características particulares de comportamiento y producción, expresadas en diferentes capacidades para la absorción y utilización de los nutrimentos; por ello, es importante realizar evaluaciones en diferentes genotipos de maíz, con el fin de determinar materiales eficientes e incorporarlos en los sistemas agroproductivos, lo cual traerá beneficios económicos a los productores y ecológicos al haber un mayor aprovechamiento del fertilizante (Bertsch, 2005 y Herrera *et al.* 2022). Finalmente es necesario el entendimiento de las bases fisiológicas y genéticas de la eficiencia en el uso del nitrógeno. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de materia seca, la absorción de nitrógeno y la eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) en maíz en diferentes condiciones de manejo, bajo la hipótesis de que existen factores de manejo que modifican estas variables.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se desarrolló en bolsas negras calibre 300 del 24 de febrero al 7 de Abril del 2007 en terrenos del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, en el predio “Tepetates”, municipio de Manlio Fabio Altamirano, situado en las coordenadas 19° 16´ Latitud Norte, y 96° 16´ Longitud Oeste, a una altura de 40 m.s.n.m. (García, 2004).

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron 16 tratamientos, producto de la combinación de los factores: textura del suelo (Migajón-arenoso y Franco), genotipo (semilla híbrida “Orca®” de la compañía Monsanto y la variedad criolla “Olotillo”), nitrógeno (0 y 140 kg N ha⁻¹) y con y sin cal agrícola. Los factores en estudio y los niveles se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y niveles en estudio.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
Tipo de suelo	Migajón-arenoso (S1)	Franco (S2)
Genotipo	Olotillo (G1)	Orca (G2)
Nitrógeno	0 kg ha ⁻¹ (N1)	140 kg ha ⁻¹ (N2)
Cal	Sin cal agrícola (C1)	Con cal agrícola (C2)

Se utilizó un arreglo ortogonal Taguchi L 8⁻¹ (Stuart, 1993), en un diseño experimental de bloques al azar con 16 tratamientos cuatro repeticiones por tratamiento. La asignación de las bolsas negras de polietileno calibre 300 en campo fue al azar, cada bolsa fue una unidad experimental ubicada en forma aleatoria. Se identificó un gradiente de variación por luz, en función del recorrido del sol, de tal manera que los bloques al azar se ubicaron de manera perpendicular a este gradiente.

Características de los suelos en estudio

Se utilizó suelo de dos regiones productoras de maíz del municipio de Acayucan, Ver. La Colonia Hidalgo (Suelo A) y la Colonia Agrícola Michapan (Suelo B). Los análisis de los suelos

en estudio se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, y sus características físicas y químicas se presentan el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos utilizados en el estudio.

Característica	Suelo A	Suelo B
Textura	Migajón-arenoso	Franco
Arena	76.7%	41.8%
Limo	7.0%	31.8%
Arcilla	16.3%	26.4%
pH-agua	4.7	5.5
Materia orgánica	2.3% (medio)	2.9% (medio)
Nitrógeno total	0.11% (medio)	0.14% (medio)
Fósforo	1 ppm (muy bajo)	4 ppm (bajo)
Potasio	50 ppm (bajo)	100 ppm (medio)
Calcio	960 ppm (bajo)	2,160 ppm (moderadamente alto)
Magnesio	37 ppm (medio)	487 ppm (muy alto)

Siembra

La siembra se realizó en bolsas de polietileno para vivero de color negro, con dimensiones de 30 cm x 40 cm de ancho y largo, respectivamente. En cada bolsa negra con el tipo de suelo correspondiente, se depositaron tres semillas, ubicándolas en el centro de esta, a una profundidad de 3 cm. Una vez germinadas, se seleccionó una planta por bolsa, eliminando las otras. Las bolsas se acomodaron de tal modo que las distancias entre plantas y filas fueron de 20 cm y 40 cm, respectivamente.

Fertilización

La fórmula de fertilización aplicada fue equivalente a 140-60-60, kilogramos de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) por hectárea, respectivamente. La dosis fue fraccionada en dos partes: todo el P, K y la mitad del N al momento de la siembra, y 20 días después de la siembra

(dds) la otra mitad del N. Las fuentes utilizadas fueron: urea, superfosfato triple de calcio, y cloruro de potasio.

Aplicación de cal

Se realizaron en el laboratorio pruebas de titulación con hidróxido de sodio (NaOH) con el propósito de determinar las necesidades de cal, y llevar los suelos empleados, de un pH de 4.7 y 5.5 a 7.0, utilizando la metodología descrita por (Ortega, 1981). Para el encalado de las unidades experimentales se utilizó cal dolomítica, con un grado de pureza del 78%, en dosis de 2.7 t/ha y 0.9 t/ha, para los suelos migajón-arenoso y franco, respectivamente, aplicada al momento de la siembra.

Riegos

Se programaron riegos ligeros y frecuentes, de acuerdo con las necesidades hídricas de los tratamientos, éstos se aplicaron con una regadera, considerando la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) de cada suelo, la CC y el PMP fueron calculados con base al método gravimétrico. La humedad del suelo se trató de mantener en un rango de 60 al 75% de humedad aprovechable.

Manejo de las muestras

Dado que en estudios realizados por Delgado (2002) y Yato y Orihuela (2015), se encontró que la relación entre los kilogramos de materia seca (MS) y los kilogramos de N absorbido⁻¹ a los 30 días después de la siembra, estuvo significativamente correlacionada ($P \leq 0.01$) y ($r=0.92$) con la materia seca total (MST), se decidió recolectar las muestras 35 dds. Se utilizaron tijeras de podar para cortar en fracciones la parte aérea de las plantas de maíz (hojas y tallo) y se acomodaron en bolsas de papel, previamente etiquetadas con el número de tratamiento y repetición correspondiente. Las raíces, fueron colectadas y eliminadas las fracciones de suelo, utilizando agua corriente con una manguera. Igualmente se colocaron en bolsas de papel, previamente etiquetadas. Todas las muestras se colocaron para su secado, en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60°C hasta peso constante.

Análisis químico de las muestras

El análisis de las muestras de hojas y tallos se realizó en el Laboratorio de Alta Tecnología de Orizaba S. C. (LATO). Los métodos y procedimientos utilizados fueron: el peso seco de hojas y tallo por gravimetría, el nitrógeno por el método Kjeldahl. Se hicieron análisis adicionales de otros elementos, para ello las muestras fueron previamente incineradas a 550°C y la disolución de las cenizas permitió la determinación de los elementos calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) a través de absorción atómica. El fósforo (P) se determinó por UV-VIS.

Variables registradas

Se determinó el peso seco de hojas y tallo (PSHyT) y de raíces (PSR), con el uso de una balanza granataria. El peso seco de hojas y tallo en kg MS/ha y la absorción de N en kg N/ha se obtuvieron mediante una transformación de los datos, al considerar una densidad poblacional de 62,500 plantas por ha. La absorción de N en % se obtuvo de resultados del laboratorio y la absorción de N en gramos por planta, al considerar el peso seco de cada planta. La eficiencia en el uso de nitrógeno que estuvo definida por la fórmula matemática: $EUN = \frac{\text{peso seco de hojas y tallo (PSHyT) en gramos}}{\text{gramos de N absorbido}}$.

Análisis estadístico

Para las variables estudiadas, se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias por el método de Tukey, $p \leq 0.05$, utilizando el programa Statistica. Se graficaron e interpretaron las interacciones que resultaron significativas (Gómez y Gómez, 1983). En el caso de la variable absorción de N en porcentaje, se utilizó la transformación de raíz cuadrada para los datos originales.

Resultados y discusión

Peso seco de hojas y tallo (PSHyT)

Al realizar el análisis de varianza, para la variable peso seco de hojas y tallo (PSHyT) solamente se observó, diferencia estadística ($p \leq 0.01$), para el factor nitrógeno, que se encuentra confundido con la interacción suelos x genotipos x cal (Cuadro 3). Para saber, cuál

de los dos efectos presentó la significancia estadística, se observó la comparación de medias para nitrógeno (Cuadro 4), con pesos de 14.35 y 25.15 gramos por planta, para las dosis de 0 y 140 kg de nitrógeno por ha, respectivamente. Esta diferencia es evidencia suficiente para decidir a favor de la aplicación del nitrógeno. Al transformar los valores de (PSHyT) a kg MS ha⁻¹, para las dosis 0 y 140 kg N/ha, (Cuadro 4), los valores observados fueron de 807.2 y 1414.7, respectivamente muy parecidos a los obtenidos por (Delgado *et al.*, 2004), para maíz en Venezuela, siendo de 806 y 1469 kg MS/ha, para las dosis de 0 y 120 kg N/ha a los 30 días después de la siembra. Delgado (2002) y Naiz *et al.* (2015), indican que la tasa de crecimiento del cultivo se incrementa al aumentar las dosis de nitrógeno, asimismo, la producción de materia seca está estrechamente relacionada con la cantidad de nitrógeno absorbido, lo cual a su vez depende del nitrógeno disponible. La evidencia de mayores tasas de fotosíntesis en las condiciones de mayor absorción de N podría ser, la mayor producción de MS en los tratamientos de mayor dosis de N en comparación con los tratamientos sin fertilizar.

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables peso seco de hojas y tallo (PSHyT) y peso seco de raíces (PSR).

FV	GL	CM (PSHyT)	CM (PSR)
Bloques = suelos x genotipos x N x cal	3	125.37*	56.93
Suelos = genotipos x nitrógeno x cal	1	0.34	14.44
Genotipos=suelos x nitrógeno x cal	1	43.89	2.25
Nitrógeno=suelos x genotipos x cal	1	933.12**	283.81**
Suelos x genotipos= nitrógeno x cal	1	7.84	0.05
Suelos x nitrógeno= genotipos x cal	1	2.88	2.36
Genotipos x N = suelos x cal	1	0.91	87.44
Suelos x genotipos x Nitrógeno= cal	1	69.08	60.77
Error	21	650.41	41.35
Total	31	2084.64	1490.40

*. ** nivel de significancia a los niveles de Tukey $p \leq 0.05$ (*) y 0.01 (**) de probabilidad, respectivamente.

Peso seco de raíces (PSR)

En relación a la variable peso seco de raíces (Cuadro 3) se encontró una diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) para el factor nitrógeno, con valores de 14.35 y 25.15 g para las dosis de 0 y 140 kg N ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables peso seco de hojas y tallo y peso seco de raíces.

Factores	Peso seco de hojas y tallo (g/ plant ¹)	Peso seco de hojas y tallo (kg MS/ h ¹)	Peso seco de raíces (g/ plant ¹)
Variedad criolla	19.65 a ¹	1105.3 a	18.20 a ¹
Híbrido	19.86 a	1117.1 a	16.85 a
Suelo migajón-arenoso	18.58 a	1045.1 a	17.79 a
Suelo franco	20.92 a	1176.7 a	17.26 a
Sin nitrógeno	14.35 b	807.2 b	14.55 b
Con nitrógeno	25.15 a	1414.7 a	20.50 a
Sin cal agrícola	19.21 a	1080.6 a	17.23 a
Con cal agrícola	21.13 a	1188.6 a	18.05 a

¹Medias con letras iguales dentro de factores, indican que no hay diferencia estadística entre los niveles (Tukey, 0.05)

Absorción de nitrógeno en porcentaje (%)

El análisis de varianza para la variable, absorción de nitrógeno en porcentaje, no mostró diferencias estadísticas para ninguno de los factores ni sus interacciones (Cuadro 5). Es decir, sin importar el tamaño de las plantas, se mantuvieron constantes los contenidos de nitrógeno en porcentaje.

Cuadro 5. Análisis de varianza, para las variables: absorción de N (%), absorción de N (gramos) y eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN).

FV	GL	CM	CM	CM EUN
		Absorción de N (%) [†]	Absorción de N (g)	(kg MS/kg N absorbido)
Bloques = suelos x genotipos x N x cal	3	0.37	0.09*	643.96
Suelos = genotipos x nitrógeno x cal	1	0.08	0.004	362.67
Genotipos=suelos x nitrógeno x cal	1	0.002	0.01	25.25
Nitrógeno=suelos x genotipos x cal	1	1.15	0.5**	2554.25**
Suelos x genotipos= nitrógeno x cal	1	0.37	0.03	235.07
Suelos x nitrógeno= genotipos x cal	1	1.12	0.03	1685.93*
Genotipos x N = suelos x cal	1	0.17	0.009	274.67
Suelos x genotipos x Nitrógeno= cal	1	0.007	0.042	28.26
Error	21	6.43	0.43	9251.77
Total	31	10.48	1.34	16340.40

*. ** significativos a los niveles de Tukey $p \leq 0.05$ y 0.01 de probabilidad, respectivamente. [†] Se utilizó la transformación raíz cuadrada para los datos originales.

Eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN)

Para la EUN, se encontraron diferencias estadísticas, para el factor nitrógeno ($p \leq 0.01$) y para la interacción suelo por nitrógeno ($p \leq 0.05$), como se indica en el Cuadro 5. Las medias para la EUN fueron de 72.0 y 53.3 g MS/ g N absorbido, para las dosis de 0 y 140 kg N/ ha (Cuadro 6). Estos valores están dentro de los rangos reportados por Delgado (2002), de 60 a 90 kg de MS/ kg de N absorbido a los 90 días después de la siembra. Al comparar la EUN, en suelos sin y con aplicación de este elemento, se encontró una relación inversa entre la EUN y dosis de N aplicado, es decir, la EUN fue mayor en el tratamiento donde no se aplicó nitrógeno. Esto se explica al considerar que, bajo condiciones de estrés, las plantas tienen funciones compensatorias, asimismo el aumento en la eficiencia fisiológica es un mecanismo de adaptación de las plantas a condiciones de baja fertilidad (Shi *et al.*, 2018).

Absorción de nitrógeno (g/planta)

El análisis de varianza para la variable absorción de N (g/planta), solo mostró diferencia estadística para el factor nitrógeno, con valores de 0.25 g y 0.50 g para los niveles de 0 y 140 kg N/ha, respectivamente (Cuadro 6). Esto debido a una estrecha relación entre el N absorbido y N disponible del suelo que ha sido documentado por Ding *et al.* (2005) quienes indican que existe una relación lineal entre ambas variables.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables: absorción de N en porcentaje absorción de N en gramos y eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN).

Factores	Absorción de N (%) [†]	Absorción de N (g/planta)	Absorción de N (kg N/ ha)	EUN (kg MS/kg N absorbido)
Variedad criolla	1.85 a	0.38 a	21.4 a	59.6 a ¹
Híbrido	1.74 a	0.36 a	20.2 a	65.7 a
Suelo arenoso	1.79 a	0.35 a	19.7 a	63.8 a
Suelo arcilloso	1.80 a	0.39 a	30.0 a	61.5 a
Sin nitrógeno	1.60 a	0.25 b	14.1 b	72.0 a
Con nitrógeno	1.90 a	0.50 a	28.1 a	53.3 b
Sin cal agrícola	1.65 a	0.35 a	19.7 a	63.3 a
Con cal agrícola	1.68 a	0.40 a	22.5 a	65.7 a

¹Medias con letras iguales dentro de factores, indican que no hay diferencia estadística entre los niveles (Tukey, 0.05).

[†] Se utilizó la transformación raíz cuadrada para los datos originales.

Eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN)

Para la EUN, se encontraron diferencias estadísticas, para el factor nitrógeno ($p \leq 0.01$) y para la interacción suelo por nitrógeno ($p \leq 0.05$), como se indica en el Cuadro 5. Las medias para la EUN fueron de 72.0 y 53.3 g MS/g N absorbido, para las dosis de 0 y 140 kg N/ha (Cuadro 6). Estos valores están dentro de los rangos reportados por Delgado (2002), de 60 a 90 kg de MS/ kg de N absorbido a los 90 días después de la siembra. Al comparar la EUN, en suelos sin y con aplicación de este elemento, se encontró una relación inversa entre la EUN y dosis de N

aplicado, es decir, la EUN fue mayor en el tratamiento donde no se aplicó nitrógeno. Esto se explica al considerar que, bajo condiciones de estrés, las plantas tienen funciones compensatorias, asimismo el aumento en la eficiencia fisiológica es un mecanismo de adaptación de las plantas a condiciones de baja fertilidad (Shi *et al.*, 2018).

Interacción textura del suelo por nitrógeno

Al estar confundidas las interacciones de primer orden, suelos x nitrógeno y genotipos x cal (Cuadro 5), y dado que hay una diferencia estadística como efecto principal, para el factor N, se consideró que la interacción significativa es aquella donde participe el N, por tanto, se decidió que la interacción significativa es textura de suelo x nitrógeno. La mayor EUN se obtuvo con los tratamientos donde no se aplicó nitrógeno, acentuándose en el suelo migajón-arenoso. Estas diferencias se atribuyen tanto a la eficiencia en la adquisición del nutrimento por las raíces, como a la adecuada utilización de éste por la planta, ratificando que las plantas en condiciones de estrés desarrollan mecanismos compensatorios que aumentan la eficiencia en los procesos fisiológicos, en este caso, la eficiencia en el uso de N, en suelos de baja fertilidad (Retuerto y Woodward, 2003).

Conclusiones

Para las variables, peso seco de hojas y peso secos de raíces, solo se observaron diferencias estadísticas significativas, a favor de la aplicación de nitrógeno. La absorción de N en porcentaje no mostró diferencia para ninguno de los factores estudiados, ni sus interacciones, mientras que la absorción de N, en gramos fue mayor en las plantas fertilizadas. La eficiencia en el uso de nitrógeno fue mayor en las plantas no fertilizadas debido al mecanismo homeostático de adaptación que presentan todas las especies, en tanto que la interacción suelos x nitrógeno resultó estadísticamente significativa por la naturaleza deficiente del suelo y la absorción que tienen las plantas.

Literatura citada

- Bertsch, F. 2005. Estudios de Absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas* 57:1-10.
- Delgado, R., M. C. Núñez, L. Velásquez. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la Fertilización Nitrogenada. *Agronomía Tropical* 54(4):461-479.
- Delgado, R. 2002. Evaluación de crecimiento del maíz y absorción de nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía tropical* 52(1):5-22.
- Delgado, M. 2002. Effect of nitrogen application on crop growth rate and dry matter production. *Agronomy Journal*, 94(4), 1024-1031.
- Ding, L., K. J. Wang, G. M. Jiang D. K. Biswas, H. Xu, L. F. Li y Y. H. Li. 2005. Efectos de la deficiencia de nitrógeno sobre las características fotosintéticas de híbridos de maíz liberados en diferentes años. *Anales de botánica*, 96(5):925-930.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, an C. A. Jones. 2011. Growth and mineral nutrition of field crops. Third edition. CRC Press. New York, USA. 550 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>.
- Gallais, A and B. Hirel. 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Experimental Botany* (396):295-306.

- Gómez, K. A. y A. A. Gómez. 1983. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edition. John Wiley and sons. Singapore. pp: 230-371.
- González, R. F., D. León G., L. Borges G., L. Pinzón L., M. Magaña M. R. Sangines G. y M. Urrestarazu G. 2014. Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE8):1487-1493.
- Herrera, R., S. C. Vásquez, F. Granja, M. M. Müller, M. C. Morocho y A. O. Guamán. 2022. Interacción de N, P y K sobre características del suelo, crecimiento y calidad de fruto de cacao en la amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, 34(3): 277-288.
- Niaz, A., M. Yaseen, M. Arshad y R. Ahmad. 2015. Respuesta de los índices de rendimiento, calidad y eficiencia en el uso de nitrógeno del maíz a diferentes dosis y tiempos de aplicación. *JAPS: Revista de Ciencias Animales y Vegetales*, 25(4).
- Ortega, T. E. 1981. Química de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 34-70.
- Padrón, C. E. .1996. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería. Edit. Trillas. México. pp:140-180.
- Retuerto, A. and F. I. Woodward. 2003. Stomatal density and carbon gain in a tropical rainforest tree species under ambient and elevated CO₂. *Functional Ecology*, 17(6), 775-786.
- Retuerto, M. and F. I. Woodward. 2003. Plant stress responses: Physiological adaptations and compensatory mechanisms. *Plant Physiology*, 132(2), 1277-1287.
- Salazar, O., R. Díaz, A. Nario, X. Videla, M. Alonso-Ayuso y M. Quemada. 2021. Eficiencia de Fertilizante Nitrógeno determinada mediante la técnica de dilución 15N en maíz seguido o no de un cultivo de cobertura en Chile Mediterráneo. *Agricultura*, 11(8), 721.

- Smith, J. 2020. Nitrogen use efficiency in agriculture. Springer.
- Sosa-Rodrigues, B. A. y Y. S. García-Vivas. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 207-219.
- Shi, B., Wang, Y., Meng, B., Zhong, S. y Sun, W. 2018. Los efectos de la adición de nitrógeno sobre la susceptibilidad a la sequía del ecosistema de pradera de *Leymus chinensis* varían según la duración de la sequía. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 9, 254.
- Stuart, P. G. 1993. Taguchi methods. Addison-Wesley Publishing Company. USA. pp:12-60.
- Xu, G., X. Fan y A. J. Miller. 2012. Asimilación y eficiencia de uso del nitrógeno en las plantas. *Revisión anual de biología vegetal*, 63, 153-182.
- Yato, G. A. y J. A. Orihuela. 2015. Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: rendimiento y extracción de N, P Y K. *Ecología Aplicada*, 14(2), 157-162.
- Zenteno, M. D. C., W. D. D Cabanilla., F. L. M. Intriago, B. J. R. Moreira y J. E. C. Chávez. 2019. Variación en la absorción de macronutrientes en híbridos de maíz duro. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1), 20-31.

BOKASHI UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ESQUEJES DE PITAHAYA

Jeremías Nataren Velázquez^{97*}, Nain Peralta Antonio⁹⁷, Denis Adolfo Medina Sánchez⁹⁸
y Monserrat Reyes Daza⁹⁸

Resumen

El abono orgánico bokashi es una alternativa potencial para ser usado como sustrato en la producción de esquejes de pitahaya. El objetivo fue determinar las características de la producción de raíces y brotes en esquejes de pitahaya manejados con diferentes sustratos, suelo, bokashi, arena y el fertilizante inorgánico fosfato diamónico (DAP) aplicado en forma líquida; con la finalidad de identificar las mejores alternativas para la producción de esquejes en la región costera central de Veracruz, México. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, donde el factor de bloqueo fue la pendiente del terreno. Una planta constituyó la unidad experimental. Se consideraron 54 plantas por tratamiento. Los tratamientos consistieron en diferentes tipos de sustrato. Se utilizó arena de río y suelo, que se mezclaron con el bokashi en la proporción 1/1 y 1/0.5 (volumen/volumen) (1Arena/1Bokashi, 1Arena/0.5Bokashi, 1Suelo/1Bokashi y 1Suelo/0.5Bokashi), se utilizó exclusivamente arena de río y suelo, o bien, el suelo más aplicaciones semanales de DAP, suministrado en el agua de riego, en las concentraciones de 1 y 5% (Suelo+DAP1 y Suelo+DAP5). Se detectó diferencias estadísticas en el área de raíces (cm²), número de raíces, longitud promedio de raíces (cm), peso fresco de raíces (g), número de brotes por esqueje, longitud y diámetro central del brote (g), así como el peso fresco de brotes (g). Se concluye que, la mezcla de suelo franco-limoso o arena de río con el abono orgánico bokashi en la proporción 1:1 (volumen/volumen) es una alternativa viable para que en un período de 50 días se obtengan esquejes de pitahaya con 13 a 16 raíces, que pesen entre 6 y 7 gramos de peso fresco y que esto, se refleje en tallos que emiten entre 2.4 y 3.0, con peso fresco de 14 a 17 g. Estos valores son superiores al obtenido con el uso exclusivo de arena de río, suelo ó suelo acompañado de aplicaciones semanales del fertilizante inorgánico DAP.

Palabras clave: fertilidad de suelo, sustrato, *Hylocereus undatus*, Gladiodos

⁹⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 94270, México. *nataren.jeremias@inifap.gob.mx

⁹⁸ Universidad Tecnológica de Tehuacán. Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo Tepetzingo, 75859 Tehuacán, Pue.

Introducción

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una especie originaria de México, sin embargo, a pesar de ser una especie nativa aún ocupa poca superficie sembrada. A nivel nacional se reporta una superficie de 2538 hectáreas distribuidas en los estados de Aguascalientes, Guerrero, Nuevo León, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tabasco y Yucatán. Por el momento, Quintana Roo destaca como el mayor productor, abarcando el 73% de la superficie total (SIAP, 2023). Debido a la poca oferta de fruta en el país y su alta demanda en el mercado de exportación, la pitahaya alcanza precios atractivos para el productor, a nivel nacional se tiene un precio promedio de \$18 242/tonelada, con un rendimiento promedio de 6.357/ha (SIAP, 2023).

La pitahaya es un cultivo que tiene mucho potencial de crecimiento debido a sus características, por ejemplo, aceptación en el mercado local e internacional, se puede consumir como fruta fresca, como hortaliza e incluso como forraje para animales; al ser una cactácea es un cultivo que se adapta a diversos ambientes, incluidos suelos de baja fertilidad, manejo en condiciones de temporal y áreas de baja precipitación (Montesinos *et al.*, 2015). Por el momento, una limitante para el incremento de la superficie sembrada es la disponibilidad de planta. Debido al reducido número de áreas productoras, es indispensable que se cuente con tecnología adecuada que permita obtener esquejes de calidad en el menor tiempo posible, utilizando insumos baratos y de fácil adquisición.

Para producción masiva de plántulas se pueden utilizar técnicas de multiplicación por cultivo *in vitro* (Martínez, 2023), sin embargo, se debe considerar que este método lo debe realizar personal capacitado, requiere mayor inversión, además se requiere mayor tiempo para que la planta alcance la etapa productiva. De forma tradicional, los productores multiplican sus propios esquejes. Para una correcta producción de esquejes, se deben obtener cladodios o tallos a partir de plantas productivas, para asegurar que la formación de frutos inicie en un periodo inferior a dos años posteriores a la plantación. La producción de esquejes se puede realizar posterior a la cosecha de frutos, en el momento que se realiza la poda de tallos. De manera tradicional, el sustrato utilizado por los productores consiste en el suelo de la unidad de producción. Sin embargo, se ha comprobado que algunos insumos agroecológicos como los microorganismos eficientes pueden favorecer a una mayor producción de raíces y brotes.

El uso de fertilizantes inorgánicos aplicados de forma líquida puede ayudar a la obtención de esquejes vigorosos (Navarrete, 2023). Otro insumo agroecológico que ha mostrado potencial para la producción de plántulas en otras especies vegetales ha sido el abono orgánico bokashi, mezclado con el suelo en las proporciones 1:1 o 1:2 (volumen/volumen) (Gashua *et al.*, 2022). El bokashi tiene la ventaja de ser un insumo que puede preparar el propio productor, con mano de obra familiar. En el proceso de elaboración se puede aprovechar una serie de residuos orgánicos regionales tales como, estiércol de animales de cría intensiva, arvenses locales, residuos de cosecha, residuos de agroindustria, residuos de minas, mineral de río, etc. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar las características de producción de raíces y brotes en esquejes de pitahaya manejados con diferentes sustratos constituidos por el uso de suelo, bokashi, arena y el fertilizante inorgánico fosfato diamónico (DAP) aplicado de forma líquida, con la finalidad de identificar las mejores alternativas para la producción de esquejes en la región costera central de Veracruz, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó de enero a abril de 2024, en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el km 34.5 carretera Veracruz-Córdoba, en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, ($18^{\circ} 49' 59''$ N; $96^{\circ} 22' 59''$ W). El suelo utilizado presentó un pH de 6.63, con 2.41% de materia orgánica, de textura franca-limosa (23, 17 y 60% de arcilla, arena y limo). La concentración de N nítrico, $P-PO_4^{-}$, $S-SO_4^{-2}$, K^{+} y Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{+} y B^{3+} fue de 12.8, 96.0, 6.67, 400.0, 1940.0, 320, 72, 8.6, 3.3, 5.5 y 0.2 ppm, respectivamente.

Se realizó el registro de temperatura y precipitación durante el período del experimento (Figura 1).

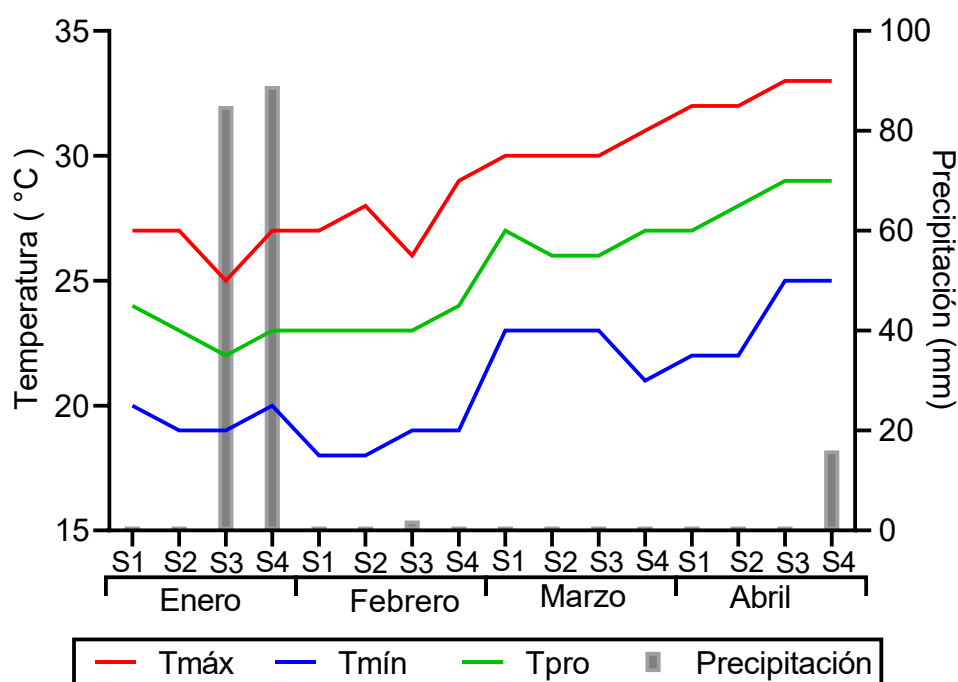


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (Tpro) y la precipitación de enero - abril 2024, en Medellín, Veracruz.

Esquejes de pitahaya

Los esquejes se obtuvieron de plantas productivas de pitahaya (cáscara rosada y pulpa blanca) establecidas en el Campo Experimental Cotaxtla. Se seleccionaron plantas vigorosas y sanas. Se cortaron tallos que hubieran alcanzado mínimo el 90% de su longitud final, dichos tallos se identificaron por tener una coloración verde oscuro con areolas y espinas con maduración completa. Se seleccionaron tallos que presentaban un grosor de 5 a 7 cm, la longitud de los tallos fue de 25 cm.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, el factor del bloqueo fue la pendiente del terreno. Los tratamientos consistieron en diferentes sustratos constituidos por el uso de suelo, arena de río (1 a 3 mm de diámetro), el abono orgánico bokashi y el fertilizante inorgánico fosfato diamónico (DAP) constituido por 18-46% de N-P₂O₅. El suelo se mezcló con bokashi

en la proporción 1/1 y 1/0.5 (volumen/volumen) (1Suelo/1Bokashi y 1Suelo/0.5Bokashi), se utilizó suelo más aplicaciones semanales de DAP aplicado en el agua de riego en las concentraciones de 1 y 5% (Suelo+DAP1 y Suelo+DAP5), también la utilización exclusiva de suelo. Por otra parte, se utilizó la mezcla de arena de río con el bokashi en la proporción 1/1 y 1/0.5 (volumen/volumen) (1Arena/1Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi), así como el uso exclusivo de arena. Una planta constituyó la unidad experimental. Se consideraron 54 plantas por tratamiento.

El bokashi utilizado se elaboró utilizando estiércol vacuno, residuos de arvenses gramíneas locales, tierra, arena, salvado de trigo y ceniza en la proporción 4:2:1:1:0.7:0.7 (volumen/volumen). Los materiales se humedecieron con una mezcla de melaza y agua (melaza al 10%). Al momento en que se utilizó el bokashi presentaba una humedad del 30%. Las características del bokashi fueron las siguientes: 19.52 y 11.32% de materia orgánica y C, respectivamente; pH de 6.61 y conductividad eléctrica de 0.43 mS/cm; densidad de 0.83 g/cm³ relación C/N de 12.58; 0.9, 1.17, 0.84, 2.67, 0.68, 0.95, 0.03, 0.00, 0.05 y 0.03% de N total, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Fe²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ y B²⁺, respectivamente.

Establecimiento de esquejes

Para establecer los esquejes se realizaron excavaciones en el suelo. Se excavó un volumen de 2 x 1 x 0.2 m. Los volúmenes excavados se llenaron con cada uno de los sustratos, posteriormente se plantaron los esquejes de pitahaya. Previo a la plantación, en la base de los esquejes se realizó un corte para eliminar la parte succulenta del tallo y únicamente dejar la parte leñosa del mismo, inmediatamente después, el área de corte fue sumergido durante 5 minutos en una solución conformada por 800 mL de caldo sulfocálcico en 20 L de agua. En cada área de siembra, los esquejes se colocaron en tres hileras, depositando 18 plantas en cada hilera. El espacio entre hileras fue de 0.30 m, dejando 0.20 m de orilla. La distancia entre esquejes fue de 0.10 m.

Para hidratar a los esquejes se realizaron riegos semanales, en cada fecha de riego se aplicó un equivalente de 1.35 L de agua por esqueje. Para los tratamientos que incluyeron DAP, en cada fecha de riego se aplicó 67.5 o 13.5 g de este fertilizante. En total se realizaron seis riegos, esto representa una aplicación total de 405 y 81 g con los tratamientos Suelo+DAP5 y Suelo+DAP1, respectivamente.

Producción de raíces y brotes de pitahaya

El efecto de los tratamientos fue evaluado 50 días posteriores a la plantación, en cinco unidades experimentales elegidos al azar, se registró el área ocupada por las raíces (cm^2), el número, longitud promedio y peso fresco de raíces. Las raíces de cada brote fueron colectadas, lavadas y colocadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 70°C hasta alcanzar peso constante. Además, se registró el número de brotes por tallo, la longitud, diámetro central y el peso fresco de los brotes.

Análisis de datos

Para comparar los tratamientos, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Prueba de Scott-Knott, ambos con un 95% de probabilidad ($p \leq 0.05$). Para cada tratamiento, se realizó un análisis de correlación de Pearson ($p < 0.05$) para conocer el grado de asociación entre las variables de la raíz con las características de los brotes obtenidos en los esquejes de pitahaya.

Resultados y discusión

Similar área de raíz fue obtenida con 1suelo/0.5bokashi, 1arena/0.5bokashi y arena, los tres superaron al resto de tratamientos (Figura 2a). El mayor número de raíces se encontró con 1Suelo/1Bokashi, 1Suelo/0.5Bokashi y Suelo (Figura 2b). La mayor longitud de raíz se presentó con la Arena (Figura 2c). Un menor peso fresco de raíces se encontró con Suelo+DAP1, 1Arena/1Bokashi y Arena (Figura 2d). No se detectaron diferencias estadísticas en el peso seco de raíces (Figura 2e).

El mayor número de brotes se logró con 1Suelo/1Bokashi, 1Suelo/0.5Bokashi, Suelo+DAP5 y Suelo+DAP1 (Figura 3 a). El mayor diámetro de brotes fue registrado con el tratamiento 1Arena/1Bokashi (Figura 3b). La longitud y peso fresco de brotes obtenido con 1Suelo/1Bokashi, 1Arena/1Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi fueron estadísticamente iguales y los tres superaron al resto de tratamientos (Figuras 3c y 3d).

Con el tratamiento 1Suelo/1Bokashi, se detectó alta correlación negativa entre el área de raíz y el peso fresco de brotes, pero se encontró correlación positiva entre el peso fresco de brotes

con el peso fresco y seco de raíz, así como con la longitud y diámetro de los brotes (Cuadro 1). Con el tratamiento 1Suelo/0.5Bokashi, se detectó correlación negativa entre el número de brotes emitidos con el área y peso seco de raíz. El peso fresco de brotes se correlacionó positivamente con el peso seco de raíz y las dimensiones del brote; sin embargo, hubo una correlación negativa entre número de brotes y el peso fresco de brotes (Cuadro 1).

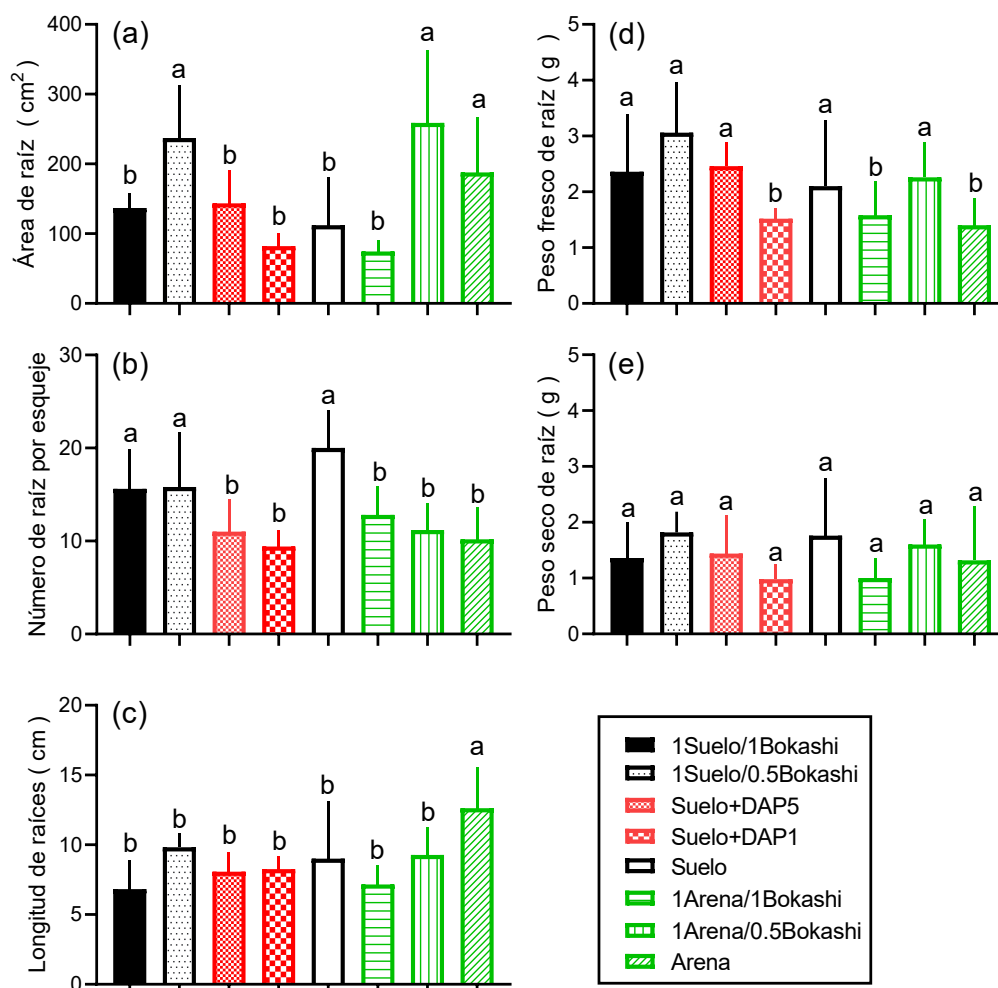


Figura 2. Características de la raíz de esquejes de pitahaya en función de diferentes sustratos, constituidos por la aplicación exclusiva de suelo o arena, suelo o arena mezclada con el abono bokashi en la proporción 1/1 y 1/0.5 (1Suelo/1Bokashi, 1Suelo/0.5Bokashi, 1Arena/1Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi), así como, suelo más aplicaciones de DAP en las concentraciones de 1 y 5% (Suelo+DAP1 y Suelo+DAP5), en Medellín, Veracruz.

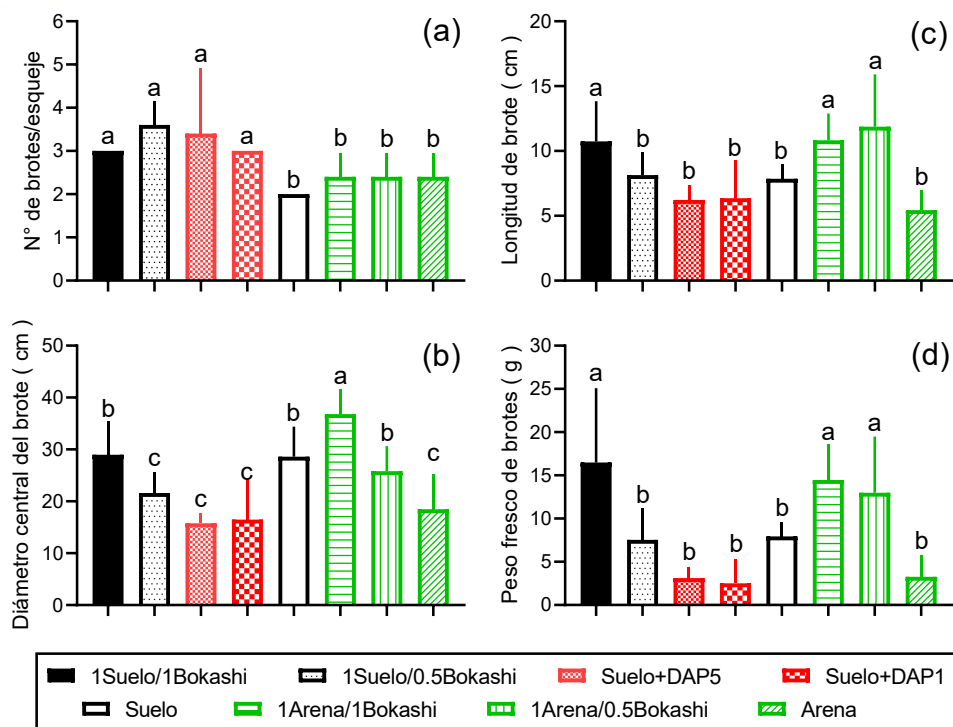


Figura 3. Características de brotes de esquejes de pitahaya en función de diferentes sustratos, constituidos por la aplicación exclusiva de suelo o arena, suelo o arena mezclada con el abono bokashi en la proporción 1/1 y 1/0.5 (1Suelo/1Bokashi, 1Suelo/0.5Bokashi, 1Arena/1Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi), así como, suelo más aplicaciones de DAP en las concentraciones de 1 y 5% (Suelo+DAP1 y Suelo+DAP5), en Medellín, Veracruz.

Con el tratamiento Suelo+DAP5, solo se detectaron correlaciones positivas. El número de brotes se correlacionó con el área y la longitud de raíces, así mismo, el peso fresco de brotes se correlacionó con el número, longitud y peso fresco de raíces, al igual que con las dimensiones del brote (Cuadro 1). Para el tratamiento Suelo+DAP1, solo se detectó correlación entre el peso fresco de raíces y las dimensiones del brote (Cuadro 1).

En el caso del tratamiento Suelo, se detectó una correlación negativa entre el área de raíces con el peso fresco de brotes. También se detectó correlación positiva entre el peso fresco de raíces con el número y longitud de raíces, al igual que con las dimensiones del brote (Cuadro 1). Con el tratamiento 1Arena/1Bokashi se detectó una correlación negativa entre el número de brotes y el número de raíces, mientras que, hubo correlación positiva entre el peso fresco

de brotes con el número y longitud de raíces, al igual que con las dimensiones del brote (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coeficiente de correlación de Pearson entre las características del brote y de la raíz de pitahaya en función de diferentes sustratos, constituidos por la aplicación exclusiva de suelo o arena, suelo o arena mezclada con el abono bokashi en la proporción 1/1 y 1/0.5 (1Suelo/1Bokashi, 1Suelo/0.5Bokashi, 1Arena/1Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi), así como, suelo más aplicaciones de DAP en las concentraciones de 1 y 5% (Suelo+DAP1 y Suelo+DAP5), en Medellín, Veracruz.

	Área de la raíz	Número de raíces	Longitud de raíz	Peso fresco de raíz	Peso seco de raíz	Número de brotes	Longitud de brotes	Diámetro central de brotes
1Suelo/1Bokashi								
Número de brotes	-	-	-	-	-	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	-0.61	0.27	0.58	0.91	0.80	-	0.95	0.86
1Suelo/0.5Bokashi								
Número de brotes	-0.67	0.28	-0.30	-0.34	-0.81	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	0.42	-0.25	-0.04	0.24	0.65	-0.86	0.92	0.99
Suelo+DAP5								
Número de brotes	0.64	0.42	0.71	-0.32	-0.31	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	-0.03	0.55	0.63	0.54	-0.07	0.21	0.88	0.62
Suelo+DAP1								
Número de brotes	-0.22	-0.41	-0.08	-0.11	-0.10	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	0.20	0.14	-0.15	0.27	0.08	-0.38	0.91	0.80
Suelo								

	Área de la raíz	Número de raíces	Longitud de raíz	Peso fresco de raíz	Peso seco de raíz	Número de brotes	Longitud de brotes	Diámetro central de brotes
Número de brotes	-	-	-	-	-	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	-0.57	0.67	0.58	0.23	0.14	-	0.81	0.63
1Arena/1Bokashi								
Número de brotes	0.08	-0.53	0.20	0.40	0.39	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	0.25	0.92	0.63	0.34	0.05	-0.39	1.00	0.95
1Arena/0.5Bokashi								
Número de brotes	-0.34	-0.22	0.26	-0.45	-0.50	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	0.64	-0.36	0.45	0.30	0.54	-0.28	0.92	0.81
Arena								
Número de brotes	-0.33	0.73	-0.36	0.47	0.60	1.00	-	-
Peso fresco de brotes	-0.12	-0.85	-0.13	-0.40	-0.54	-0.78	0.80	0.48

En el caso de tratamiento 1Arena/0.5Bokashi, se detectó correlación negativa entre el número de brotes emitidos con el peso seco de la raíz, pero hubo correlación positiva entre el peso fresco de brotes con el número de brotes, peso seco de raíz y las dimensiones del brote (Cuadro 1). En el tratamiento que solo incluyó la Arena, se detectó correlación positiva entre el número de brotes emitidos con el número y peso seco de raíces; sin embargo, el peso fresco de raíces se correlacionó negativamente con el número y peso seco raíces, asimismo con el número de brotes emitidos (Cuadro 1).

Para este estudio se utilizó un suelo franco-limoso que de acuerdo con sus características químicas se clasifica como un suelo neutro de fertilidad media (Salgado *et al.*, 2006), el uso exclusivo del suelo promovió el máximo número de raíces (20 raíces por esqueje), sin embargo, ese mayor número de raíces no se reflejó en efectos positivos para la producción de

brotos. Por otra parte, el uso exclusivo de arena de río favoreció tanto al crecimiento lateral como al crecimiento vertical de las raíces, ya que destacó en el área de raíces (187 cm^2) y fue el tratamiento que alcanzó la máxima longitud de raíces (12.6 cm), sin embargo, estos beneficios tampoco se reflejaron en la producción y tamaño de los brotes. Tanto el Suelo como la Arena fueron los tratamientos con menor disponibilidad de nutrientes, por lo tanto, se especula que la respuesta fisiológica de la planta fue priorizar la producción de raíces en lugar de los brotes como una estrategia de sobrevivencia (Gruber *et al.*, 2013), lo cual explicaría la correlación negativa detectado con esos tratamientos, específicamente entre el peso fresco de brotes con el área y con el número de raíces. Por otra parte, el fertilizante inorgánico DAP no se diferenció con respecto al uso exclusivo de suelo o de arena ya que, únicamente promovió efectos positivos en el peso fresco de raíces y en el número de brotes emitidos, específicamente cuando se aplicó el 5%. Por lo anterior, no se considera como una alternativa viable para la producción de esquejes.

De acuerdo con los resultados, el bokashi es una buena alternativa para la producción de esquejes. Una mayor área de raíz conseguido al mezclar tierra o arena con bokashi en una proporción 1:0.5 (volumen/volumen) indica que se promovió un mayor crecimiento lateral de las raíces (237 y 259 cm^2 con 1Tierra/0.5Bokashi y 1Arena/0.5Bokashi), esta característica es deseable en plantaciones comerciales ya que se pueden aprovechar los nutrientes y el agua distribuido en el suelo. La correlación positiva entre peso de brotes con el peso fresco o peso seco de raíz indica que los efectos positivos en la producción raíz favoreció a la producción y características de los brotes, principalmente cuando se utilizó tierra y arena la proporción 1:1, ya que fueron los tratamientos que destacaron con mayor número (2.4 a 3.4 brotes/esqueje), longitud (10.7–11.9 cm), diámetro central (2.7 a 3.7 cm) y peso fresco de brotes (14.4 a 16.5 g). Esta mejor respuesta lograda con el bokashi se atribuye a los nutrientes suministrados y al incremento de materia orgánica contenida en el sustrato. De igual manera y considerando el volumen del área de plantación (0.4 m^3), la densidad del bokashi (0.8 g/cm^3) y una densidad aparente del suelo de 1 g/cm^3 , a cada planta le correspondió 6.7 kg de sustrato, de los cuales, 3 kg fueron bokashi. De acuerdo con las características químicas del bokashi, con esos 3 kg, a cada planta se le suministró 578, 27, 35, 25, 79 y 20 g de materia orgánica, N total, P_2O_5 , K_2O , CaO y MgO, respectivamente. Se especula que una temperatura entre 20 y 30°C , junto con los riegos semanales, favorecieron la mineralización nutriente; además, el incremento de

materia orgánica en el sustrato favoreció la retención de agua y la aireación de las raíces (Olle *et al.*, 2021), todos estos beneficios se reflejaron en esquejes con un mejor sistema radicular y en consecuencia con mayor producción de brotes.

Conclusiones

La mezcla de suelo franco-limoso o arena de río con el abono orgánico bokashi en la proporción 1:1 (volumen/volumen) es una alternativa viable para que un período de 50 días se obtengan esquejes de pitahaya con 13 a 16 raíces, que pesen entre 6 y 7 gramos de peso fresco y que esto se refleje en tallos que emiten entre 2.4 y 3.0 brotes, con peso fresco de 14 a 17 g. Estos valores son superiores al que se obtiene con el uso exclusivo de arena de río, suelo o el suelo acompañado de aplicaciones semanales del fertilizante inorgánico DAP.

Literatura citada

- Gashua, A. G., Z. Sulaiman, M. M. Yusoff, M. Y. A. Samad, M. F. Ramlan, M. A. Salisu, M. S. J. Mokhtar. 2022. Potting media made with bokashi compost to improve the growth and biomass accumulation of rubber seedlings. *Journal of Rubber Research* 25(2):127-139.
- Gruber, B. D., R. F. Giehl, S. Friedel, N. von Wirén. 2013. Plasticity of the Arabidopsis root system under nutrient deficiencies. *Plant physiology* 163(1):161-179.
- Martínez Arroyo, M. C. 2023. Micropropagación de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Sistemas de Inmersión Temporal. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Cordoba. Amatlán de Los Reyes, Veracruz. 58 p.
- Montesinos Cruz, J. A., L. Rodríguez-Larramendi, R. Ortiz-Pérez, M. D. L. Á. Fonseca-Flores, G. Ruíz Herrera, F. Guevara-Hernández. 2015. Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales* 36:67-76.

- Navarrete Torres, A. H. 2023. Evaluación de la propagación de pitahaya (*Hylocereus undatus*) bajo diferentes esquemas de nutrición. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 74 p.
- Olle M. 2021. Bokashi technology as a promising technology for crop production in Europe. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 96(2):145-152.
- Salgado-García, S., D. J. Palma-López, J. Lagunes-Espinoza, M. Castelán-Estrada. 2006. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. 2ª ed. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 89 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 11 de junio de 2024].

IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA SECADERA EN ARÁNDANO AZUL (*Vaccinium corymbosum*) Y SU CONTROL *in vitro*

Yurixhi Atenea Raya Montaña^{99*}, Ma. Blanca Nieves Lara Chávez⁹⁹, Patricio Apáez Barrios¹⁰⁰,
Juan Mendoza Churape⁹⁹ y José Ildefonso García González⁹⁹

Resumen

El cultivo de arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) en los últimos años en México ha ido en aumento, esto se debe principalmente a sus propiedades organolépticas y nutraceuticas, sin embargo, como sucede en muchos cultivos, presenta limitantes entre las que destacan las enfermedades de tipo fungoso, mismas que ocasionan una disminución considerable en su rendimiento. Entre estas enfermedades se encuentra la secadera, que llega a producir la muerte de las plantas. El objetivo del presente estudio fue aislar, identificar y caracterizar el agente causal de la secadera de arándano azul y su control *in vitro*. Los muestreos se realizaron en tres municipios de Michoacán con diferencias edafoclimáticas. Mediante el protocolo de Agrios se aislaron tres cepas con características similares a las reportadas para *Pestalotiopsis* sp, a las cuales se les asignaron las claves CAZr01, CAZh02 y CATg03. De los aislamientos se determinaron caracteres morfológicos como coloración, forma de la colonia y estructuras reproductivas. Para los bioensayos de sensibilidad *in vitro* se usaron los fungicidas; Robust R®, Tacora 25 Ew®, Cabrio® C, Programic® Mega, Aliette® Wdg, a tres dosis (baja, media y alta) de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y un testigo con solo agua estéril. La virulencia y severidad de los aislamientos fue determinada mediante pruebas de patogenicidad en plantas sanas, los cuales presentaron síntomas similares a los observadas en campo. El diseño experimental fue completamente al azar y se aplicó un análisis de comparación de medias Tukey al 5% de probabilidad del error. El fungicida con mejor resultado para el control del crecimiento micelial de las tres cepas aisladas CAZr01, CAZh02 y CATg03 fue Tacora 25 Ew® en sus tres dosis (baja, media y alta). La cepa CAZh02 resultó la más virulenta al requerir menos tiempo para ocasionar la muerte de la planta. Se encontró que el agente causal de la secadera en arándano azul fue *Pestalotiopsis* sp., controlado más eficientemente *in vitro* por Tacora 25 Ew® y de las tres cepas aisladas *Pestalotiopsis* sp CAZh02 es la más letal.

Palabras clave: aislados, efectividad de fungicidas, *Pestalotiopsis*

⁹⁹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez'. Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín, Colonia viveros, Uruapan, Michoacán, México, C.P. 60170.

¹⁰⁰ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Facultad de Ciencias Agropecuarias. Prolongación de la calle Mariano Jiménez S/N Col. El Varillero. 60670 Apatzingán de la Constitución, Michoacán, México. C.P. 60660. *Autor para correspondencia: yurixhi@umich.mx

Introducción

México se ha especializado en la producción y exportación de arándanos predominantemente azules, gracias a la diversidad de climas y condiciones propicias que favorecen su crecimiento y rendimiento (SADER, 2018). En México durante en el año 2023 la producción de este frutal fue de 80,133 t que fueron producidas en 5,836 ha, por lo que el rendimiento promedio fue de 13.7 t /ha y el valor de la producción fue \$5,212 millones de pesos (SIAP, 2023).

A nivel nacional, Michoacán ocupa el tercer lugar con 209 t pero genera el mayor valor de la producción, en el estado destacan el municipio de Salvador Escalante donde se concentra el 24% de la producción del Estado, le sigue Tangancícuaro con el 16% y en tercer lugar se encuentra Los Reyes con el 12% de la producción total, en décimo lugar está Ziracuaretiro con el 4% de la producción del estado (SIAP, 2023).

En los sitios donde se cultiva el arándano, una de las principales limitantes de la producción son las enfermedades de diferentes índoles, donde destacan las de tipo fungoso, ya que estas afectan la calidad de los frutos y ocasionan pérdidas considerables en la producción por la muerte masiva de plantas, y el decaimiento de los huertos, entre los principales agentes causales de enfermedades fungosas que se presentan son: *Colletotrichum* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., (Mondragón *et al.*, 2012), que provocan daños en las raíces, tallos y hojas. Sin embargo, existen algunos otros microorganismos de importancia que producen síntomas similares y que aún no han sido identificados para determinar el control apropiado, como ocurre en arándano, donde se han observado síntomas de secadera que llegan a disminuir su rendimiento de manera importante o incluso a causar la muerte de las plantas a cualquier edad. El objetivo del presente estudio fue aislar, identificar y caracterizar el agente causal de la secadera de arándano azul y su control *in vitro*.

Materiales y métodos

Área de estudio y material biológico

Se recolectaron muestras de plantas de arándano con síntomas de clorosis del follaje, defoliación, muerte completa de ramas y necrosis de coloración rojiza en la parte basal del

tallos (Figura 1). Estas se depositaron en bolsas Ziploc®, que fueron etiquetadas con los siguientes datos: fecha, orden de recolección, nombre del huerto y coordenadas (GPS) de tres municipios de Michoacán: El municipio de Salvador Escalante se localiza entre los paralelos 19° 24' 23" de LN y 101° 38' 24" LO a 2,239 m de altitud; el municipio de Ziracuaretiro ubicado entre los paralelos 19° 21' 31" LN y 101° 48' 00" LO a 2,400 m de altitud y el municipio de Tangancícuaro entre los 19° 53' 17" LN y 102° 17' 30" LO a 3,400 m de altitud.



Figura 1. Daños observados en campo en el cultivo de Arándano azul cv biloxi. A) Síntomas presentes en la parte aérea, defoliación. B) Tallos con una coloración rojiza. C) Tallo con presencia de necrosis.

Los aislamientos se hicieron a partir de tallos con síntomas de la enfermedad de acuerdo al protocolo descrito por Agrios (2005), la técnica incluyó el lavado y la desinfección con hipoclorito de sodio al 33%, seguido de dos enjuagues con agua destilada estéril. Se colocaron cinco fragmentos de tallo desinfectados de forma equidistante en una caja Petri con medio de cultivo PDA Bioxon®.

Para la purificación de las cepas aisladas se tomaron puntas de hifa con ayuda de un bisturí previamente esterilizado. Posteriormente se transfirieron por separado a nuevas cajas Petri con medio de cultivo PDA. Una vez que se observó desarrollo de colonias de hongos que

emergieron de los explantes y crecieron en el medio de cultivo, fueron transferidas a partir de puntas de hifas a nuevas cajas con medio SNA para la obtención de conidios.

Después de tres semanas de reposo se tomaron discos de medio SNA de 5 mm de diámetro y se colocaron en tubos de ensaye con 5 mL de agua destilada estéril. Los tubos se agitaron para obtener una suspensión de conidios, se tomaron 25 μ L con una micropipeta y se depositaron al centro de una caja Petri con medio PDA, la suspensión se distribuyó con un asa bacteriológica previamente esterilizada y se incubó a 25°C por 24 h. Al término de la incubación se agregaron 4 mL de glicerol estéril al 25%, se agitó con la micropipeta para desprender los conidios y se recuperó la solución a viales criogénicos estériles que se almacenaron a -80°C hasta su uso. De cada aislamiento se inocularon 20 μ L de suspensión de conidios en glicerol al 25% en cajas Petri con PDA, para determinar las características microscópicas y macroscópicas que se obtuvieron con apoyo de los resultados obtenidos por Jeewon *et al.* (2003) y Maharachchikumbura *et al.* (2011).

Evaluación de sensibilidad *in vitro* a fungicidas

Los tres aislados se cultivaron en cajas Petri con medio de cultivo PDA para obtener cepas jóvenes, en las que se evaluó la sensibilidad *in vitro* a los fungicidas Robust R® (Benomilo), Tacora 25Ew® (Tebuconazol), Cabrio C® (Boscalid + Pyraclostrobin), Programic Mega® (extracto de *Larrea tridentata*), Aliette Wdg® (Fosetil-Al) a tres dosis: baja, media y alta, más un testigo solo con agua destilada. Las dosis de los fungicidas se determinaron de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Para cada cepa se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones, se utilizaron dos cajas Petri para cada repetición.

La respuesta de la sensibilidad de las cepas a los fungicidas se determinó de acuerdo al valor promedio final del diámetro de crecimiento de cada cepa, con una regla de plástico transparente graduada de 30 cm de largo, las mediciones se hicieron cada 24 h, estas se suspendieron cuando el micelio de alguno de los tratamientos alcanzó los discos del papel filtro.

Pruebas de patogenicidad

Las pruebas de patogenicidad se realizaron en plantas sanas de arándano azul de la variedad biloxi, con cada uno de los aislamientos obtenidos, para cada cepa se hicieron tres repeticiones y un testigo con agua destilada. El sustrato que se utilizó fue peat moss mezclado con tierra de encino, esterilizado en una autoclave a 121°C durante 60 min. Una vez que se alcanzó la temperatura para su manejo, se depositó en macetas de plástico previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 33%. Para la inoculación se realizó una mezcla con la totalidad de la caja Petri completamente invadida por cada uno de los aislados obtenidos en 40 mL de agua tridestilada estéril, se mezcló con la ayuda de un rotor mecánico hasta lograr una solución homogénea. Una vez que se tuvo listo el inóculo se tomaron 5 mL y se colocaron en la raíz de cada planta sin causar daño.

Para el caso de las pruebas de patogenicidad, se evaluaron las variables de severidad y virulencia de cada uno de los aislados. La severidad se determinó con base en la sintomatología visual del follaje, la cual indica con 0: planta sana, 1: planta con hojas amarillas, 2: amarillamiento foliar, 3: necrosis apical y 4: muerte de la planta. Las observaciones se realizaron cada 24 h a partir de la inoculación hasta la muerte de la primera planta.

Resultados y discusión

De los aislamientos realizados a partir del material con síntomas de secadera en plantas de arándano azul, se obtuvieron tres aislados con características que coinciden con las reportadas para el género *Pestalotiopsis* sp. a los cuales se les asignaron las claves de cepario: CAZr01, CAZh02 y CATg03 (Figura 2).

Las cepas se identificaron de acuerdo a las características tanto culturales como microscópicas, se observaron abundantes conidios en las diferentes cepas de los tres municipios, los conidios presentaron cinco células, dos hialinas en extremos y tres vercoloras en el centro, además la presencia de tres apéndices apicales y uno basal, a excepción de la cepa CAZh02, que presentó dos apéndices apicales y uno basal (Figuras 3, 4 y 5).

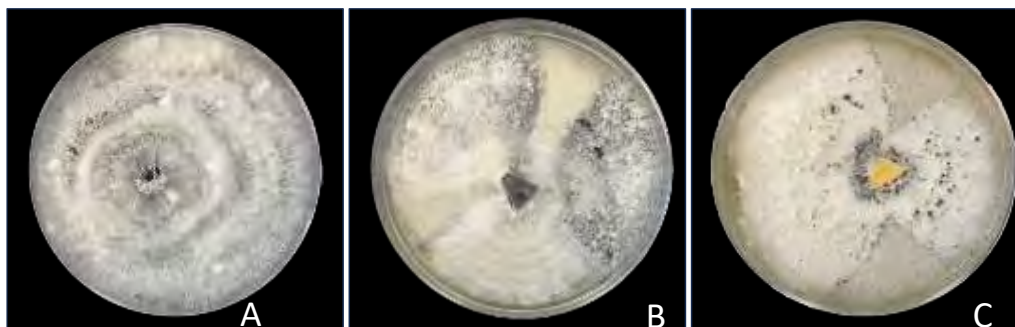


Figura 2. Cepas obtenidas de los muestreos realizados. A) CAZr01 del municipio de Ziracuaretiro, B) CAZh02 del municipio de Salvador Escalante, C) CATg03 y del municipio de Tangancícuaro, todas del estado de Michoacán.



Figura 3. Cepa CAZr01 identificada como *Pestalotiopsis* sp. crecidas en medio nutritivo PDA: A) Anverso de la cepa, presencia de acérvulos, B) reverso de la cepa, C) Conidio de *Pestalotiopsis* sp., 5 células 2 hialinas y 3 versicolor, con tres apéndices apicales y uno basal.



Figura 4. Cepa CAZh02 identificada como *Pestalotiopsis* sp. crecidas en medio nutritivo PDA: A) Anverso de la cepa, presencia de acérvulos B) reverso de la cepa, C) Conidio de *Pestalotiopsis* sp., con 5 células 2 hialinas y 3 versicolor, con dos apéndices apicales y uno basal.

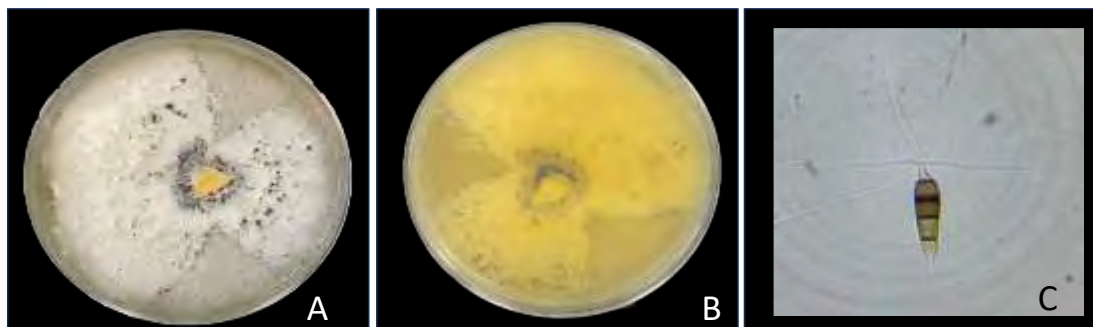


Figura 5. Cepa CATg03 identificada como *Pestalotiopsis* sp. crecidas en medio nutritivo PDA: A) Anverso de la cepa, presencia de acérvulos, B) reverso de la cepa, C) Conidio de *Pestalotiopsis* sp., 5 células 2 hialinas y 3 versicolor, con tres apéndices apicales y uno basal.

En características macroscópicas presentaron crecimiento micelial abundante y algodonoso que cubrió la totalidad de la caja Petri, su coloración fue blanca-amarillenta y con presencia de acérvulos (puntos de color negro). Los resultados de la caracterización microscópica y macroscópica del fitopatógeno coinciden con los reportados para el género *Pestalotiopsis* (Steyaert, 1953a; Maharachchikumbura *et al.*, 2012).

Las especies de *Pestalotiopsis* muestran una notable diversidad fenotípica y se agrupan en función de similitudes en la morfología de los conidios (Jeewon *et al.*, 2003; Maharachchikumbura *et al.*, 2012, 2013). Características como la longitud, el ancho, la pigmentación y la presencia de apéndices en los conidios parecen ser consistentes y útiles para la identificación de *Pestalotiopsis* (Jeewon *et al.*, 2003; Hu *et al.*, 2007).

Los conidios de *Pestalotiopsis clavispora* de acuerdo a Steyaert (1953b) son fusiformes rectos, con tres células centrales vercoloras, la célula inferior y superior son hialinas y tienen de dos a tres ornamentaciones apicales lo que coincide con los tres aislados CAZr01, CAZh02 y CATg03. Los conidios mostraron cinco células, tres veriscoloras en el centro y dos hialinas en los extremos; y de dos a tres ornamentaciones apicales y una basal.

Bioensayo de sensibilidad *in vitro* a fungicidas

El estudio de sensibilidad *in vitro* de los fitopatógenos de *Pestalotiopsis* sp., mostraron variación, el análisis de varianza indicó que existe diferencia significativa entre los tratamientos de los fungicidas evaluados, como se indica a continuación:

En el análisis de varianza para la cepa CAZr01, detectó diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$) a estos fungicidas. En la comparación de medias se observó la formación de cinco grupos (Tukey $\alpha=0.05$), la inhibición del crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp., con estos fungicidas fluctuó entre 0.856 y 0.160 cm, el producto que tuvo menor sensibilidad al hongo fue Aliette Wdg® en su dosis baja, al igual que Reva Gobex® en su dosis baja, la mayor sensibilidad se obtuvo con el fungicida Tacora 25 EW® en su dosis baja, media y alta (Figura 6).

Para el análisis de varianza de la cepa CAZh02 identificada también como *Pestalotiopsis* sp, se detectó diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$) a estos fungicidas. En la comparación de medias se observó la formación de seis grupos (Tukey $\alpha= 0.05$) la inhibición del crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp. fluctuó entre 1.089 y 0.311 cm, siendo Robust R® el que presentó menos sensibilidad en sus dosis alta, media y baja. Para el caso del fungicida Tacora 25 Ew® en sus dosis altas y baja, fue el producto que presentó una mejor inhibición del crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp. (Figura 7).

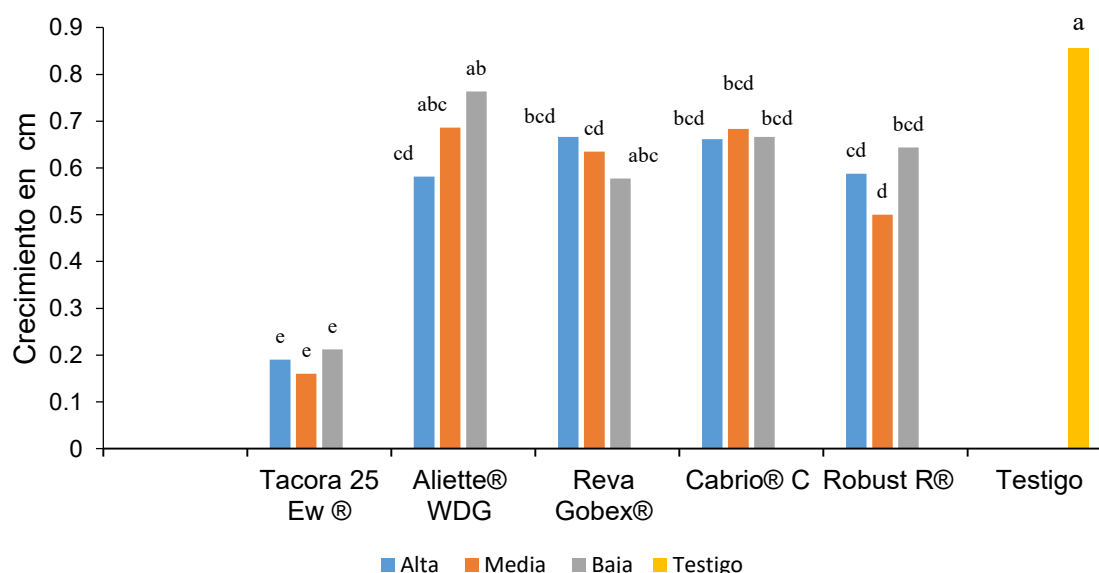


Figura 6. Efecto de fungicidas sobre la inhibición en el crecimiento del micelio de la cepa CAZr01 (*Pestalotiopsis* sp.).

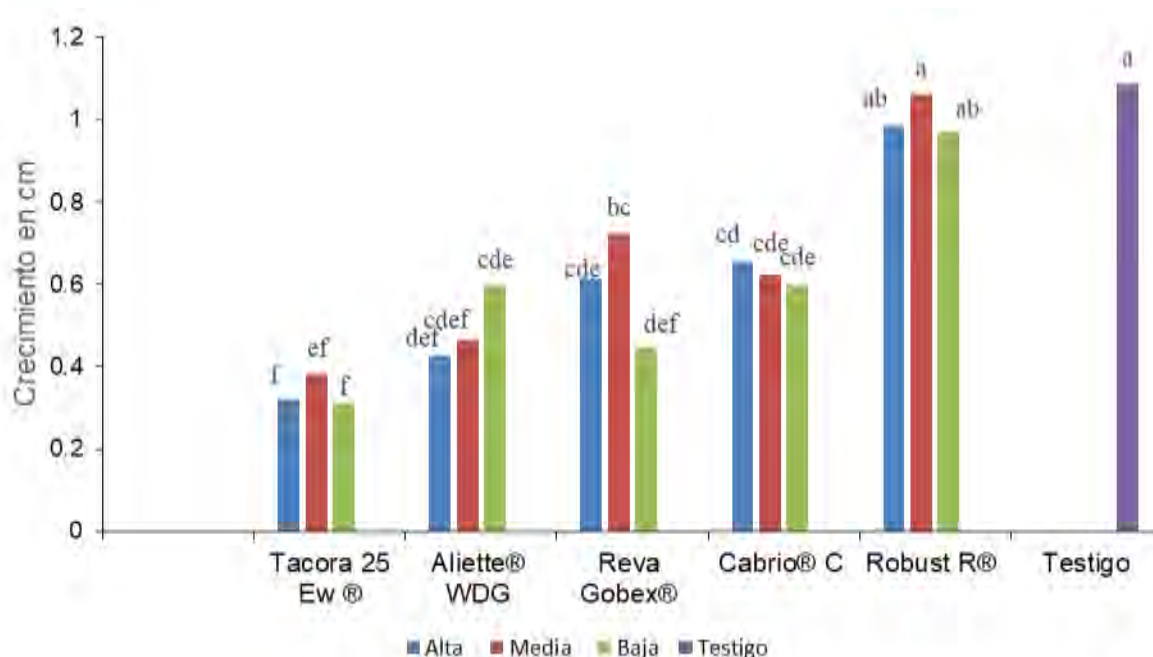


Figura 7. Efecto de fungicidas sobre la inhibición en el crecimiento del micelio de la cepa CAZh02 (*Pestalotiopsis* sp.).

El análisis de varianza de la Cepa CATg03 identificada como *Pestalotiopsis* sp., detectó diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$) a estos fungicidas. En la comparación de medias se observó la formación de seis grupos (Tukey $\alpha = 0.05$), la inhibición del crecimiento micelial de *Pestalotiopsis* sp. fluctuó entre 0.234 y 0.846, Robust R® fue el que presentó menor sensibilidad en dosis baja, media y alta, la mayor inhibición se obtuvo con el fungicida Tacora 25 Ew® en sus tres dosis (Figura 8).

Espinoza *et al.* (2008) evaluaron fungicidas para el control de crecimiento radial *in vitro* de *P. clavispora*, los ingredientes activos utilizados fueron Boscalid, Clortalonil, Ciprodonil, Fludioxonil, Iprodiona y Piraclostrobina a dosis 0.025, 0.05, 0.1, 1.0 y 1.5 g mL⁻¹. Determinaron que si se aumentan las dosis del fungicida hay una disminución importante en el crecimiento del micelio del fitopatógeno. Estos resultados son similares a los reportados para esta investigación con el producto Tacora 25 Ew® en su dosis alta y media lo que mostró mayor inhibición sobre el crecimiento de las tres cepas de *Pestalotiopsis* sp.

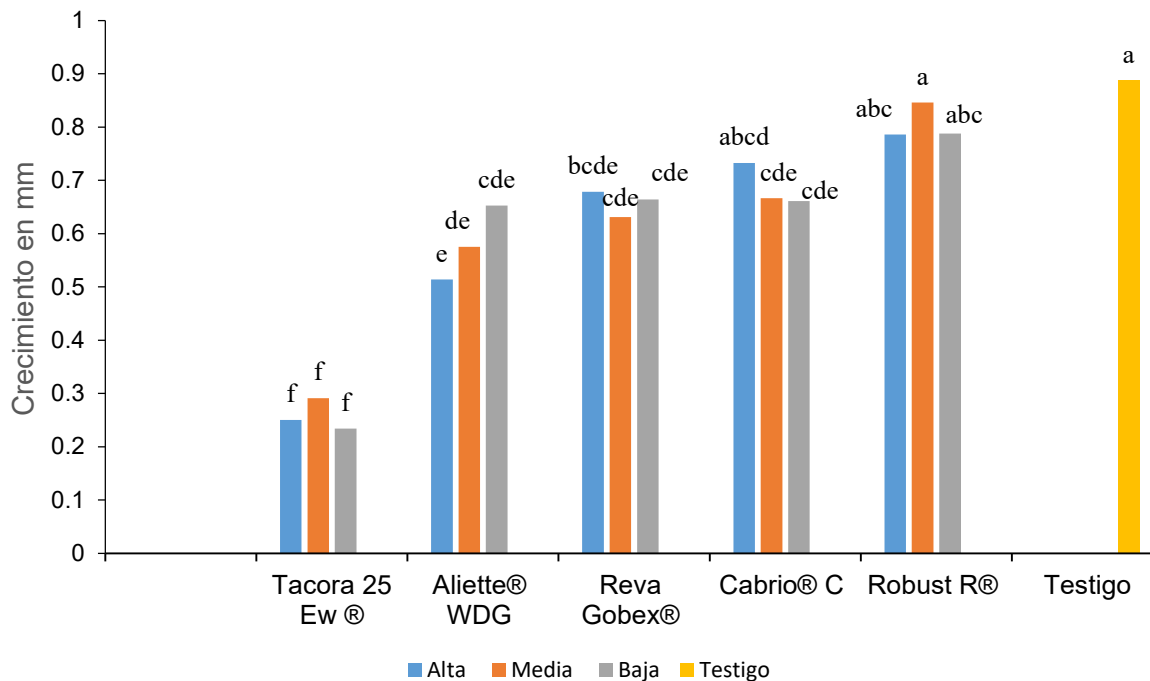


Figura 8. Efecto de fungicidas sobre la inhibición en el crecimiento del micelio de la cepa CAZh03 (*Pestalotiopsis* sp.).

Pruebas de patogenicidad en plantas de arándano azul

La aparición de los síntomas estuvo influenciada por las condiciones de temperatura y humedad ambiental, que afectaron directamente la virulencia y severidad de la enfermedad causada por los fitopatógenos, lo que permitió que se manifestaran los síntomas en las plantas de arándano azul.

En el bloque de plántulas de arándano azul variedad Biloxi inoculadas con la cepa CAZr01 del fitopatógeno *Pestalotiopsis* sp., ocho días después de la inoculación, se observó sintomatología correspondiente al grado II caracterizada por marchitez apical. A los 10 días, las plantas alcanzaron el grado III, presentaron necrosis apical y defoliación (Figura 9).

Las plántulas inoculadas con la cepa CAZh02 del fitopatógeno *Pestalotiopsis* sp., ocho días después de la inoculación, se observó sintomatología correspondiente al grado II caracterizada por marchitez apical. A los 10 días, las plantas alcanzaron el grado III, se observaron lesiones marrones en las ramas y necrosamiento apical, a los 26 días de la inoculación se presentó el grado IV muerte de planta (Figura 10).

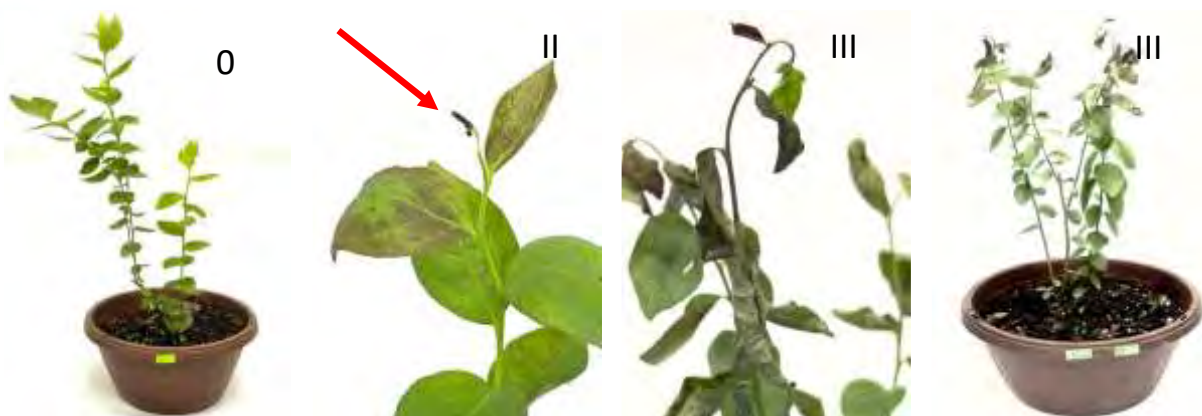


Figura 9. Síntomas foliares de *Pestalotiopsis* sp., cepa CAZr01 en plántulas de arándano azul: Planta sana (0), marchitamiento apical (II), Necrosis apical y caída de hojas (III).

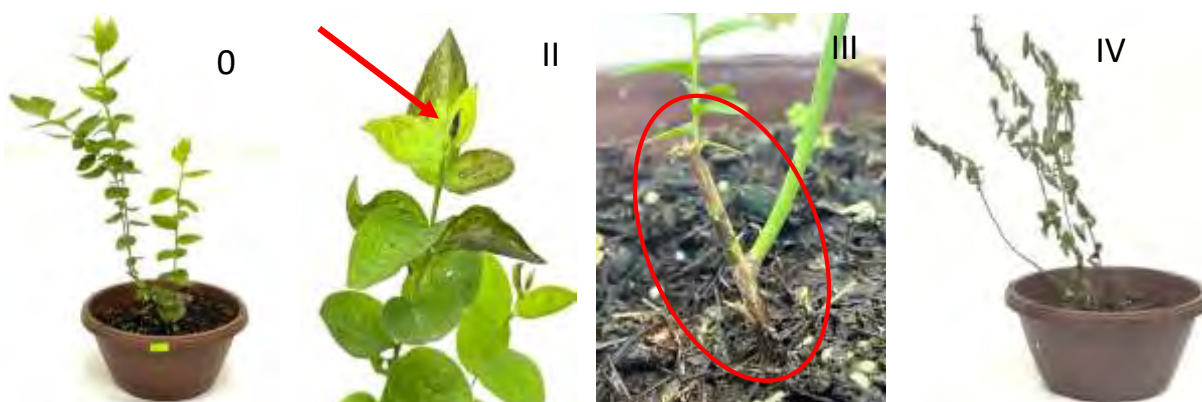


Figura 10. Síntomas foliares de *Pestalotiopsis* sp., cepa CAZh02 en plántulas de arándano azul: Planta sana (0), marchitamiento apical (II), Lesiones marrones en las ramas y necrosis apical (III), Muerte de la planta (IV).

Las plántulas de arándano inoculadas con la cepa CATg03 del fitopatógeno *Pestalotiopsis* sp., ocho días después de la inoculación, se observó la sintomatología correspondiente al grado II caracterizada por marchitez apical. A los 12 días, las plantas alcanzaron el grado III, secamiento de ramas laterales, necrosis apical y defoliación (Figura 11).

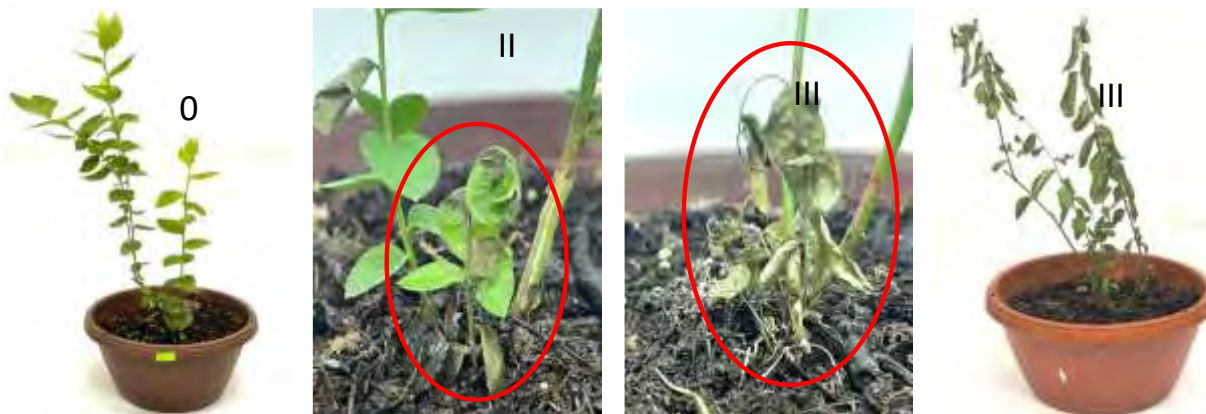


Figura 11. Síntomas foliares de *Pestalotiopsis* sp., cepa CATg03 en plántulas de arándano azul; Planta sana (0); marchitamiento apical (II); Necrosis apical y caída de hojas (III).

Los síntomas presentados en estas pruebas de patogenicidad son muy similares a los reportados por Espinoza *et al.* (2008), quienes observaron lesiones en ramas con coloración marrón y necrosis en hojas causados por *P. clavispora*.

Conclusiones

1. En el presente estudio se encontró que el agente causal de la secadera en arándano azul fue *Pestalotiopsis* sp. 2. En el bioensayo realizado para la inhibición del crecimiento del micelio de las cepas CAZr01, CaZh02 y CATg03 el fungicida Tacora 25 Ew® en sus tres dosis evaluadas fue el que logró la mayor inhibición del crecimiento del hongo. 3. En las pruebas de patogenicidad se presentaron los primeros síntomas a los ocho días después de la inoculación y a los 26 días murió la primera planta inoculada con la cepa CAZh02, lo que resulta como la cepa más virulenta.

Literatura citada

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. 5ed. Nueva York. Elsevier Academic Press. 922 p.

- Espinoza, J. G., E. X. Briceño, L. M. Keith and B. A. Latorre. 2008. Canker and twig dieback of blueberry caused by *Pestalotiopsis* spp. and a *Truncatella* sp. in Chile. *Plant Dis.* 92:1407- 1414.
- Hu, H., R. Jeewon, D. Zhou, T. Zhou and K. D. Hyde. 2007. Phylogenetic diversity of endophytic *Pestalotiopsis* species in *Pinus armandii* and *Ribes* spp.: evidence from rDNA and β -tubulin gene phylogenies. *Fungal Divers.* 24:1-22.
- Jeewon, R., C. Y. Liew E., J. A. Simpson, I. J. Hodgkiss and K. D. Hyde. 2003. Phylogenetic significance of morphological charcters in the taxonomy of *Pestalotiopsis* spe- cies. *Mol. Phylogenet. Evol.* 27:372-383.
- Maharachchikumbura, S. S. N., L. D. Guo, E. Chukeatirote, A. H. Bahkali and K. D. Hyde. 2011. *Pestalotiopsis*—morphology, phylogeny, biochemistry and diversity. *Fungal Divers.* 50:167–187.
- Maharachchikumbura, S. S. N., L. D. Guo, L. Cai, E. Chukeatirote, W. P. Wu, X. Sun, *et al.* 2012. A multi-locus backbone tree for *Pestalotiopsis*, with a polyphasic characterization of 14 new species. *Fungal Divers* 56:95–129.
- Maharachchikumbura, S. S. N., L. D. Guo, E. Chukeatirote and K. D. Hyde. 2013. Improving the backbone tree for the genus *Pestalotiopsis*; addition of *P. steyaertii* and *P. magna* sp. nov. *Mycol. Prog.* 13: 617–624.
- Mondragón Flores, A., J. López-Medina, S. Ochoa Ascencio y M. Gutiérrez Contreras. 2012. Hongos asociados a la parte aérea del arándano en los Reyes, Michoacán, México, *Rev. Mex. Fitopatol.* 30(2):141-144.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Cultivo del arándano en México reto superado. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado> [consultado el 29 de junio 2024].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 29 de junio de 2024].

Steyaert R. L. 1953a. New and old species of *Pestalotiopsis*. Trans Br Mycol Soc 36:81–89.

Steyaert R. L. 1953b. *Pestalotiopsis* from the Gold Coast and Togoland. Trans Br Mycol Soc 36:235–242.

APLICACIÓN DE AZUFRE EN SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO CHOCOLATE (*Capsicum chinense* Jacq.)

Patricio Apáez Barrios^{101*}, Yurixhi Atenea Raya Montaña¹⁰², Ma. Blanca Nieves Lara Chávez¹⁰²
y Noé Armando Ávila Ramírez¹⁰¹

Resumen

El chile habanero chocolate es uno de los más picantes, apreciado por su agradable sabor y notas ahumadas, es usado en la comida mexicana y es producido principalmente en Michoacán, en donde, el rendimiento es inferior al promedio nacional. Esta situación hace necesario buscar alternativas para incrementar su rendimiento, una de esas alternativas es el manejo eficiente de la nutrición. En los programas de fertilización se excluye al azufre a pesar de ser el cuarto nutriente más demandado por las plantas. El uso de azufre representa una práctica que permite incrementar la producción y favorecer las características del fruto. El objetivo del estudio fue, determinar el efecto de la aplicación de azufre agrícola sobre la producción de chile habanero tipo chocolate. El experimento se condujo de agosto a julio, bajo condiciones de campo y acolchado plástico en Apatzingán, Michoacán. Los tratamientos fueron las dosis de azufre agrícola humectable a 15, 30, 45 y 60 kg/ha más un testigo sin aplicación. El azufre fue enterrado alrededor de la planta a los 10 días después del trasplante. Se encontró que, el número de frutos por planta con el testigo fue menor al de las dosis 15 y 45 kg/ha de azufre. También, menor longitud y diámetros de frutos se obtuvo con el testigo en comparación con todas las dosis de azufre. Similar peso de frutos registró entre el testigo y las cuatro dosis de azufre. Los mayores rendimientos de fruto se obtuvieron con las dosis de 15, 30 y 45 kg/ha de azufre con rendimientos de 22.5, 20.6 y 22 t/ha. Por lo anterior, es suficiente suministrar 15 kg/ha de azufre para favorecer la producción de frutos en chile habanero tipo chocolate en las condiciones de cultivo y es una opción para incrementar el rendimiento de este cultivo en suelo alcalino.

Palabras clave: diámetro de frutos, número de frutos, rendimiento de fruto

¹⁰¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Facultad de Ciencias Agropecuarias. Prolongación de la calle Mariano Jiménez S/N. C.P. 60670. Apatzingán, Michoacán, México.

¹⁰² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez'. Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín. C.P. 60170, Uruapan, Michoacán, México. *Autor para correspondencia: patricio.apaez@umich.mx

Introducción

De la familia Solanaceae, el género *Capsicum* es económicamente el más importante con aproximadamente 30 especies. Los frutos han sido utilizados desde hace aproximadamente 7000 años antes de Cristo, inicialmente en la dieta de los nativos mexicanos (Govindarajan, 1985; Dong *et al.*, 2014). Dentro de las especies más importantes destaca el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) considerado como uno de los chiles con mayor contenido de capsaicina, hasta 131.8 $\mu\text{m/g}$ de fruto seco (Duelund y Mouritsen, 2017). En México, en 2023 se produjeron 30,056 t que representaron un valor de 670 millones de pesos (MXN) (SIAP, 2024). El 80% de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el resto se utiliza para la elaboración de salsas, pastas y deshidratado (FIRCO, 2017). Existe una gran diversidad en cuanto a colores de fruto, principalmente, anaranjados, rojos, morados, amarillos y chocolate (López-Espinosa *et al.*, 2018). Este último, es producido principalmente en Michoacán y es muy apreciado por su agradable sabor; sin embargo, el rendimiento en esta entidad es de 6.05 t/ha, que es inferior a la media nacional de 18.64 t/ha (SIAP, 2024).

Una alternativa para incrementar el rendimiento de los cultivos agrícolas es la nutrición, que, bajo condiciones de cultivo en suelo se basa principalmente en el aporte de nitrógeno, fósforo y potasio. El azufre, es el cuarto o quinto macronutriente más requerido por las plantas, sin embargo, no es común la recomendación de fertilización con este nutriente en cultivos establecidos en suelo (Barros-Milhomens *et al.*, 2020). El azufre en la nutrición de las plantas mejora la disponibilidad del fósforo (P), potasio (K), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre (Cu); reduce el pH y favorece la conversión de P no disponible a P disponible para la planta. Es un elemento requerido para la síntesis de importantes aminoácidos esenciales como la cisteína y metionina (Hunde, 2020). Además, es necesario para la formación de la clorofila, importante en funciones fisiológicas para la generación de energía (Aula *et al.*, 2019; Narayan *et al.*, 2023), también favorece las defensas de las plantas contra el ataque de plagas, el estrés nutrimental y altas temperaturas (Hunde, 2020).

Se ha mostrado un efecto significativo en el incremento del rendimiento y la mejora en la calidad de la producción de cultivos agrícolas como la cebolla (*Allium cepa* var. *cepa*), cebada (*Hordeum sativa* var. *nutans*), repollo (*Brassica oleraceae* var. *capitata alba*) con la aplicación de azufre en dosis de 40 a 80 kg/ha (Skwierawska *et al.*, 2008). Aunque en cultivos como las

gramíneas la respuesta aumenta conforme se incrementa la dosis hasta 50 kg/ha de azufre, cantidades superiores provocan el abatimiento del rendimiento por efecto de antagonismos (Aula *et al.*, 2019). Mientras que en otros cultivos como la papa (*Solanum tuberosum* L.) a pesar de ser cultivado en suelo con un nivel muy bajo de azufre, no respondió a la adición de este elemento en dosis de 10 y 20 kg/ha (Giletto *et al.*, 2012). Por lo anterior, es importante determinar la respuesta en cada cultivo, así como la dosis más apropiada de azufre. En chile habanero tipo chocolate son escasos los estudios al respecto, por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación del azufre agrícola sobre el rendimiento de fruto fresco y componentes del rendimiento, así como la dosis más adecuada de azufre para un mayor rendimiento de fruto en chile habanero tipo chocolate.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se estableció en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Apatzingán, Michoacán, localizado en las coordenadas de 19° 04' 56" LN y -102° 22' 15" de LO, a 325 m de altitud. El clima es BSh'g que corresponde a clima seco estepario muy cálido (García, 2004). Durante el ciclo del cultivo las temperaturas máximas variaron de 37 a 43°C y las mínimas de 13 a 20°C y la precipitación pluvial acumulada fue de 710.2 mm. Estos datos fueron proporcionados por el departamento de aguas superficiales e ingeniería de Ríos. Unidad de Hidroclimatología de Apatzingán, cuya estación agrometeorológica está ubicada en el sitio de estudio.

Establecimiento de almacigo y manejo del cultivo

El trabajo de investigación se realizó de agosto a julio, se inició con la siembra del almacigo en charolas de unicel de 242 cavidades, que previamente fueron desinfectadas con inmersión en una solución de agua con hipoclorito de sodio a la dosis de 5 mL/L y posteriormente lavadas con agua para eliminar el cloro. Posteriormente fueron llenadas con peat moss y se depositó una semilla de chile habanero tipo chocolate en cada cavidad. Las charolas fueron colocadas bajo malla sombra. El riego se suministró todos los días por la mañana de acuerdo con las

necesidades hídricas el cultivo. Previo al trasplante se preparó el terreno, con un barbecho, un rastreo y surcado a 80 cm entre surcos. Posteriormente se realizó la colocación del sistema de riego, con cintilla de plástico y acolchado agrícola de 1.20 m de ancho Calibre 90 color plata/negro. El trasplante se realizó a los 40 días después de la siembra. Se colocó una planta cada 40 cm que generó una densidad de 31,250 plantas/ha.

Previo al establecimiento del cultivo a una profundidad de 0-30 cm, se clasificó como suelo franco, con pH ligeramente alcalino (7.8) nivel medio de N-Inorgánico (21.7 mg/kg) y fósforo (18.6 mg/kg), alto en potasio (976 mg/kg), alto en calcio (5454 mg/kg), alto en magnesio (1854 mg/kg), medio en azufre (9.2 mg/kg), CIC de 45 Cmol/kg y densidad aparente de 1.13 t/m³; esto de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

La fertilización suministrada durante el ciclo de producción del cultivo fue de 130-120-160 kg ha de N, P₂O₅ y K₂O. Los fertilizantes utilizados para suplir los nutrientes fueron: Urea (45% de N), Nitrato de potasio (13% de N - 44% de K₂O) y Fosfato monoamónico (12% de N – 61% de P₂O₅). La aplicación de los fertilizantes fue mediante sistema de fertirriego. El riego se suministró de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo, para lo cual, se consideró siempre tener al cultivo a capacidad de campo.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación de azufre agrícola humectable al 93% a las dosis de 15, 30, 45 y 60 kg/ha comparado con un testigo sin aplicación. Los tratamientos fueron suministrados como fertilizante de fondo, 10 días después del trasplante, enterrado alrededor de la planta. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, cada tratamiento se repitió cuatro veces, por lo que se generaron 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por tres surcos de 3 m de longitud. Como parcela útil se tomaron cinco plantas de la parte central del surco de en medio.

Variables de respuesta

Se realizaron varios cortes de fruto conforme fueron llegando a madurez de cosecha (frutos color café). El inicio de la cosecha fue a los 120 días después del trasplante y abarcó un periodo de seis meses. En cada cosecha, se tomaron al azar cinco frutos por unidad experimental y se les midió el diámetro ecuatorial (cm) y la longitud (cm) con un vernier. El total de los frutos

cosechados fueron contados y se pesaron en una báscula digital para determinar el número de frutos por planta y el peso promedio de frutos. El rendimiento de frutos por hectárea se estimó de la siguiente forma: Rendimiento (t/ha) = (número de plantas por hectárea) x (peso de frutos por planta).

Análisis estadístico

Los datos de las variables de respuesta se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2017). A las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El suministro de azufre en todas las dosis evaluadas favoreció el incremento en el número de frutos por planta, longitud y diámetro de frutos. Con la aplicación de 15 y 45 kg/ha de azufre, las plantas de chile habanero presentaron la mayor cantidad de frutos por planta, con aumentos de 57.2 y 47.5% respecto a las plantas sin aplicación de este elemento. En cuanto a la longitud y diámetro de frutos, fue similar con todas las dosis de azufre y estadísticamente superiores a los del testigo. Las plantas con azufre presentaron frutos con longitudes de 22 a 36% mayores a los frutos de las plantas sin aplicación de este nutriente y diámetros de 45 a 63% mayores que los frutos de las plantas sin suministro. Similar peso de frutos se obtuvo entre las plantas del testigo y las cuatro dosis de azufre (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias de las variables evaluadas en chile habanero chocolate.

Dosis de azufre kg/ha	Número de frutos por planta	Longitud de frutos (cm)	Diámetro de frutos (cm)	Peso promedio de frutos (g)
0 (Testigo)	110.9 b [¶]	2.36 b	1.79 b	4.38 a
15	174.3 a	2.89 a	2.82 a	4.14 a
30	142.8 ab	3.20 a	2.91 a	4.60 a

Dosis de azufre kg/ha	Número de frutos por planta	Longitud de frutos (cm)	Diámetro de frutos (cm)	Peso promedio de frutos (g)
45	163.6 a	2.93 a	2.59 a	4.32 a
60	138.6 ab	3.01 a	2.87 a	4.19 a
Media general	146.0	2.88	2.59	4.32
Prob. de F	**	**	**	NS
DMSH _{0.05}	41.2	0.50	0.52	0.75
CV%	12.53	7.69	8.93	7.71

¶Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). ** $p \leq 0.01$; NS = no significativo. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta. CV = coeficiente de variación.

La mayor cantidad de frutos por planta con aplicación de azufre se puede atribuir a que este elemento de acuerdo con Kumari *et al.* (2017), favorece el porcentaje de frutos cuajados y por lo tanto, el número de frutos por planta en *C. annum*. Esto, junto con el aumento en longitud y diámetro de frutos, generó que las plantas con aplicación de azufre en el presente estudio aumentaran de manera significativa el rendimiento de frutos. Los mayores incrementos se registraron con las dosis de 15, 30 y 45 kg/ha de azufre (Figura 1).

La respuesta positiva de la aplicación de azufre en el cultivo de chile habanero puede atribuirse a que es un elemento esencial en la nutrición de las plantas, importante en la formación de la clorofila, de metabolitos secundarios y es necesario para las funciones fisiológicas, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Así mismo, existen proteínas que contienen grupos Fe-S que son necesarios en múltiples procesos biológicos, como la fotosíntesis, la generación de energía, la fotoprotección y el metabolismo (Aula *et al.*, 2019; Narayan *et al.*, 2023). También el azufre es un elemento que en niveles apropiados en la planta reduce daños por estrés oxidativo y por altas temperaturas, como las ocurridas durante el ciclo de crecimiento del cultivo, que, en algunos días llegaron a los 43°C. Con relación a la interacción con otros nutrientes, se ha encontrado que el azufre incrementa la absorción de N, P y K, lo que puede mejorar el abasto y mejora en la nutrición de la planta (Aula *et al.*, 2019; Narayan *et al.*, 2023).

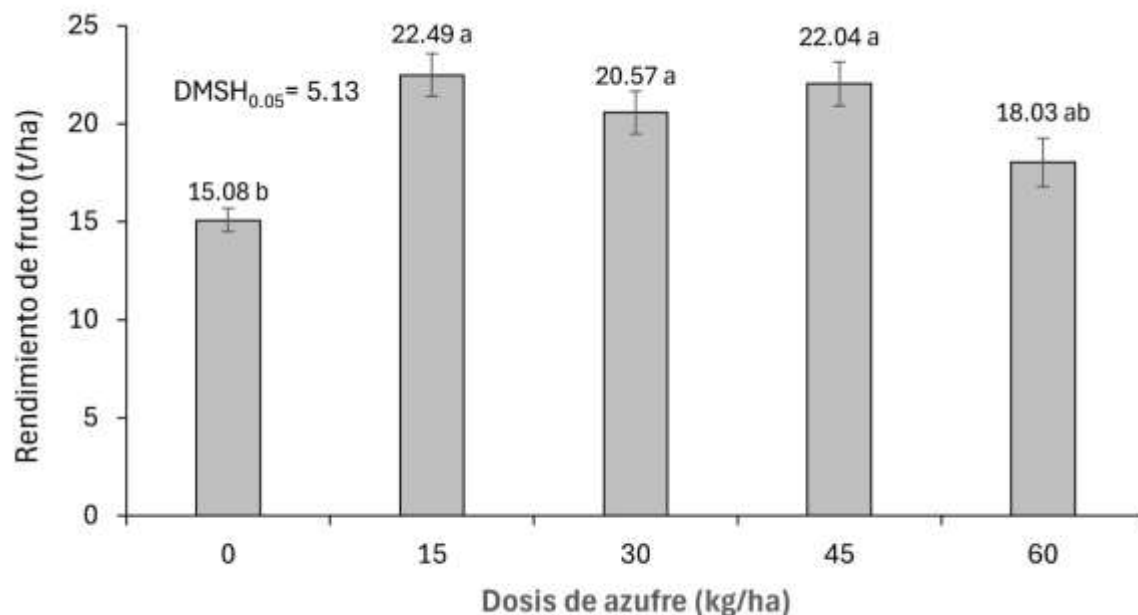


Figura 1. Rendimiento de frutos de chile habanero chocolate en función de la dosis de azufre. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta. CV = coeficiente de variación.

Se ha encontrado que la aplicación de azufre aumenta el rendimiento de los cultivos a medida que se incrementa la tasa de aplicación, cuando el contenido de azufre en el suelo es bajo o medio y el pH es muy ácido o alcalino. Sin embargo, la mayoría de los cultivos presentan disminución del rendimiento en dosis iguales o superiores a 50 kg/ha (Oliveira *et al.*, 2017; Nascente *et al.*, 2017), lo que puede explicar que el chile habanero en nuestro estudio llegó a reducir ligeramente su rendimiento de fruto en dosis mayores a 45 kg/ha de azufre (Aula *et al.*, 2019).

En el sitio de producción de acuerdo con el análisis físico y químico, el suelo presenta un contenido medio de azufre (9.2 mg/kg), por lo que, la adición de este elemento favoreció la producción de fruto de chile habanero tipo chocolate. Estos resultados son similares a los encontrados en *C. annum* L. variedad LCA-334, en donde la aplicación de S a las dosis de 7.5, 12.5, 15, 20 y 25 kg/ha, incrementaron significativamente el rendimiento de chile fresco, y fue la dosis de 7.5 kg/ha la que presentó el mayor incremento en el rendimiento, que fue de 65.8% en comparación con el tratamiento testigo sin aplicación (Kumari *et al.*, 2017). Así mismo, en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) con un contenido inicial de 110.2 mg/kg de S en el

suelo la aplicación de 40 kg/ha de azufre incrementó en 27 y 22% el rendimiento de grano, resultado que fue atribuido al efecto estimulante en la síntesis de proteínas del cloroplasto que resulta en mayor eficiencia del fotosintética que favorece el rendimiento agrícola (Singh *et al.*, 2014).

La adición de azufre en suelos con nivel medio de azufre no garantiza la mejora en la respuesta productiva de los cultivos, como ocurrió en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con el suministro de azufre a las dosis de 10 y 20 kg/ha que no incrementaron el rendimiento de tubérculos en el cultivo (Giletto *et al.*, 2012), tampoco en canola con el suministro de dosis crecientes de hasta 60 kg/ha de azufre como sulfato de amonio (Kaefer *et al.*, 2014). Por lo que, la variación en la respuesta de rendimiento agrícola al suministro de azufre y la dosis más apropiada que resulta diferente para cada cultivo indica variación en el requerimiento entre plantas (Narayan *et al.*, 2023). En el presente estudio en donde si se registraron mejoras en la producción con la adición de azufre a las dosis de 15, 30 y 45 kg/ha se lograron rendimientos de chile habanero superiores a la media nacional que es de 18.64 t/ha (SIAP, 2024), por lo que, el suministro de azufre como fertilizante es una opción viable que favorece el rendimiento de este cultivo bajo las condiciones de producción y es suficiente con 15 kg/ha de azufre para favorecer la producción, ya que, se logran los mayores incrementos y aunque dosis más elevadas no disminuyen el rendimiento (se mantiene), si pueden generar reducción en la rentabilidad por el costo de una mayor cantidad de azufre.

Conclusiones

El suministro de azufre agrícola de fondo afecta la producción y las dimensiones del fruto de chile habanero. Para obtener mayor número de frutos por planta, frutos con mayor longitud y diámetro, así como mayor rendimiento por hectárea la dosis más apropiada es 15 kg/ha de azufre humectable.

Literatura citada

- Aula, L., J. S. Dhillon, P. Omara, G. B. Wehmeyer, K. W. Freeman and W. R. Raun. 2019. World sulfur use efficiency for cereal crops. *Agron. J.* 111(5): 2485-2492.
- Barros-Milhomens, K. K., I. D. Pascual-Reyes, A. Torquato-Tavares, D. A. Porto-da-Silva-Lopes, J. A. de-Freitas e I. Rodrigues-do-Nascimento. 2020. Etapa de aplicación de azufre sobre productividad de bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.). *Agrociencia* 54(1):75-87.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 85 p.
- Dong, X., X. Li, L. Ding, F. Cui, Z. Tang and Z. Liu. 2014. Stage extraction of capsaicinoids and red pigments from fresh red pepper (*Capsicum*) fruits with ethanol as solvent. *LWT – Food Sci. and Technol.* 59(1):396-402.
- Duelund, L. and O. G. Mouritsen. 2017. Contents of capsaicinoids in chillies grown in Denmark. *Food Chem.* 221:913-918.
- FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido). 2017. Chile Habanero, con Denominación de Origen. <https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-habanero-con-denominacion-de-origen?idiom=es> [consultado el 29 de junio de 2024].
- García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª (Ed.). Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 90 p.
- Giletto, C. M., J. M. Magnoni y H. E. Echeverría. 2012. Fertilización con azufre en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para la industria en el sudeste Bonaerense. *Cienc. suelo* 30(1):75-84.

- Govindarajan, V. S. 1985. Capsicum-production, technology, chemistry, and quality: Part I. History, botany, cultivation and primary processing. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 22(2):109-176.
- Hunde, N. F. 2020. Yield response and nutrient use efficiencies of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to inorganic fertilizers in Ethiopia: A review article. Int. J. Res. Agron. 3:25-32.
- Kaefer, J. E., V. F. Guimarães, A. Richart, G. O. Tomm and A. L. Müller. 2014. Produtividade de grãos e componentes de produção da canola de acordo com fontes e doses de nitrogênio. Pesqui. Agropecu. Bras. 49(4):273-280.
- Kumari, S. S., S. Bharathi, K. Uma Jyothi and P. V. Reddy. 2017. Efficacy of levels and sources of sulphur on yield attributes, yield and capsaicin content of hot pepper (*Capsicum annum* L.). J. Res. ANGRAU 45(3):88-90.
- López-Espinosa, S. T., L. Latournerie-Moreno, G. Castañón-Nájera, E. Ruiz-Sánchez, J. F. Gómez-Leyva y R. H. Andueza-Noh. 2018. Diversidad genética de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) mediante ISSR. Rev. Fitotec. Mex. 41(3):227-236.
- Narayan, O. P., P. Kumar, B. Yadav, M. Dua and A. K. Johri. 2023. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. Plant Signal. Behav. 18(1): 2030082.
- Nascente, A. S., L. F. Stone and L. C. Melo. 2017. Common bean grain yield as affected by sulfur fertilization and cultivars. Rev. Ceres 64(5):548-552.
- Oliveira, L. L., M. C Soares M., S. S. Rocha M., R. dos Santos L. and M. P. Rodrigues T. 2017. Effect of sources and doses of sulfate on soybean crop. Pesqui. Agropecu. Trop. 47:296-302.

SAS Institute. 2017. SAS/STAT user's guide. Versión 9.4. Companion for Windows. 5th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 17 de junio de 2024].

Singh, S. P., R. Singh, M. P. Singh and V. P. Singh. 2014. Impact of sulfur fertilization on different forms and balance of soil sulfur and the nutrition of wheat in wheat-soybean cropping sequence in tarai soil. J. Plant Nutr. 37(4):618-632.

Skwierawska, M., L. Zawartka and B. Zawadzki. 2008. The effect of different rates and forms of applied sulfur on nutrient composition of planted crops. Plant Soil Environ. 54(5):179-189.

ESTABLECIMIENTO *in vitro* DE SEGMENTOS NODALES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)

Humberto Estrella Maldonado^{103*}, Julio Ventura Bello¹⁰⁴, Ricardo Santillán Mendoza¹⁰³,
Cristian Matilde Hernández¹⁰³, Arianna Chan León¹⁰⁵, María del Carmen Pablo Mendoza¹⁰³
y Felipe Roberto Flores de la Rosa¹⁰³

Resumen

La propagación *in vitro* es una técnica que se ha utilizado para producir plantas sanas, libres de patógenos y a gran escala, sin embargo, la presencia de microorganismos endófitos en los tejidos de los explantes es uno de los factores limitantes para el establecimiento *in vitro* de cualquier especie. En este sentido, estudiamos la efectividad del biocida PPM® (Plant Preservative Mixture) y del fungicida clorotalonil para controlar o reducir la contaminación microbiana y fúngica en segmentos nodales de diferentes clones de limón persa en condiciones *in vitro*. Los resultados mostraron que el medio MS suplementado con 0.2 mL/L de biocida PPM + 1.0 mL/L de clorotalonil fue adecuado para que los explantes logaran un mayor porcentaje de desinfección (44%) en segmentos nodales de los diferentes clones de limón persa. Además, se observó que concentraciones de PPM superiores a 0.3 mL/L resultaron en mayor fitotoxicidad en los segmentos nodales a los 60 días.

Palabras clave: biocida, contaminación, desinfección, microorganismos endófitos

Introducción

La propagación *in vitro* es una técnica confiable para producir una gran cantidad de plantas libres de patógenos con alta uniformidad en un corto período de tiempo (Kumar y Reddy, 2011). Sin embargo, un factor limitante para la propagación *in vitro* es la grave contaminación de los explantes durante la fase de establecimiento *in vitro* provocada por microorganismos endófitos (Ortega, 2010; Nadha *et al.*, 2012; Orlikowska *et al.*, 2017). Los microorganismos microbianos

¹⁰³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco, Km 4.5 Carr. Martínez de la Torre-Tlapacoyan, C.P. 93600, Ver, México. *Autor de correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

¹⁰⁴ Universidad para el Bienestar "Benito Juárez García". Calle Universidad Loc. 1, Aguardientera Segunda sección, C.P. 73956, Chignautla, Puebla, México.

¹⁰⁵ Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván, Km 4.5 Carr. Cd. Cardel-Chachalacas, Úrsulo Galván C.P. 91667, Ver, México.

y fúngicos son los contaminantes más comunes durante la fase de establecimiento *in vitro* porque, al ser sistémicos, son difíciles de detectar y eliminar en los protocolos de desinfección (Leifert *et al.*, 1994; Pérez, 1998).

Por lo tanto, se debe contar con un protocolo que asegure la desinfección de microorganismos microbianos y fúngicos en la primera fase del establecimiento *in vitro*, esto debido a que el medio de cultivo proporciona un ambiente favorable para la proliferación de estos microorganismos, provocando la mortalidad del material vegetal introducido (Palú *et al.*, 2011; Pacheco y Rodrigues, 2021). En consecuencia, es necesario el uso de antibióticos, fungicidas y biocidas durante la fase de introducción *in vitro* para controlar el desarrollo de estos microorganismos. En este sentido, el PPM (Plant Preservative Mixture) es un biocida de amplio espectro utilizado en el cultivo de tejidos *in vitro* para reducir la contaminación fúngica y bacteriana de los explantes, permitiendo el establecimiento aséptico de segmentos nodales (Santos *et al.*, 2019; Tejeda-Alvarado *et al.*, 2022). El PPM se ha utilizado para desinfectar explantes *in vitro* de especies como bambú, fresa, jengibre rojo, etc. (Jiménez *et al.*, 2006; Hamirah *et al.*, 2010; Camargo *et al.*, 2020; Leão *et al.*, 2020). Asimismo, el clorotalonil es un fungicida de amplio espectro con un componente aromático policlorado que retrasa el crecimiento micelial e inhibe la germinación de las esporas. El clorotalonil afecta la respiración de las células fúngicas, afectando el ciclo de Krebs al reducir la síntesis de ATP, que conlleva a la muerte celular (Cox, 1997). En *Eucalyptus grandis*, el fungicida clorotalonil tiene un alto efecto inhibitor sobre el crecimiento de microorganismos endófitos en medio de cultivo *in vitro* (Watt *et al.*, 1996).

Para el limón persa, a la fecha, los explantes introducidos *in vitro* se han visto afectados particularmente por microorganismos que limitan su desarrollo, en consecuencia, no se han establecido protocolos de desinfección para la obtención de explantes asépticos de esta especie (Méndez *et al.*, 2020). Además, en limón persa existen pocos reportes sobre el uso del biocida PPM para lograr el establecimiento *in vitro* de sus segmentos nodales.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue desarrollar un protocolo efectivo de desinfección para el establecimiento *in vitro* de segmentos nodales utilizando diferentes concentraciones de biocida PPM y fungicida clorotalonil para evaluar la eficiencia en el control de microorganismos endófitos en diferentes clones de limón persa.

Materiales y métodos

Material vegetal

El trabajo experimental se desarrolló en el Campo Experimental Ixtacuaco perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la región norte de Veracruz, México (N 20° 2' 35.48" y W 97° 5' 52.60"). El material vegetal utilizado en este estudio se obtuvo de árboles de 7 años de edad de los clones de limón persa: "Arbolito", "Doble persa", "Persa común", "Peruano" y "Chino". Con el uso de tijeras de podar previamente esterilizadas con 20% de cloro comercial, se cortaron varetas de esquejes por cada clon de limón persa. Las varetas se almacenaron en papel húmedo dentro de bolsas de polietileno estériles y se colocaron en una hielera para mantener una temperatura cercana a 4°C hasta su traslado al laboratorio.

Preparación del explante (varetas)

Al llegar al laboratorio, las varetas fueron esterilizadas siguiendo el protocolo de pre-esterilización establecido por Estrella-Maldonado *et al.*, (2022), con el fin de minimizar el número de contaminantes (principalmente bacterias y hongos) antes del establecimiento en condiciones *in vitro*. Después de la pre-desinfección previa de las varetas, estos explantes se cortaron en trozos de 5 a 7 cm y se denominaron segmentos nodales. Finalmente, los segmentos nodales fueron expuestos a cloro al 20% durante 20 minutos, luego fueron sumergidos en solución bactericida (Terra-Vet® 200, 1 g/L) durante 1 hora e inmediatamente sumergidos en solución fungicida (Amistar, 2 mL/L) durante 1 hora.

Cultivo *in vitro* de segmentos nodales de limón Persa

Una vez finalizada la pre-desinfección de los segmentos nodales, se procedió a trabajar en condiciones de asepsia en campana de flujo laminar. En estas condiciones, los segmentos nodales se sumergieron en una solución de alcohol al 85% durante 10 min y finalmente se sumergieron durante 5 min en agua destilada estéril. El medio basal utilizado para el establecimiento *in vitro* de los segmentos nodales fue 4.43 g/L de sales MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con 20 g/L de sacarosa y 6-BAP a 0.5 mg/L. El pH del medio de cultivo se ajustó a 5.8 y se agregaron 8 g/L de agar para la solidificación del medio. El medio

se dispensó en tubos de cultivo de 150 mm x 25 mm y se esterilizó en autoclave a 121°C durante 20 min. Posteriormente, se dejó enfriar el medio de cultivo estéril y se diseñaron dos experimentos. El Experimento 1 incluyó un tratamiento control sin biocida PPM (tratamiento control) y cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de biocida PPM (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mL/L PPM). El Experimento 2 consistió de 4 tratamientos: medio de cultivo MS suplementado con 0 mL/L PPM + 0.5 mL/L clorotalonil (tratamiento 1), 0 mL/L PPM + 1 mL/L clorotalonil (tratamiento 2), 0.2 mL/L⁻¹ PPM + 0.5 mL clorotalonil (tratamiento 3), y 0.2 mL/L PPM + 1 mL clorotalonil (tratamiento 4). Además, se cultivó 1 segmento nodal de 3-4 cm de largo para cada matraz de cultivo. Estos segmentos nodales introducidos *in vitro* se almacenaron durante 30 días en una cámara de crecimiento bajo las siguientes condiciones: T = 25°C, PPFD = 32 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y un fotoperiodo de 16 h proporcionado por luz fluorescente blanca. Después de 60 días se evaluó el porcentaje de contaminación.

Análisis estadístico

Todos los segmentos nodales de los diferentes clones de limón persa en condiciones *in vitro* se analizaron como diseños completamente al azar. Cada experimento se repitió tres veces utilizando doce segmentos nodales por cada condición. El análisis de varianza unidireccional (ANOVA) con la prueba de rango múltiple de Tukey en $p < 0.05$ se realizó utilizando Statgraphics Plus Ver. 5.1 Software (Statistical Graphics Corp., EE. UU.) (<http://www.statgraphics.com>) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. Los gráficos se realizaron utilizando el programa Sigma Plot ver. 11.0.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron que cuando no se agregó biocida PPM al medio MS, los segmentos nodales de todos los clones de limón persa se contaminaron el día 60, y la contaminación por hongos, así como de hongos + bacterias se presentó en 100% (Figura 1a).

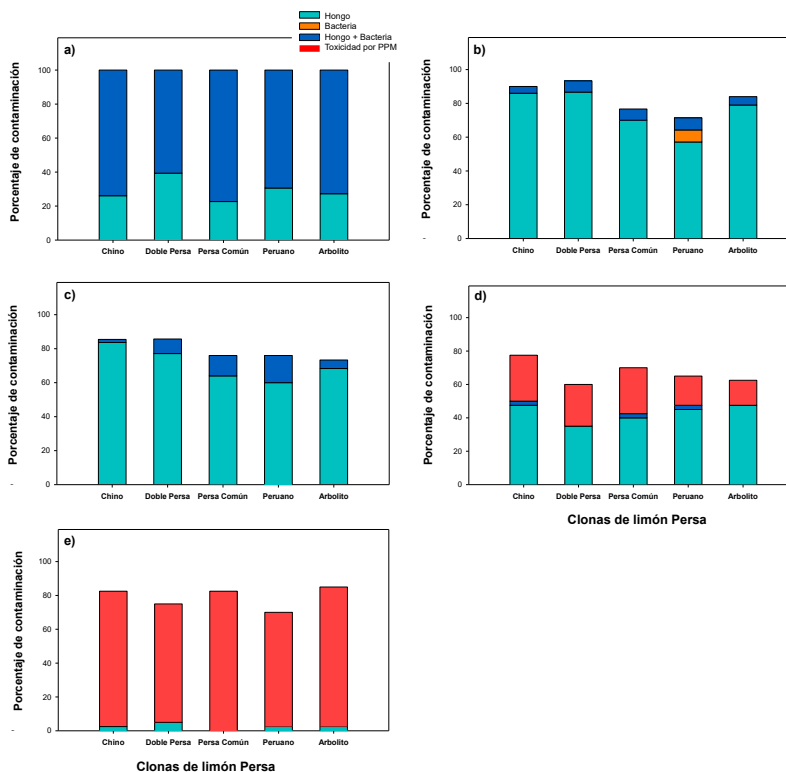


Figura 1. Porcentaje de contaminación de segmentos nodales de diferentes clones de limón persa bajo condiciones *in vitro*, después de 60 días en medio MS suplementado con a) 0 mL/L PPM, b) 0.1 mL/L PPM, c) 0.2 mL/L PPM, d) 0.3 mL/L PPM y e) 0.4 mL/L PPM.

Sin embargo, cuando se agregó 0.1 mL/L y 0.2 mL/L de PPM al medio MS, los resultados mostraron que la tasa de contaminación de estos segmentos nodales fue del 70-80%, principalmente causada por hongos (Figura 1b-c). Después de 60 días, el cultivo de segmentos nodales de limón persa en medio de cultivo MS suplementado con 0.3 y 0.4 mL/L de PPM causó efectos fitotóxicos en todos los explantes con altas tasas de oxidación (más del 95%) (Figura 1d-e). En este contexto, cuando se agregó al medio MS la concentración de 0.3 mL/L de PPM, el clon Doble persa tuvo un menor porcentaje de contaminación (60%), pero el 35% de esta contaminación fue causada por hongos y el 25% por fitotoxicidad de PPM (Figura 1 d). Cuando se agregó 0.4 mL/L de PPM al medio MS, los segmentos nodales mostraron una alta fitotoxicidad por PPM (70-83%) (Figura 1e).

El análisis ANOVA mostró que el porcentaje de desinfección de los segmentos nodales de limón persa fue bajo cuando se cultivaron en MS sin PPM (menos del 5%). Sin embargo, cuando se expusieron estos segmentos nodales a 0.2 mL/L de PPM, los niveles de contaminación fue 68 al 82%, particularmente, debido a contaminación fúngica. Además, cuando se cultivaron los segmentos nodales en medio MS suplementado con 0.3 mL/L de PPM, la tasa de desinfección del clon Doble persa alcanzó el 40%, seguido por los clones Peruano y Arbolito (35 y 37% respectivamente), el clon Persa Común con 30% y clon Chino con 22% de desinfección (Figura 2).

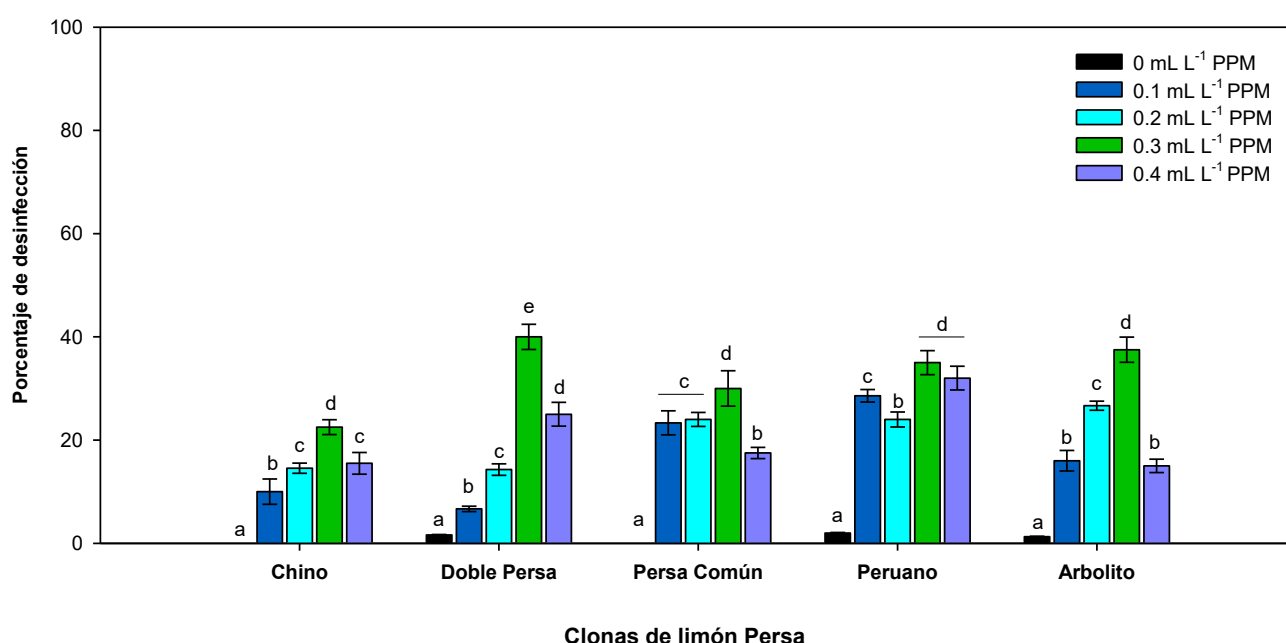


Figura 2. Porcentaje de desinfección de segmentos nodales de diferentes clones de limón persa a los 60 días bajo condiciones *in vitro*. El medio MS se suplementó sin PPM o con diferentes concentraciones de este biocida (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mL/L). Las letras indican diferencias significativas $p > 0,05$ y las barras representan la media $\pm$ desviación estándar.

Para minimizar la contaminación por hongos, realizamos un segundo experimento donde los segmentos nodales fueron cultivados en medio MS suplementado con biocida PPM + fungicida clorotalonil (Figura 3).

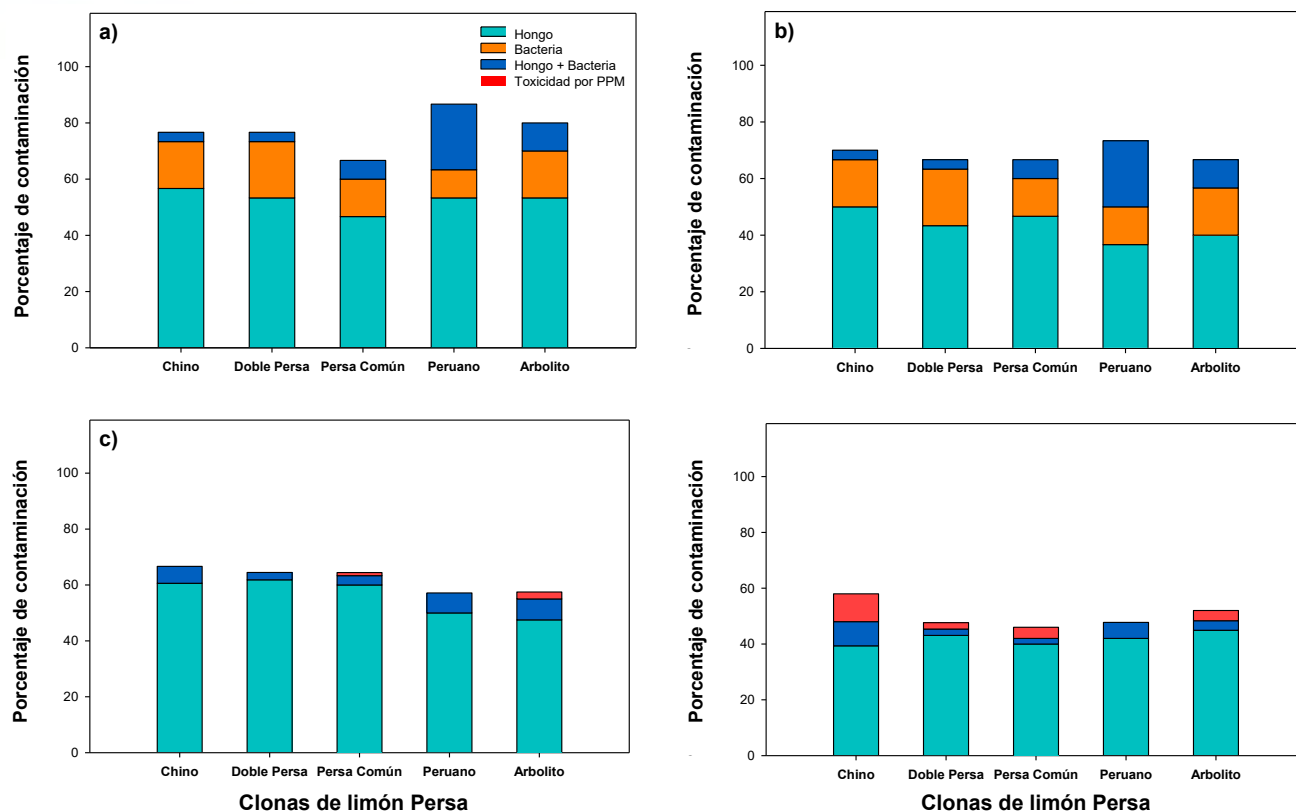


Figura 3. Porcentaje de contaminación de segmentos nodales de diferentes clones de limón persa bajo condiciones *in vitro*, después de 60 días de cultivo en medio MS suplementado con a) 0 mL/L PPM + 0.5 mL/L clorotalonil, b) 0 mL/L PPM + 1 mL/L clorotalonil, c) 0.2 mL/L PPM + 0.5 mL/L clorotalonil y d) 0.2 mL/L PPM + 1 mL/L clorotalonil.

Los resultados mostraron que en el tratamiento donde solo se agregó 0.5 mL/L de fungicida clorotalonil al medio MS (0 mL/L PPM + 0.5 mL/L), no se logró disminuir la tasa de contaminación, debido a que los segmentos nodales mostraron contaminación entre un 67% a 80%, principalmente, debido a hongos, bacterias y/o hongos + bacterias (Figura 3a). Cuando la concentración del fungicida clorotalonil se aumentó a 1 mL/L (0 mL/L PPM + 1 mL/L), los segmentos nodales aún mostraron una alta tasa de contaminación (67% a 73%) (Figura 3b). La contaminación de segmentos nodales en los clones de limón persa disminuyó con 0.2 mL/L PPM + 0.5 mL/L clorotalonil (57% a 66%), sin embargo, algunos segmentos nodales todavía mostraron síntomas de fitotoxicidad por PPM (Figura 3c). Interesantemente, el tratamiento con

0.2 ml/L PPM + 1 ml/L de clorotalonil fue eficaz para reducir aún más la contaminación por bacterias y hongos (Figura 3d). El clon Peruano fue el único que no mostró fitotoxicidad por PPM en los segmentos nodales usando 0.2 ml/L de PPM con 0.5 o 1 ml/L de clorotalonil (Fig. 3c-d).

El análisis ANOVA mostró que el clon Chino reveló una mejor tasa de desinfección cuando los segmentos nodales maduros se cultivaron en medio MS suplementado con 0.2 ml/L PPM + 1 ml/L clorotalonil (42% de desinfección). Asimismo, el clon Doble persa mostró la mejor tasa de desinfección cuando sus explantes se cultivaron en medio MS suplementado con 0.2 mL/L de PPM + 0.5 mL/L de clorotalonil (35%) y cuando se suplementó con 0.2 mL/L de PPM + 1 mL/L clorotalonil (52%). El clon Persa Común alcanzó una tasa de desinfección del 54% cuando los segmentos nodales se cultivaron en medio MS suplementado con 0.2 mL/L de PPM + 1 mL/L de clorotalonil. Asimismo, el clon Peruano alcanzó una tasa de desinfección del 42% cuando sus explantes se cultivaron en medio MS suplementado también con 0.2 mL/L de PPM + 0.5 mL/L de clorotalonil, pero aumentó su tasa de desinfección con 0.2 mL/L de PPM + 1 mL/L (52%). Asimismo, el clon Arbolito, alcanzó una tasa de desinfección del 48% con 0.2 mL/L de PPM + 0.5 mL /L de clorotalonil (Figura 4).

Debido al gran potencial económico del limón persa, las investigaciones se han centrado en obtener plantas libres de enfermedades vasculares. Para lograr este objetivo, es necesario establecer explantes desinfectados *in vitro* para una posterior micropropagación exitosa de esta especie. Sin embargo, la dificultad de desinfectar los explantes de limón persa durante la fase de establecimiento *in vitro* es limitada, debido a la alta tasa de contaminación microbiana, fúngica y necrótica (productos de exudado de fenol) (Pasqualini *et al.*, 2019). Por lo cual, es necesario el uso de biocidas, fungicidas y antibióticos, cuyas funciones han sido descritas como alternativas para controlar el crecimiento de hongos y bacterias endófitas durante el establecimiento *in vitro* (Plant Cell Technologies, 2020).

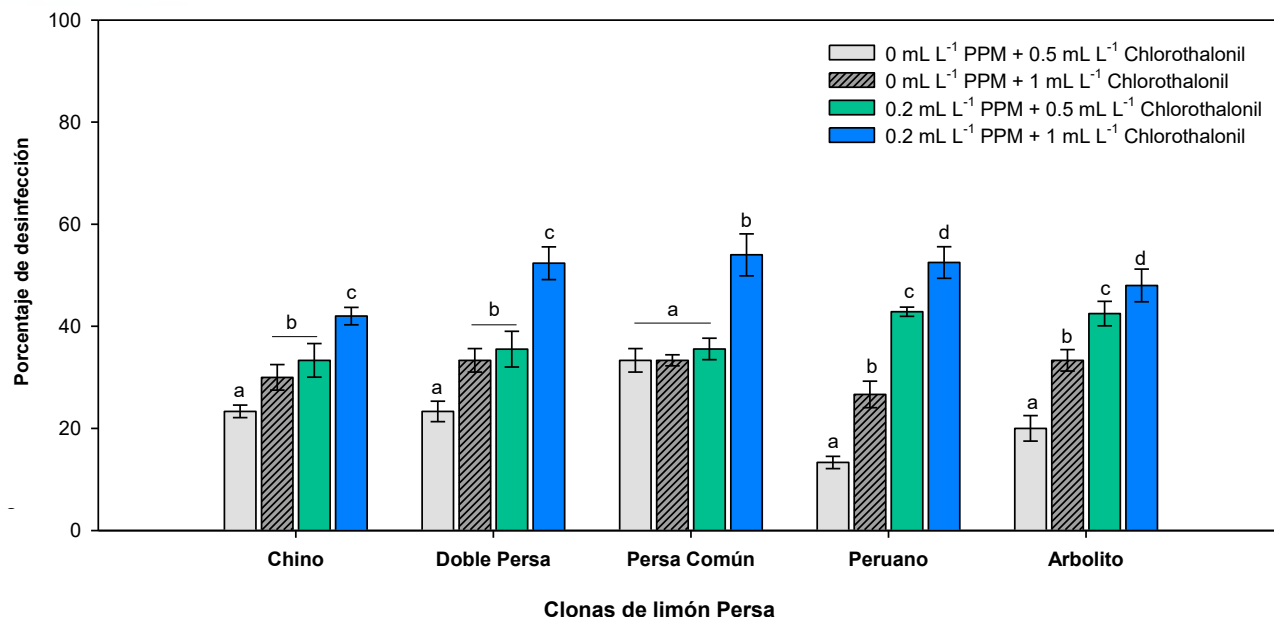


Figura 4. Porcentaje de desinfección de segmentos nodales de diferentes clones de limón persa a los 60 días bajo condiciones *in vitro*. El medio MS se suplementó con dos concentraciones diferentes de clorotalonil (0.5 y 1 mL/L) y con la adición de 0.2 mL/L de PPM. Las letras indican diferencias significativas $p > 0.05$ y las barras representan la media $\pm$ desviación estándar.

Aunque Vega-Pérez *et al.*, (1997) informaron que los segmentos nodales son explantes ideales para la introducción *in vitro*; estos son particularmente susceptibles a la invasión microbiana, lo que limita su desarrollo. Además, actualmente no existen protocolos de desinfección establecidos para estos explantes. Esto ha llevado a generar nuevas alternativas para reducir la presencia de microorganismos durante las primeras fases del establecimiento *in vitro* de segmentos nodales de limón persa. El fungicida clorotalonil y el biocida PPM son reactivos altamente recomendados en medios de cultivo de tejidos vegetales para evitar cargas bacterianas y fúngicas excesivas durante el cultivo *in vitro* de diferentes especies de plantas (Miranda *et al.*, 2019). La acción del clorotalonil es rápida, sus efectos generales sobre las células fúngicas incluyen la inhibición del crecimiento de micelios y esporas, lo cual se debe a su amplio espectro de acción y a la falta de desarrollo de resistencia genética (EXTOXNET, 2023). Asimismo, el biocida tipo PPM (Plant Preservative Mixture) se utiliza para controlar la

contaminación y su efecto sobre el crecimiento *in vitro* en especies tropicales (Digonzelli *et al.*, 2005).

En este contexto, Herrera-Flores *et al.*, (2017) utilizaron segmentos nodales de limón persa con el objetivo de obtener un protocolo de desinfección de esta especie en condiciones de cultivo *in vitro*; sin embargo, obtuvieron un bajo porcentaje de asepsia (34%). Asimismo, Méndez-Jiménez *et al.*, (2018) con el objetivo de establecer segmentos nodales de limón persa *in vitro*, utilizaron extractos metanólicos de *Hibiscus sabdariffa*, *Cinnamomun zeylanicum*, *Ruta graveolens* y *Thymus vulgaris*, sin embargo, solo se obtuvieron un 20% de explantes estériles con el extracto de *Hibiscus sabdariffa*; a las 48 horas los explantes presentaron contaminación con bacterias y hongos. En un estudio previo realizado por nuestro grupo de trabajo (Estrella-Maldonado *et al.*, 2022), utilizamos diferentes concentraciones de bactericida (Terra Oxitetraciclina) + fungicida (Clorotalonil), sin embargo, la tasa de desinfección fue del 52% durante el establecimiento *in vitro* de segmentos nodales de limón persa. Por lo tanto, se necesita más investigación para lograr el porcentaje de desinfección utilizando segmentos nodales de limón persa para el establecimiento aséptico de estos explantes bajo condiciones *in vitro*.

En nuestro estudio se realizó una doble desinfección con el fin de minimizar la contaminación en los segmentos nodales provenientes del campo. Para ello, durante la fase de pre-desinfección, como reportó Estrella-Maldonado *et al.* (2022), los segmentos nodales del limón persa fueron tratados con cloro, fungicidas y bactericidas durante mucho tiempo. En la segunda fase de desinfección, los segmentos nodales se cultivaron en medio MS suplementado con PPM y clorotalonil, con el fin de eliminar aún más microorganismos endófitos que pueden provocar la muerte de los explantes. Curiosamente, la adición de 0.3 y 0.4 mL/L de PPM redujo la contaminación; sin embargo, los segmentos nodales mostraron características oxidativas de fitotoxicidad de PPM. Como mencionan Carneiro *et al.* (2019), las altas concentraciones de PPM pueden hacer que el medio se vuelva más ácido debido a la formación de HCO_3 . Por lo tanto, planteamos la hipótesis de que una concentración superior a 0.3 mL/L⁻¹ de PPM provocó que el medio de cultivo donde se sembraron los segmentos nodales de limón persa fuera ácido. Así, la fitotoxicidad del PPM se debe a que estos explantes perdieron la capacidad de absorber agua y nutrientes.

Conclusiones

Si bien el PPM es un biocida ventajoso que actúa para controlar tanto bacterias como hongos en la fase de establecimiento *in vitro*, en nuestro estudio fue evidente que a concentraciones superiores a 0.3 mL/L de PPM, los segmentos nodales se vieron afectados por el aumento de la tasa de oxidación producida por la fitotoxicidad de este biocida. El mejor procedimiento de desinfección fue cuando se utilizó 0.2 mL/L de PPM + 1.0 mL/L de clorotalonil al medio de cultivo MS, con este tratamiento los segmentos nodales no presentaron fitotoxicidad por PPM y se redujo el desarrollo de microorganismos contaminantes en los diferentes clones de limón persa.

Literatura citada

- Camargo, S.S, A. Meneguzzi y L. Rufato. 2020. Cultivo *in vitro* do cultivar italiano de morangueiro Pircinque. Acta Biológica Catarinense 7:57-74.
- Carneiro, M.F, E.F. Duarte, L.M. Vargas, S.T. Sibov, E.C.da. Conceição, J.C. Nogueira. 2019. Multiplicação da planta medicinal *Brosimum gaudichaudii* Trécul (Moraceae) em meio de cultura. Revista Fitos. Rio de Janeiro 13:61-73.
- Cox, C. 1997. Fungicide factsheet: Chlorothalonil. Journal of Pesticide Reform 17:14-20.
- Digonzelli, P, L. Díaz and de.B.S. Carrizo. 2005. Uso de PPM (Plant Preservative Mixture) para controlar contaminantes bacterianos en la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar. Revista de la Facultad de Agronomía 22:23-33.
- Estrella-Maldonado, H, S.J.R. Mora and C.G. Rodríguez-Quibrera. 2022. Disinfection procedure for stem cuttings and *in vitro* production of axillary buds for the Persian lemon sanitation. International Journal of Science and Research Archive 7:470-476.

EXTOXNET (Extension Toxicology Network) 2023. Chlorothalonil Information. Disponible en: <http://extoxnet.orst.edu/pips/chloroth.htm>.

Hamirah, M.N, S. Hamsawi, P.C. Boyce and S.L. Sim. 2010. Micropropagation of red ginger (*Zingiber montanum* Koenig), a medicinal plant. Asia Pacific Molecular Biology and Biotechnology 18:127-130.

Herrera-Flores, J.R, J.H. Caamal-Velázquez, J.E. Ramírez-Benítes y M.A. Gutiérrez-Espinosa. 2017. Establecimiento *in vitro* de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y su propagación masiva. Campeche: Colegio de Posgraduados.

Jiménez, V.M, J. Castillo, E. Tavares, E. Guevara y M. Montiel. 2006. *In vitro* propagation of the neotropical giant bamboo, *Guadua angustifolia* Kunth, through axillary shoot proliferation. Plant Cell Tissue Organ and Culture 86:389-395.

Kumar, N and M. Reddy. 2011. *In vitro* Plant Propagation: A Review. Journal of Forest and Environmental Science 27:61-72.

Leão, J.R.A, A. Raposo, da. S.A.C. Lopes and S.P.T. Barbosa. 2020. Control of contaminants in the *in vitro* establishment of *Guadua latifolia*. Pesquisa Agropecuária Tropical 50:e63541.

Leifert, C, C. Morris and W. Waites. 1994. Ecology of microbial saprophyte and pathogens in tissue culture and field grown plants: reason for contamination problems *in vitro*. Critical Reviews in Plant Sciences 13:139-183.

Méndez, J.M.A, V.J.H. Caamal, A.N.L. Rodríguez, D.A. Vargas, M.J.C. Alamilla y C.M.A. Criollo. 2020. Avances y limitantes en la micropropagación del limón persa (*Citrus × latifolia* Tan.). Temas de Ciencia y Tecnología 24:33-40.

- Méndez-Jiménez, M.A, J.H. Caamal-Velázquez, C.M.A. Criollo y J.L. Mora-López. 2018. Evaluación de los extractos naturales de *Hibiscus sabdariffa* y *Allium sativum* en el establecimiento aséptico de limón persa (*Citrus × latifolia*) mediante técnicas de cultivo *in vitro*. Chiapas: Universidad Tecnológica de la Selva.
- Miranda, N.A, M. Titon, I.M. Pereira, J.S.C. Fernandes y M.M. Santos. 2019. Establecimiento *in vitro* de *Eremanthus incanus*. Pesquisa Florestal Brasileira 39:1-7.
- Murashige, T and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant* 15:473-497.
- Nadha, H.K, R. Salwan and R.C. Kasana. 2012. Identification and elimination of bacterial contamination during *in vitro* propagation of *Guadua angustifolia* Kunth. *Pharmacognosy Magazine* 8:93-97.
- Orlikowska, T, K. Nowak and B. Reed. 2017. Bacteria in the plant tissue culture environment. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 128:487-508.
- Ortega, P. 2010. Obtención de multimeristemas y callos de diferentes variedades de Banano y Plátano (*Musa* spp) a partir de “Meristemas Apicales” y “Scalps”. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 123 p.
- Pacheco, L.B y M.S. Rodrigues. 2021. Controle de bactérias visando à propagação *in vitro* de pimenteira-do-reino. Orientador: Joanne Moraes de Melo Souza; Oriel Filgueira de Lemos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA.
- Palú, E.G, L.de.S. Corrêa, A.N. Suzuki and A.C. Boliani. 2011. Use of antibiotics for the control of endogenous bacteria aiming the micropropagation of fig trees. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:587-592.

- Pasqualini, A.P. dA, M.C. Santos, B.F. Sant, A. Santos, H.P.D. Fraga and M. Quoirin. 2019. *In vitro* culture and diversity of endophytic fungi in *Bambusa oldhamii*. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 49:e53760.
- Pérez, J.N. 1998. *Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología*. Ed. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Cuba. 390 p.
- Plant Cell Technologies. PPM™ Plant Preservative Mixture Product Information. Consultado el 18 de noviembre de 2020.
- Santos, D.W.R., T.P. Rocker, T.S. Ornellas and M.P. Guerra. 2019. Effects of a commercial biocide, kasugamycin and consistency of the culture medium on the *in vitro* establishment of bamboo. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 49:e55435.
- Tejada-Alvarado, J.J, J.B. Meléndez-Mori, N.C. Vilca-Valqui, E. Huaman-Huaman y S.M. Oliva-Cruz. 2022. Efecto de biocidas y consistencia del medio de cultivo para el establecimiento *in vitro* de *Guadua angustifolia*. *Bosque (Valdivia)* 43:117-123.
- Vega-Pérez, J, M.J. Verde-Star, H. Gamez-Gonzalez, A. Oranday-Cardenas, E. Cerda-Cardenas y R. Hernández-Mercado. 1997. *Regeneración in vitro* de naranjo agrio (*Citrus aurantium* Linn.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Watt, M.P, B.A. Gauntlett and F.C. Blakeway. 1996. Effect of Anti-Fungal Agents on *in vitro* Cultures of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal* 175:23-27.

INDUCCIÓN DE LA EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA EN LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)

Humberto Estrella Maldonado^{106*}, Maritza Cruz Romero¹⁰⁷, Berenice Preza Murrieta¹⁰⁶,
Ricardo Santillán Mendoza¹⁰⁶, Cristian Matilde Hernández¹⁰⁶, Arianna Chan León¹⁰⁸,
María del C. Pablo Mendoza¹⁰⁶ y Felipe R. Flores de la Rosa¹⁰⁶

Resumen

La producción de limón Persa en México es una actividad importante para el sector agrícola. Actualmente los estados de Veracruz, Michoacán, Oaxaca y Colima, aportan el 75% de la producción nacional. Sin embargo, uno de los principales problemas a los que se enfrentan los productores de limón Persa es la dificultad para controlar enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos, fitoplasmas y otros organismos patogénicos que causan importantes pérdidas económicas en el cultivo de cítricos a nivel mundial. Por tal motivo, se necesitan nuevos cultivares de limón Persa tolerantes a diferentes tipos de estrés bióticos y/o abióticos que amenazan a la industria citrícola. El mejoramiento de los cítricos mediante métodos convencionales por sí solos tiene muchas limitaciones que pueden superarse mediante la regeneración de plantas a través de la embriogénesis somática. De este modo, el objetivo de la presente investigación fue establecer un protocolo de inducción de la embriogénesis somática en limón Persa utilizando como explantes diferentes órganos florales como pétalos, estambres y estigmas. Los resultados indicaron que la inducción del callo embriogénico fue lograda utilizando el explante “estigma” sembrado en medio de cultivo MS suplementado con 2.5 mg/L de 2,4-D a partir de la semana 6 de iniciado el experimento. La tecnología desarrollada servirá de base para la regeneración de plantas, así como desarrollar protocolos de transformación genética para obtener plantas tolerantes a estreses bióticos y/o abióticos.

Palabras Clave: 2,4-D, callo embriogénico, *in vitro*

Introducción

Los cítricos han incrementado su producción y exportación a nivel mundial en los últimos años. Respecto a limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.), México es el segundo productor de esta fruta

¹⁰⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco, Km 4.5 Carr. Martínez de la Torre-Tlapacoyan, C.P. 93600, Ver, México. *Autor de correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

¹⁰⁷ Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Carr. Gutiérrez Zamora-Boca de Lima, km 2.5 Gutiérrez Zamora, C.P. 93557, Ver, México.

¹⁰⁸ Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván, Km 4.5 Carr. Cd. Cardel-Chachalacas, Úrsulo Galván C.P. 91667, Ver, México.

con el 13.5% del total de la producción mundial (USDA, 2023). Sin embargo, según informes del USDA, la producción mundial de cítricos se ha mermado a partir del año 2023 debido a las condiciones climáticas adversas. Además, la incidencia de diversas enfermedades e insectos afectan la calidad de la fruta y ocasionan una disminución de la producción. Entre las enfermedades más comunes en limón Persa se encuentran el virus de la tristeza de los cítricos (VTC), exocortis, Huanglongbing (HLB), antracnosis, muerte descendente, gomosis, entre otras (Camacho-Tapia *et al.*, 2021).

El limón Persa se propaga de manera asexual mediante injertos sobre patrones debido a que no posee semillas (Milla *et al.*, 2009). Este tipo de propagación requiere de una gran superficie, el proceso es lento y además de no estar exento de contaminaciones por las labores culturales de la propagación en condiciones de invernadero o campo. Ante esta problemática, el cultivo de tejidos vegetales es una herramienta biotecnológica valiosa a la propagación tradicional del limón Persa, debido a que, la micropropagación puede desarrollarse a partir de una amplia gama de explantes vegetales como son las secciones de tallo, raíz, meristemos radicales, meristemos apicales, brotes y órganos florales (Singh, 2002). Así, el cultivo de tejidos vegetales nos permite disminuir los costos de producción, obtener material vegetal libre de plagas y enfermedades, y asegura que el material vegetal esté disponible en cualquier época del año (Méndez *et al.*, 2020).

En la actualidad una de las alternativas de propagación vegetativa con enorme potencial es la embriogénesis somática (ES), esta herramienta nos permite multiplicar plantas masivamente a partir de una sola, además, estas plantas propagadas son idénticas a la planta madre y entre sí, en otras palabras, son consideradas como clones (Loyola-Vargas *et al.*, 2008). Además, la ES representa un método biotecnológico para obtener plantas sanas con posibilidad de obtener variabilidad genética útil para la selección de plantas resistentes o tolerantes a patógenos (Escalant *et al.*, 1994). Asimismo, el callo embriogénico proporciona el material de inicio para el desarrollo de suspensiones de células embriogénicas, las cuales producirán embriones y finalmente poder regenerar plantas (Strosse *et al.*, 2003). Por lo tanto, la ES proporciona una alternativa de regeneración *in vitro* confiable y una herramienta auxiliar para diversos programas de mejoramiento genético (Escalant *et al.*, 1994).

En especies de cítricos, el tipo de explante es esencial para el desarrollo eficiente de la embriogénesis somática (Ahmad *et al.*, 2016). De igual forma, Carimi (2005) reportó que, en

cítricos, los tejidos florales viejos, disminuyen las posibilidades de formación de callos y embriones a partir de óvulos, estigmas o explantes de estilo no desarrollados. Por tal motivo, con el fundamento que, en cítricos, la formación de callo embriogénico depende del estado del tejido y que su inducción ocurre fácilmente en tejidos juveniles, en este estudio utilizamos flores inmaduras con la finalidad de obtener un mayor potencial embriogénico. Asimismo, los diferentes órganos florales utilizados como explantes en este estudio provienen de árboles de limón Persa visiblemente libres de cualquier síntoma de enfermedad, estrés o cualquier otra anomalía física. Aunque se han realizado muchas investigaciones sobre el proceso embriogénico en los cítricos, no existen reportes que describan la embriogénesis somática en limón Persa. En cítricos, la inducción del callo embriogénico se ha reportado en explantes de óvulos no desarrollados (Sawy *et al.*, 2005), anteras (Huda *et al.*, 2012), estilos y estigmas, hojas, epicótilos, cotiledones y segmentos de raíz (Gill *et al.*, 1994). De igual forma, el medio basal EBA (suplementado con 2,4-D y 6-BAP) y el medio basal DOG (suplementado con Kinetina) se han utilizado para inducir el callo embriogénico en cítricos (Mendes-da-Glória *et al.*, 1998; Grosser *et al.*, 2010). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue inducir la embriogénesis somática en limón Persa a partir de pétalos, estambres y estigmas, cultivados en diferentes concentraciones de la auxina 2,4-D.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se colectaron flores de árboles de limón Persa (*Citrus x latifolia* Tan.) de siete años de edad de la huerta experimental perteneciente al Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA-INIFAP) ubicado en las coordenadas N 20° 2' 35.48" y W 97° 5' 52.60". Asimismo, estas flores fueron cortadas con ayuda de hojas de bisturí previamente desinfectadas con cloro comercial al 20%. Para evitar la deshidratación de las flores, fueron colocadas dentro de bolsas de polietileno estériles y almacenadas en hielera con la finalidad de mantener la temperatura cercana a 4°C, el traslado del material vegetal se realizó en un máximo de 1 h hasta su llegada al laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario en el área de Cultivo de Tejidos Vegetales del CEIXTA-INIFAP.

A su arribo al laboratorio, las flores de limón Persa fueron desinfectadas con detergente líquido comercial, y enjuagadas con agua de grifo durante tres repeticiones. Posteriormente, se sumergieron en una solución de NaClO al 20% (v/v) en agitación constante durante 15 min y seguidamente se enjuagaron en agua destilada durante 5 min. En seguida, se realizó un tratamiento con una solución de fungicida Benomyl (1 g/L), manteniendo los explantes en agitación durante una hora y enjuagadas con agua destilada estéril en tres repeticiones. Bajo condiciones de cámara de flujo laminar, las flores fueron sumergidas en etanol al 75% durante 5 min y al finalizar el tiempo de inmersión, fueron enjuagadas tres veces con agua destilada estéril.

Inducción de callo embriogénico

Las flores desinfectadas fueron diseccionadas, para obtener los siguientes explantes: pétalos, estambre y estigmas. En condiciones de cámara de flujo laminar, se sembraron 5 explantes por cada placa Petri en un medio semisólido constituido por 4.43 g/L de sales Murashige y Skoog (1962), suplementado con 50 g/L de sacarosa, y la adición de la fitohormona 2,4-D a diferentes concentraciones correspondiente para cada tratamiento (Cuadro 1). El pH del medio de cultivo fue ajustado a 5.8 con NaOH o HCl (1N) y 8 g/L de agar-agar fue agregado para la correcta solidificación. El medio de cultivo fue esterilizado a 121°C por 15 min. Luego, se adicionó 200 µl de biocida PPM antes de la gelificación del medio de cultivo con la finalidad de reducir la contaminación bacteriana y fúngica. Los explantes fueron incubados a 25°C, 60% de humedad relativa y bajo condiciones de oscuridad total. Al finalizar los 60 días, con la ayuda de un Estereoscopio Trinocular (EUROMEX SB-1903P) se verificó que el callo generado presentara estructuras embriogénicas de tipo globular o corazón o torpedo, con la finalidad de asegurar que fuera callo embriogénico.

Cuadro 1. Medio de cultivo MS enriquecido con diferentes concentraciones de 2,4-D para inducir la embriogénesis somática en diferentes explantes foliares de limón Persa.

Tratamiento	Código	Concentración 2,4-D	de Explante
Control	C	0 mg L	Pétalo Estambre Estigma
Tratamiento 1	T1	2.5 mg L	Pétalo Estambre Estigma
Tratamiento 2	T2	5.0 mg L	Pétalo Estambre Estigma
Tratamiento 3	T3	7.5 mg L	Pétalo Estambre Estigma
Tratamiento 4	T4	10.0 mg L	Pétalo Estambre Estigma

Análisis estadístico

La tasa de callogénesis de los diferentes explantes foliares (pétalos, estambre y estigmas) se analizaron como diseños completamente al azar compuesto por 5 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento; siendo la unidad experimental una placa Petri de tres a cinco explantes. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Se utilizó la prueba de comparación de medias por Tukey para determinar diferencias significativas entre las medias ($p < 0.05$) utilizando el software Statgraphics Plus Ver. 5.1 (Statistical graphics Corp., USA). Los gráficos se realizaron utilizando el programa Sigma Plot ver. 11.0.

Resultados y discusión

Nuestros resultados indicaron que el protocolo de desinfección logró que el 90% de los explantes estuvieran desinfectados. Albarrán *et al.* (2009) reportaron similares resultados al usar mayor concentración de NaOCl (2.5%) en flores masculinas inmaduras para inducir la embriogénesis somática en Pineo Gigante y Cambur Manzano. La inducción de la embriogénesis somática en limón Persa fue evaluada mediante la formación de callo embriogénico a los 45 días de cultivar los explantes en medio MS suplementado con diferentes concentraciones de la auxina 2,4-D. Los resultados indicaron que ningún explante fue capaz de inducir callo embriogénico cuando fueron sembrados en ausencia de 2,4-D. Asimismo, los explantes provenientes de pétalo no presentaron capacidad alguna para formar callo embriogénico a los 45 días de cultivo con y sin la auxina 2,4-D (Figura 1).

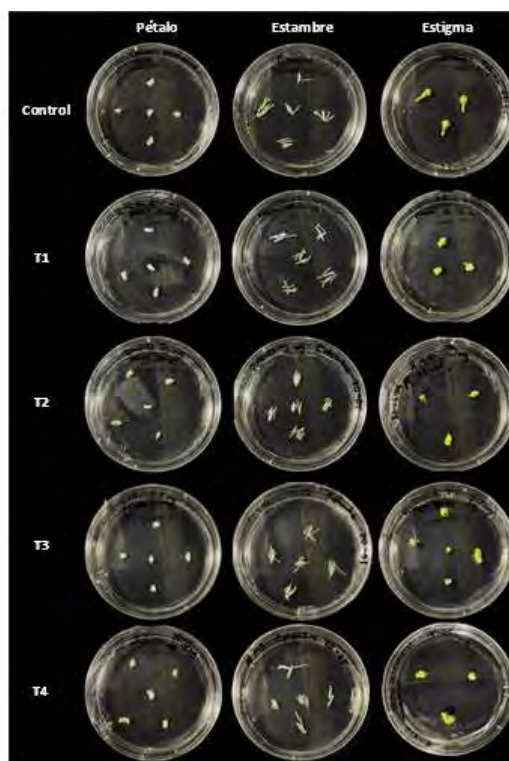


Figura 1. Inducción de embriogénesis somática en limón Persa a partir de diferentes explantes foliares (pétalo, estambre y estigma).

Cuando se adicionó 7.5 mg/L de 2,4-D al medio de cultivo MS (T3), el estambre mostró un 27.7% de callo embriogénico, seguido de los tratamientos con 2.5 y 5 mg/L de 2,4-D (T1 y T2) quienes obtuvieron valores cercanos al 20% de callo embriogénico, y finalmente el tratamiento con 10 mg/L de 2,4-D (T4) quien alcanzó un 5.8% de callo embriogénico. De igual forma, es importante mencionar que el explante estigma presentó mayor porcentaje de callo embriogénico en todos los tratamientos evaluados con 2,4-D. En este contexto, se observó que el estigma sembrado en medio de cultivo MS suplementado con 2.5 mg/L de 2,4-D (T1) presentó el mayor porcentaje de callo embriogénico (69.8%), seguido de los tratamientos T2 y T3 (5 y 7.5 mg/L de 2,4-D) con valores de entre 58 y 54%, respectivamente, y finalmente el tratamiento T4 (10 mg/L) quien presentó el menor porcentaje de callo embriogénico (40%) en el explante estigma al finalizar el experimento (Figura 2). Por lo tanto, el explante estigma, constituyen la mejor alternativa para la formación de callo embriogénico en limón Persa. Al respecto, hipotetizamos que los estigmas utilizados presentaron una mayor respuesta embriogénica debido a que es un tejido joven y menos diferenciado.

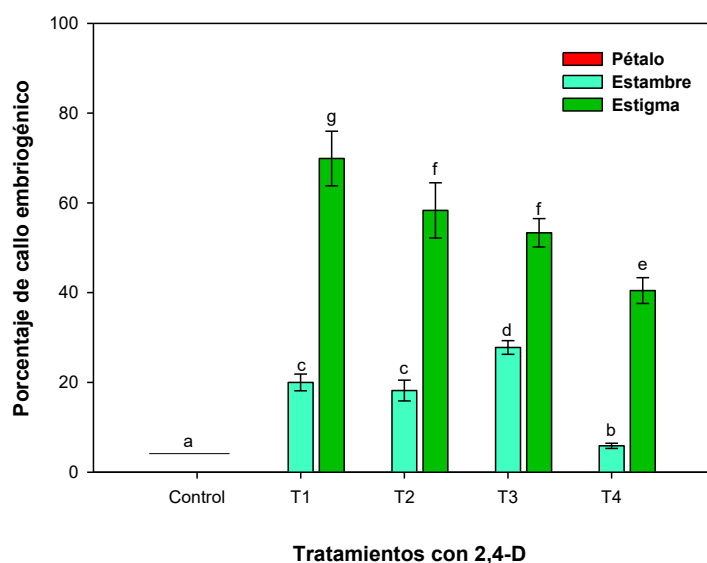


Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones de 2,4-D sobre el porcentaje de callo embriogénico a partir de diferentes órganos florales de limón Persa (pétalo, estambre y estigma). Medias de letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). E.S. = Error estándar.

Al finalizar 60 días de cultivo, se observó que el callo embriogénico generó estructuras globulares, las cuales están formadas por numerosas células esféricas y organizadas, además de la presencia de estructuras de tipo corazón bien definido, características básicas de las primeras etapas de desarrollo embrionario (Figura 3).

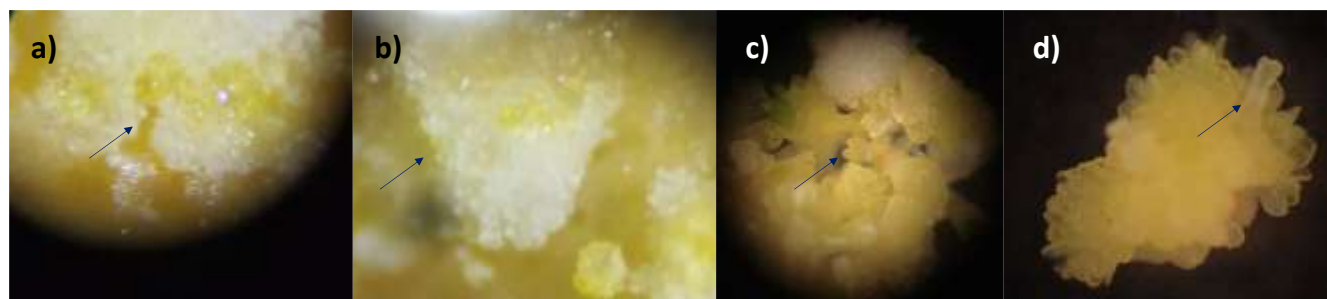


Figura 3. Presencia de estructuras globulares (a-b) y corazón (c-d) a partir del explante estigma a los 60 días de su cultivo en medio MS enriquecido con 2.5 mg/L de 2,4-D.

Conclusiones

Se estableció un protocolo para la inducción del callo embriogénico a partir del explante estigma de limón Persa. Los resultados indicaron que la inducción embriogénica en esta especie depende de la interacción del explante con la concentración de la auxina 2,4-D. A partir de los 45 días, el 69.8% de los estigmas sembrados en medio de cultivo MS suplementado con 2.5 mg/L de 2,4-D resultó ser el mejor tratamiento inductor de callo embriogénico mostrando la presencia de estructuras globulares y corazón. El desarrollo de un protocolo de embriogénesis somática en limón Persa se convertiría en una poderosa herramienta para multiplicar esta especie y obtener un banco de germoplasma para el intercambio de material genético, además servirá de base para futuros trabajos de mejoramiento genético.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), No. Proyecto 322068: “Fortalecimiento del equipo e infraestructura para el estudio y control de las principales enfermedades de cítricos para incidir en el bienestar social de la zona citrícola de Veracruz”.

Literatura citada

- Ahmad, A. O, D. Manjul, F. G. Gmitter and J. W. Grosser. 2016. Somatic Embryogenesis: Still a Relevant Technique in Citrus Improvement. *Methods Mol. Biol.* 1359:289-327.
- Albarrán, R. J. G, A. E. González-Pacheco, O. S. González, E. G. Y. Salazar, I. E. Trujillo, M. M. Fuchs y M. C. Torrealba. 2009. Embriogénesis somática a partir de flores masculinas de pino gigante y cambur manzano. *Agron. Trop.* 59:363-371.
- Camacho-Tapia, M, S. G. Leyva-Mir, M. A. Bautista-Cruz, G. A. Vargas, M. T. Colinas, J. M. Tovar. 2021. Efectividad de fungicidas y *Trichoderma* spp. para el control de *Lasiodiplodia* spp. en huertos de limón Persa en Veracruz. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 12:345-353.
- Carimi, F. 2005. Somatic embryogenesis protocol: Citrus. p. 321–343. *In*: Jain SM, Gupta PK (eds.) Protocol for somatic embryogenesis in woody plants. Springer, Netherlands.
- Escalant, J. C, T. Teissona and F. Côte. 1994. Amplified somatic embryogenesis from male flowers of triploid banana and plantain cultivars (*Musa* spp.). *in vitro Cell Dev Biol* 30:181-186.

- Gill, M. I. S, Z. Singh, B. S. Dhillon and S. S. Gosal. 1994. Somatic embryogenesis and plant regeneration on calluses derived from seedling explants of kinnow mandarin (*Citrus nobilis* Lour × *Citrus deliciosa* Tenora). J. Hortic. Sci. 69:231-236.
- Grosser, J. W, M. Calovic and E. S. Louzada. 2010. Protoplast fusion technology-somatic hybridization and hybridization. p. 175-198. In: Davey M.R., Anthony P. (eds) Plant cell culture. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- Huda, A. K. Al. T, M. J. Abbas and F. A. Muayed. 2012. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from nucleus tissues of Local orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Acta Agric. Slov. 99:185-189.
- Loyola-Vargas, V. M, C. De-la-Peña, R. M. Galaz-Avalos and F. R. Quiros-Figueroa. 2008. Plant Tissue Culture. p. 875-904. In: Walker J. M. and R. Rapley (eds.). Molecular Biomethods Handbook: Second Edition. USA: Humana Press.
- Mendes-da-Glória, F. J, F. E. Alves, C. G. Borges and B. M. Januzzi. 1998. Embryogenic calli induction from nucellar tissue of *Citrus* cultivars. Sci. Agric. 56:1111-1115.
- Méndez, J. M. A, V. J. H. Caamal, A. N. L. Rodríguez, D. A. Vargas, M. J. C. Alamilla y C. M. A. Criollo. 2020. Avances y limitantes en la micropropagación del limón persa (*Citrus × latifolia* Tan.). Temas de Ciencia y Tecnología 24(72):33-40.
- Milla, D., M. Arizaleta, L. Díaz. 2009. Crecimiento de limero "Tahiti" (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 9:85-95.
- Murashige, T and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiol. Plant 15:473-497.

- Sawy, A. E., A. Gomaa, A. Reda and N. Danial. 2005. Somatic embryogenesis and plant regeneration from undeveloped ovules of Citrus. Arab J. Biotechnol. 9:189-202.
- Singh, I. P. 2002. Micropropagation in citrus – A review. Agric. Rev. 23:1-13.
- Strosse, H, R. Domergue, B. Pains, J.V. Escalant and F. Côte. 2003. Banana and plantain embryogenic cell suspensions. INIBAP Technical Guideline 8. 31 p.
- USDA (U.S Department of Agriculture). 2023. Mexico: Citrus Annual. <https://fas.usda.gov/data/mexico-citrus-annual-8> [consultado el 24 de septiembre de 2024].

RENDIMIENTO Y REACCIÓN A MUSTIA HILACHOSA Y MANCHA ANGULAR DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO TROPICAL

Oscar Hugo Tosquy Valle¹⁰⁹, Valentín Alberto Esqueda Esquivel¹⁰⁹, Francisco Javier Ibarra Pérez¹⁰⁹, Enrique Noé Becerra Leor¹⁰⁹ y Héctor Daniel Inurreta Aguirre^{109*}

Resumen

En Veracruz, México, la mancha angular y la mustia hilachosa son dos de las enfermedades que afectan significativamente el rendimiento del frijol. El objetivo del trabajo fue identificar genotipos de frijol negro resistentes a ambas enfermedades en condiciones de campo, con mayor rendimiento de grano que la variedad Negro Jamapa. En otoño-invierno de 2019-20 se condujo un ensayo en dos localidades de Orizaba, Veracruz, México. Se evaluaron 11 líneas de frijol negro y las variedades Negro Medellín, Verdín y Negro Jamapa (utilizada como testigo), en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones y parcelas experimentales de tres surcos de 5 m de longitud. La reacción de los genotipos a la incidencia natural de mustia hilachosa en Rincón Grande y mancha angular en Rincón Chico, se evaluó utilizando la escala general de 1 a 9 del CIAT. Después de la cosecha se estimó el rendimiento de grano en kilogramos por hectárea a 14% de humedad. Se realizaron análisis de varianza de las variables cuantificadas y análisis combinado del rendimiento de grano y para la separación de promedios se aplicó la DMS $\alpha = 0,05$. En Rincón Grande, la mustia hilachosa redujo significativamente el rendimiento de frijol ($r = -0.810^{**}$). Las tres líneas derivadas de la cruza Jamapa Plus/XRAV-187-3, junto con Negro Papaloapan/SEN 46-3-2 y Negro Papaloapan/SEN 46-2-6 y Verdín mostraron resistencia a esta enfermedad (incidencia promedio de entre 2.0 y 3.33), mientras que, Negro Jamapa fue la más afectada (incidencia promedio de 6.0). En Rincón Chico, la mancha angular no afectó significativamente el rendimiento de grano ($r = -0.454$ ns), debido a que su incidencia fue tardía en el ciclo del cultivo. La mayoría de los genotipos sólo presentaron síntomas leves de la enfermedad, mientras que, Negro Medellín fue la más afectada con un valor de incidencia promedio de 5.33, estadísticamente similar al de Negro Jamapa, Negro Papaloapan/SEN 46-3-2 y Negro Papaloapan/SEN 46-7-7. Las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1, Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y la variedad Verdín mostraron resistencia a ambas enfermedades y fueron las más productivas, con un rendimiento promedio mayor a 2,100 kg/ha, significativamente superior al del testigo Negro Jamapa.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L. enfermedades, resistencia genética, productividad

¹⁰⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia: inurreta.hector@inifap.gob.mx

Introducción

Las enfermedades fungosas son uno de los principales factores bióticos que comúnmente afectan el cultivo de frijol en las áreas tropicales y subtropicales del estado de Veracruz, México (López *et al.*, 2006). De éstas, la mancha angular provocada por el hongo [*Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris] destaca por su frecuencia de aparición, ya que se presenta tanto en las siembras del ciclo de otoño-invierno en condiciones de humedad residual, como en las de verano, bajo temporal; estas últimas se realizan en su mayor parte en la región de Las Altas Montañas del centro de la entidad, en áreas ubicadas a altitudes mayores a 800 m (López *et al.*, 2007; Tosquy *et al.*, 2012; Becerra *et al.*, 2021).

Esta enfermedad se caracteriza por provocar lesiones angulares en las hojas inferiores, delimitadas por nervaduras de color café-rojizo, en las cuales se forman las esporas que son el inóculo para las hojas secundarias; las lesiones se pueden extender sobre toda la lámina foliar y provocar su caída. En las vainas, las lesiones son ovaladas y circulares, de color café oscuro o rojizo. Condiciones ambientales de alta humedad relativa (>70%), alternada con días secos o de baja humedad y temperaturas de entre 18 y 25°C, favorecen la infección y el desarrollo de la mancha angular (Garza *et al.*, 2009), la cual puede provocar pérdidas mayores a 70% en el rendimiento de frijol (Tosquy *et al.*, 2013).

La mustia hilachosa o telaraña tiene menor frecuencia de incidencia en la entidad, pero también es muy importante por los daños que provoca (Tosquy *et al.*, 2012). Esta enfermedad la causa el hongo [*Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk] en su estado perfecto, el cual infecta a la planta por medio de basidioesporas, en tanto que, al estado imperfecto (asexual) se le denomina *Rhizoctonia solani* Kühn (Becerra *et al.*, 2021). Los síntomas visuales consisten en manchas de color gris-verdoso a café-oscuro en las hojas, que dan la apariencia de ser provocadas por quemaduras de agua caliente. El micelio del hongo pasa a otros órganos de la planta, creciendo en forma de telaraña hasta cubrirla completamente. Las hojas se adhieren entre sí y se produce defoliación rápida y severa, mientras que, las vainas jóvenes pueden quedarse totalmente destruidas y en las vainas maduras, las lesiones se unen y causan daños severos (Araya y Hernández, 2006; Atilio y Reyes, 2008).

Períodos de precipitación pluvial alta y frecuente, con humedad relativa >80% y temperaturas, entre 20 y 30°C favorecen su incidencia en cualquiera de las etapas fenológicas del cultivo

(Gálvez *et al.*, 1989; Pedroza, *et al.*, 2010). El hongo puede atacar el follaje, tallos, ramas y vainas de la planta de frijol y provocar la pérdida total de la cosecha en pocos días (una o dos semanas), sobre todo en las áreas tropicales bajas (Rodríguez *et al.*, 1999; Pedroza *et al.*, 2010). En Veracruz, la mustia hilachosa se presenta de manera ocasional en las siembras de frijol que se establecen en la zona centro y región de Las Altas Montañas (Tosquy *et al.*, 2024) y de manera más frecuente en siembras de frijol del ciclo de otoño-invierno de los municipios de Martínez de la Torre y Tlapacoyan, ubicados en la zona norte, en donde ha provocado reducciones significativas en el rendimiento de grano (Rodríguez *et al.*, 2016).

Se considera que, además de la utilización apropiada de fungicidas y de algunas otras prácticas agronómicas como la siembra de frijol con cero labranza, el uso de variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento y resistentes o tolerantes a la mustia hilachosa y la mancha angular, se puede reducir significativamente el riesgo de pérdida de rendimiento e incrementar la productividad del cultivo (Rodríguez *et al.*, 1999; Tosquy *et al.*, 2013), ya que en el estado de Veracruz, la gran mayoría de los agricultores siembran variedades criollas de bajo rendimiento, otras de origen desconocido y algunas mejoradas como Negro Jamapa, generada hace más de seis décadas por el extinto INIA (Rosales *et al.*, 2004), las cuales son susceptibles a estas enfermedades (Ugalde *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2016; Tosquy *et al.*, 2024); además de que generalmente no aplican fungicidas para su control, debido a que se incrementan los costos de producción (Tosquy *et al.*, 2013). El objetivo fue identificar genotipos de frijol negro resistentes a la mustia hilachosa y la mancha angular en condiciones de campo, con mayor rendimiento de grano que el cultivar Negro Jamapa, comúnmente utilizado por los agricultores en Veracruz, México.

Materiales y métodos

Durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2019-20 (septiembre-febrero) se condujo un ensayo de frijol en condiciones de campo en dos sitios ubicados en el municipio de Orizaba, en la región de Las Altas Montañas de la zona centro del estado de Veracruz, México. La localización geográfica de los sitios de prueba y las condiciones ambientales en que se condujo el ensayo se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localización y características de sitios experimentales donde se condujo el ensayo uniforme de rendimiento en los estados de Chiapas y Veracruz.

Localidad/municipio	Localización		Altitud (m)	Condición ambiental
	LN	LO		
Rincón Grande, Orizaba	18° 51'	97° 06'	1,248	HR, STAM, MA (pH 6.51), RMO (5.96%)
Rincón Chico, Orizaba	18° 50'	97° 05'	1,191	HR, STAM, MA (pH 5.85), RMO (5.90%)

HR = Condición de humedad residual. STAM = Suelo de textura arena migajosa, MA = Suelo moderadamente ácido. RMO = Rico en materia orgánica.

Se evaluaron 11 líneas avanzadas de frijol negro generadas por el Programa Nacional de Frijol y Garbanzo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): cinco derivadas de la cruza Negro Papaloapan/SEN 46, tres de la cruza Negro Citlali/XRAV-187-3 y tres de la cruza Jamapa Plus/XRAV-187-3, junto con las variedades Negro Medellín y Verdín, liberadas por el INIFAP para las áreas tropicales del sureste de México (López y Acosta, 2002; Tosquy *et al.*, 2016), y Negro Jamapa utilizada como testigo regional. Los genotipos se sembraron a una densidad de 250,000 plantas/ha, en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones y parcelas experimentales de tres surcos de 5 m de longitud, en las que la parcela útil correspondió al surco central completo. El manejo agronómico se realizó de acuerdo con las recomendaciones que para cultivar frijol en Veracruz hace el INIFAP (López *et al.*, 2017).

Durante la conducción del ensayo se registró la precipitación pluvial y se calificó la incidencia de las enfermedades: mustia hilachosa en Rincón Grande y mancha angular en Rincón Chico. La evaluación de estas enfermedades se realizó de manera visual, durante la etapa R8 (llenado de vainas), utilizando la escala general de 1 a 9 del Centro Internacional de Agricultura Tropical, para evaluar la reacción del germoplasma de frijol a patógenos fungosos (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987), donde una reacción de 1 a 3 significa resistente (síntomas no visibles o muy leves), de 4 a 6 es una reacción intermedia (síntomas visibles que ocasionan un daño económico limitado) y de 7 a 9 es susceptible (síntomas severos a muy severos, que causan pérdidas considerables en el rendimiento o la muerte de la planta). Después de la cosecha, se estimó el rendimiento de grano, que se calculó a partir del peso del grano cosechado en cada parcela útil, en kilogramos por hectárea al 14% de humedad.

Se realizaron análisis de varianza individuales de las variables cuantificadas y análisis combinado del rendimiento de grano. Para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error (DMS, $\alpha = 0.05$) (SAS Institute, 1999). También se realizaron análisis de correlación entre los valores promedio de incidencia de cada enfermedad y el rendimiento de grano de los genotipos en cada sitio de prueba, para determinar si éstas provocaron un daño significativo en la producción de frijol (Olivares, 1994).

Resultados y discusión

En los análisis de varianza individuales se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos en todas las variables cuantificadas (Cuadro 2), lo que indica que los genotipos de frijol presentaron diferencias en su reacción a la incidencia de mustia hilachosa y mancha angular, así como en su capacidad productiva.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de variables cuantificadas en el ensayo de genotipos de frijol conducido en dos ambientes de la región de Las Alta Montañas centro del estado de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2019-20.

FV	GL	Mustia hilachosa ¹	Rendimiento de grano ¹	Mancha angular ²	Rendimiento de grano ²
Tratamientos	13	4.690 **	171881.531**	2.703 **	420000.000**
Bloques	2	2.952	32834.000	2.167	3056.000
Error	26	0.773	24293.846	0.731	47894.152
Total	41				
CV (%)		22.11	13.46	26.79	7.93

¹ En Rincón Grande. ² En Rincón Chico. **Significativo al 0.01.

En Rincón Grande, las condiciones de alta humedad relativa (>85%) por las constantes lluvias que ocurrieron durante la fase reproductiva del cultivo y temperaturas de moderadas a altas (entre 19 y 30°C), favorecieron la incidencia de mustia hilachosa a partir del inicio de la etapa

de llenado de vainas, la cual redujo significativamente el rendimiento de grano ($r = -0.810^{**}$). Estos resultados corroboran lo señalado por Takegami y Beaver (2000) y Costa-Coelho *et al.* (2014), en el sentido de que, conforme existe mayor daño causado por el patógeno de la mustia hilachosa, se obtiene menor cantidad de grano de frijol. Las tres líneas derivadas de la cruza Jamapa Plus/XRAV-187-3, junto con las líneas Negro Papaloapan/SEN 46-3-2 y Negro Papaloapan/SEN 46-2-6 y la variedad Verdín mostraron resistencia a esta enfermedad, con calificaciones promedio de incidencia de entre 2.0 y 3.33. En contraste, la variedad Negro Jamapa fue la más afectada por la mustia hilachosa, con daños estadísticamente similares a los mostrados por las tres líneas derivadas de la cruza Negro Citlali/XRAV-187-3 y significativamente superiores a los del resto de los genotipos (Cuadro 3). Cabe indicar que la resistencia de Verdín y la susceptibilidad de Negro Jamapa a la mustia hilachosa, ya han sido documentadas con anterioridad (Rodríguez *et al.*, 2016; Tosquy *et al.*, 2023).

Cuadro 3. Reacción de genotipos de frijol negro a la incidencia de mustia hilachosa y mancha angular en dos ambientes de la región de Las Altas Montañas de Veracruz, México.

Genotipo	Escala de 1 a 9 [†]	
	Mustia hilachosa	Mancha angular
Negro Papaloapan/SEN 46-2-6	3.33 cde	2.67 cd
Negro Papaloapan/SEN 46-3-2	2.00 e	4.00 abc
Negro Papaloapan/SEN 46-7-7	4.33 bcd	4.00 abc
Negro Papaloapan/SEN 46-7-10	4.33 bcd	3.00 bcd
Negro Papaloapan/SEN 46-7-12	4.33 bcd	2.00 d
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5	5.67 ab	2.67 cd
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	5.33 ab	3.00 bcd
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	4.67 abc	2.67 cd
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	3.33 cde	3.33 bcd
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1	2.00 e	2.00 d
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	3.00 de	3.33 bcd
Negro Medellín	4.33 bcd	5.33 a

Genotipo	Escala de 1 a 9 [†]	
	Mustia hilachosa	Mancha angular
Negro Jamapa (Testigo regional)	6.00 a	4.33 ab
Verdín	3.00 de	2.33 d
Promedio de ambiente	3.97	3.19
DMS (0.05)	1.476	1.435

[†] Valores de incidencia utilizando la escala general de 1 a 9 del CIAT, para evaluar la reacción del germoplasma de frijol a enfermedades fungosas (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987). Medias con letras iguales en cada columna de promedios, son estadísticamente similares según la Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.05).

En Rincón Chico, la mancha angular no afectó significativamente el rendimiento de frijol ($r = -0.454$ ns), debido principalmente a que su incidencia fue tardía en el ciclo del cultivo (hacia el final de la etapa de llenado de vainas). Estos resultados concuerdan con los reportados por López *et al.* (2006) en Medellín, Veracruz y Tosquy *et al.* (2012) en Tecamachalco, Puebla, quienes tampoco encontraron una relación negativa y significativa con el rendimiento de grano, en presencia de esta enfermedad a partir de las etapas de formación de vainas y llenado de éstas, respectivamente. La mayoría de los genotipos tuvieron calificaciones promedio de incidencia de entre 2.0 y 3.3, que indica que éstos solo mostraron síntomas leves de mancha angular (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987), mientras que, la variedad Negro Medellín fue la más afectada con un valor de incidencia promedio de 5.33, estadísticamente similar al registrado en la variedad Negro Jamapa y en las líneas Negro Papaloapan/SEN 46-3-2 y Negro Papaloapan/SEN 46-7-7, y significativamente superior al del resto de los genotipos (Cuadro 3). Cabe destacar que del grupo de genotipos que mostraron resistencia a la mustia hilachosa en Rincón Grande, las tres líneas derivadas de la cruza Jamapa Plus/XRAV-187-3 y la variedad Verdín, también sobresalieron por su rendimiento de grano, el cual fue estadísticamente similar al de la línea Papaloapan/SEN 46-7-12; por el contrario, las dos líneas derivadas de la cruza Negro Citlali/XRAV-187-3 y la variedad Negro Jamapa (que mostraron los mayores daños causados por esta enfermedad) fueron las menos productivas (Cuadro 4). A su vez, en Rincón Chico, las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, y la variedad Verdín fueron las más productivas con un

rendimiento de grano mayor a 3,000 kg/ha, estadísticamente similar entre sí, en tanto que, Negro Jamapa, junto con Negro Medellín (que presentaron la mayor incidencia de mancha angular), fueron las menos rendidoras (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento de grano (kg/ha) de genotipos de frijol negro evaluados en dos ambientes de la región de Las Altas Montañas de Veracruz, México. Ciclo otoño-invierno de 2019-20.

Genotipo	Rincón Grande	Rincón Chico	Promedio
Negro Papaloapan/SEN 46-2-6	1166.67 cd	2718.67 def	1942.67 abc
Negro Papaloapan/SEN 46-3-2	1233.33 bcd	2933.33 bcd	2083.33 ab
Negro Papaloapan/SEN 46-7-7	1222.00 bcd	2654.67 def	1938.33 abc
Negro Papaloapan/SEN 46-7-10	1117.67 d	2503.33 ef	1810.50 bc
Negro Papaloapan/SEN 46-7-12	1326.67 abcd	2662.00 def	1994.33 ab
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5	789.00 f	2531.00 ef	1660.00 bc
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	715.33 f	3227.67 ab	1971.50 ab
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	1131.00 cd	2528.33 ef	1829.67 bc
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	1388.67 abc	2827.00 cde	2107.83 ab
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1	1462.33 ab	3260.33 ab	2361.33 a
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	1497.67 a	3315.00 a	2406.33 a
Negro Medellín	1069.00 de	2364.33 fg	1716.67 bc
Negro Jamapa (Testigo regional)	849.00 ef	2021.00 g	1435.00 c
Verdín	1244.33 abcd	3093.67 abc	2169.00 ab
Promedio de ambiente	1158.05 b	2760.02 a	1959.03
DMS (0.05)	353.66	367.38	518.91

Medias con letras iguales en cada columna de promedios, son estadísticamente similares según la Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.05).

Según el análisis combinado, el rendimiento también varió significativamente entre ambientes, genotipos y en la interacción de ambos factores ($P \leq 0.01$). El mayor rendimiento promedio se obtuvo en Rincón Chico (Cuadro 4), debido en gran parte, a condiciones adecuadas de

humedad (precipitación pluvial total de 374.1 mm) y temperatura (promedio de 17.8°C) durante el ciclo del cultivo, ya que, aunque hubo incidencia de mancha angular (como se mencionó en párrafos anteriores), ésta no afectó significativamente el rendimiento de frijol, mientras que en Rincón Grande, aun cuando el frijol se sembró en un suelo rico en materia orgánica y con pH cercano a la neutralidad, óptimo para el desarrollo del cultivo (Edmeades *et al.*, 2012; Kyomuhendo *et al.*, 2020), la incidencia de mustia hilachosa redujo significativamente la producción de frijol.

En el factor genotipos, ocho líneas y la variedad Verdín se ubicaron en el grupo sobresaliente de rendimiento de grano promedio, de las cuales Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1 fueron las más productivas. Cabe destacar que la primera línea ha mostrado rendimientos de grano promedio significativamente sobresalientes en evaluaciones anteriores realizadas en diferentes ambientes con incidencia de enfermedades fungosas y virales en los estados de Veracruz y Chiapas (Tosquy *et al.*, 2019). Por su parte, la variedad Negro Jamapa fue la menos productiva, principalmente por presentar daños significativos de mustia hilachosa y mancha angular, cuyo rendimiento promedio fue estadísticamente similar al de la variedad Negro Medellín y al de las líneas Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5, Negro Papaloapan/SEN 46-7-10 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 (Cuadro 4).

El efecto altamente significativo de la interacción de ambos factores indicó que la respuesta productiva de algunos genotipos, varió con el ambiente de evaluación; tal es el caso de la línea Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, que en Rincón Grande obtuvo menor rendimiento de grano, debido principalmente al daño ocasionado por la mustia hilachosa, mientras que, en Rincón Chico en condiciones adecuadas de humedad y temperatura durante el ciclo del cultivo, fue de las más productivas. Así como de la línea Negro Papaloapan/SEN 46-7-12, que, en Rincón Grande, en presencia de mustia hilachosa, obtuvo un rendimiento de grano significativamente sobresaliente, estadísticamente similar al de la línea más productiva (Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4), en tanto que, en Rincón Chico, aun cuando sólo mostró síntomas leves de mancha angular (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987) fue de las menos productivas (Cuadro 4).

Conclusiones

Bajo las condiciones ambientales de la región de las Altas Montañas de Veracruz, México, las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y la variedad Verdín mostraron resistencia a la mustia hilachosa y la mancha angular, y fueron las de mayor rendimiento promedio, significativamente superior al testigo regional Negro Jamapa.

Literatura citada

- Araya, F. C. M. y J. C. Hernández. 2006. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. Ministerio de Agricultura. San José, Costa Rica. 44 p.
- Atilio, C. C. y C. H. Reyes C. 2008. Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad, El Salvador. 23 p.
- Becerra, L. E. N., F. J. Ibarra P., O. H. Tosquy V. y E. López S. 2021. Enfermedades que afectan el cultivo de frijol en Veracruz. Folleto Técnico No. 98. SADER. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México. 38 p.
- Costa-Coelho, G., C. Filho, A. Correa and M. Lobo. 2014. A comparison of web blight epidemics on common bean cultivars with different growth habits. Crop Prot. 55(1):16-20. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.006>
- Edmeades, D. C., D. M. Wheeler and J. E. Waller. 2012. Comparison of methods for determining lime requirements of New Zealand soils. New Zealand J. Agric. Res. 28(1):93-100. <https://doi.org/10.1080/00288233.1985.10427001>

- Gálvez, E. G., B. Mora and M. Pastor-Corrales. 1989. Web blight. p. 195-209. *In*: Schwartz, H. F. and M. A. Pastor-Corrales (eds.). Bean production problems in the tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Garza, G. R., D. Garza G. y A. Campos E. 2009. Enfermedades del frijol en el estado de Hidalgo. Guía para su identificación y control. Folleto Técnico No. 30. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Méx., México. 31 p.
- Kyomuhendo, P., M. M. Tenywa, O. Semalulu, A. R. Lenssen, R. Yost, R. Mazur *et al.* 2020. Lime requirements for bean production on two contrasting soils of Lake Victoria Crescent agro-ecological zone. *Afr. J. Agric. Res.* 15(4):531-537. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14455>
- López, S. E. y J. A. Acosta G. 2002. Negro Medellín, nueva variedad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para la región trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 28(2):175-177.
- López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., E. N. Becerra L., F. J. Ugalde A. y J. Cumpián G. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Méx.* 29(1):33-39. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.1.33>
- López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., J. Cumpián G., F. J. Ugalde A. y E. N. Becerra L. 2007. Negro Papaloapan, nuevo cultivar de frijol para las áreas tropicales de México. *Agric. Téc. Méx.* 33(3):257-267.
- López, S. E., O. H. Tosquy V. y F. J. Ibarra P. 2017. Frijol. p. 33-36. *In*: Zetina, L. R. y S. Uribe G. (comps.). Agenda Técnica Agrícola Veracruz. SAGARPA. INIFAP. COFUPRO. México, D. F.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales (programa de cómputo) versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.

- Pedroza, A., J. A. Samaniego y J. A. Chávez. 2010. Fitosanidad en tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones favorables y desfavorables de humedad edáfica. RChSA 9(1):53-59.
- Rodríguez, E., E. Lorenzo, M. Acosta, B. Mora y G. Godoy. 1999. Manejo de la mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) (Frank) en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Agron. Mesoam. 10(1):99-108.
- Rodríguez, R. J. R., O. H. Tosquy V. y E. López S. 2016. Rendimiento y reacción a la mustia hilachosa de genotipos de frijol en el norte de Veracruz. p. 19-23. In: XXVIII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2016 y V Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical "Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria". Villahermosa, Tab., México.
- Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga M., J. M. Hernández C., G. Esquivel E. y P. Pérez H. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico No. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Mex., México. 148 p.
- SAS Institute (Institute Statistical Analysis Systems). 1999. SAS/STAT user's guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Takegami, J. C. and J. S. Beaver. 2000. Inheritance of web blight resistance in common bean. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 43:43-44.
- Tosquy, V. O. H., B. Villar S., J. R. Rodríguez R., F. J. Ibarra P., R. Zetina L., P. A. Meza *et al.* 2019. Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. REMEXCA 10(6):1301-1312. <http://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1658>

- Tosquy, V. O. H., E. López S., B. Villar S., J. A. Acosta G. y J. R. Rodríguez R. 2016. Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. REMEXCA 7(7):1775-1780. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.170>
- Tosquy, V. O. H., E. López S., E. N. Becerra L., V. A. Esqueda E. y J. R. Rodríguez R. 2013. Reacción a mancha angular y productividad de genotipos de frijol con y sin aplicación de fungicida. REMEXCA 4(1):167-174. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i1.1269>
- Tosquy, V. O. H., E. López S., V. A. Esqueda E., J. A. Acosta G., F. J. Ugalde A. y B. Villar S. 2012. Rendimiento y reacción a enfermedades de genotipos de frijol en condiciones de temporal y humedad residual. REMEXCA 3(4):727-737. <http://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1426>
- Tosquy, V. O. H., F. J. Ibarra P. and V. A. Esqueda E. 2024. Seed yield and reaction to web blight and angular leaf spot of black bean genotypes in Veracruz, México. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 67:97-98.
- Tosquy, V. O. H., F. J. Ibarra P., J. R. Rodríguez R., V. A. Esqueda E. y P. A. Meza. 2023. Adaptation and disease resistance of elite tropical black bean lines. Legum. Res. 46(9):1126-1133. <https://doi.org/10.18805/LRF-728>
- Ugalde, A. F. J., E. López S., R. Lépez I., A. Viana R. y S. Leyva V. 2014. Producción artesanal de semilla de frijol con participación municipal en Veracruz, México. Agron. Mesoam. 25(1):35-44. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14211>
- Van Schoonhoven, A. y M. A. Pastor-Corrales (comps). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 56 p.

PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO DE GIRASOL EN MACETERÍA POR DOS CEPAS BACTERIANAS BENÉFICAS

Gabriela Sánchez Viveros^{110*}, Jesús Ricardo Sánchez Pale¹¹¹ y Araceli Hernández García¹¹⁰

Resumen

El girasol es una planta ornamental que ha tenido mayor crecimiento en superficie sembrada en años recientes, ya sea como flor de corte y en macetería. El sistema productivo del cultivo incluye un manejo basado en insumos de diverso origen, especialmente en fertilizantes de síntesis química. Una alternativa es la aplicación de microorganismos que promuevan el crecimiento vegetativo, mejoren la calidad y vida útil de la flor. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de dos cepas bacterianas, caracterizadas como promotoras del crecimiento, en girasol ornamental en macetería. Para lo anterior, 20 semillas de girasol de la variedad Ballad® fueron colocadas en inmersión por 24 horas, en medio de cultivo líquido que contenía por separado las cepas, *Pseudomonas tolasii* (P61) y *Bacillus amyloliquefaciens* (B2), más un testigo (agua). Las semillas inoculadas fueron sembradas en macetas (número 2) con una mezcla de sustrato compuesto de vermicomposta (50%), tepojal (25%) y arena (25%). Se evaluó el porcentaje de germinación (%), altura de planta (cm), número de hojas y días a la formación de botones florales. Los resultados indicaron que la cepa B2 no influyó en la germinación, sin embargo, presentó capacidad para promover mayor crecimiento en altura de planta ($\sim 25.52 \text{ cm} \pm 2.1 \text{ cm}$) comparado al testigo, además de más pares de hojas (~ 7.2); pero indujo una aparición del botón floral más tardía; mientras que la cepa P61 tuvo un comportamiento similar al testigo en cuanto a la altura de planta y el número de pares de hojas. Se concluye, que *Bacillus amyloliquefaciens* (B2) tiene mayor capacidad de promover el crecimiento de girasol cultivado en macetería que *Pseudomonas tolasii* (P61).

Palabras clave: *Helianthus annuus*, ornamental, microorganismos promotores de crecimiento

Introducción

El girasol ha sido tradicionalmente usado como planta oleaginosa, sin embargo, en la última década su popularidad como cultivo ornamental se ha incrementado significativamente (Vital-Vilchis *et al.*, 2020). La belleza ornamental de la flor de girasol, es debido a sus características

¹¹⁰ Facultad de Ciencias Agrícolas, Región Xalapa, Universidad Veracruzana.

¹¹¹ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. gabsanchez@uv.mx

morfológicas decorativas que la hacen ver muy elegante, presenta un capítulo floral que superficialmente aparenta ser una flor. Estos capítulos responden a los primeros rayos de luz del sol, siguiendo su movimiento de este a oeste (Esquivel y Aundueza, 2020). Actualmente, el girasol es cultivado como flor de corte o en macetería. Existen cultivares de porte bajo que facilitan su uso en arreglos florales; presentan tallos con un capítulo floral menor a los 20 mm de diámetro, aunque en macetería son deseables capítulos de 51 mm (Carrillo y Yumbla-Orbes, 2022).

La industria de la floricultura está buscando formas de adaptarse y prosperar en un entorno cambiante. Esto incluye la adopción de prácticas agrícolas más respetuosas con el ambiente, la promoción del comercio justo y el apoyo a las y los pequeños productores locales (SADER, 2024). Una de la tendencia de la floricultura a nivel mundial, donde México no es la excepción, es una producción florícola sostenible. Para lograrlo, una de áreas a desarrollar es lo relativo a la nutrición y manejo de plagas con el uso de productos más amigables con el ambiente, implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias y uso de energías renovables (González, 2022). En nutrición se buscan fertilizantes de baja huella de carbono para la producción de flores, con la finalidad de mejorar la calidad y frescura de las flores y que de alguna forma sean más atractivas para los consumidores conscientes del medio ambiente en todo el mundo (Anónimo, 2024). Se considera que las especies ornamentales o árboles en maceta puede eliminar aproximadamente 250 kg de CO₂ a la atmósfera (Portalambiental, 2021). Además, contribuye al cuidado de polinizadores como las abejas, mariposas y colibríes, que ayudan a que las plantas produzcan semillas o frutos de buena calidad.

Una alternativa hacer eficiente el uso de fertilizantes es el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), que entre sus mecanismos directos destacan: fijación de nitrógeno (N); síntesis de hormonas vegetales, vitaminas y enzimas, solubilización de fósforo (P) (Esquivel-Cote *et al.*, 2013). En girasol ornamental producido en macetería se dispone de limitada o nula información del efecto de PGPR en su crecimiento. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de dos cepas bacterianas nativas aisladas y caracterizadas como promotoras del crecimiento, en el cultivo de girasol ornamental en macetas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El ensayo se realizó en el invernadero del vivero forestal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Zona Xalapa, ubicado en El Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte, de la zona universitaria.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se usaron semillas de girasol ornamental de la variedad Balland®, cuya planta es libre de polen, de 60 a 75 cm de altura, flores de color amarillo oro y centro oscuro. Ancho de capítulo en campo: 15-20 mm, para exposición al sol. Tiempo de cultivo en cepellón: 2 a 3 semanas. Trasplante para terminar de 8 a 9 semanas. Produce flores bien formadas de 10 a 13 cm. Flores de corta altura en días cortos; y de baja altura en los largos días de verano (Plántulas de Tetela, 2024).

El cultivo se estableció en macetas de 0.5 kg, que contenían una mezcla de sustrato a base de lombricomposta, tepetzil y arena (2:1:1 v/v), previamente esterilizada con una solución sanitizante y desinfectante líquido a base cuaternario de amonio [1ra. generación] al 8.6% y cuaternario de amonio [doble cadena] al 3.7%) en dosis de 5 ml/L. Las macetas se mantuvieron en vivero durante 40 días a temperatura media de 26°C y humedad relativa de 60%.

Cepas evaluadas

Las cepas evaluadas fueron *Pseudomonas tolasii* (P61) y *Bacillus amyloliquefaciens* (B2) obtenidas del Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrícolas y el Instituto de Química Aplicada, ambas de la Universidad Veracruzana. Ambas cepas fueron encapsuladas de acuerdo con lo reportado por Hernández-Montiel *et al.* (2018), que consiste en tomar 100 mL de cada bacteria que se mezcló con 2.5 g de alginato de sodio y agitó por 25 min a 350 rpm en un agitador magnético (IKA® modelo C-MAG). Los encapsulados de alginato conteniendo las cepas, se elaboraron mediante formación de gota con una pipeta Pasteur de polietileno transparente de 5 ml de capacidad, con la cual se tomó la mezcla de alginato con cultivo bacteriano y se formaron gotas que se depositaron en una solución estéril de CaCl_2 al 0.1 M. Se agitaron por 30 min a 100 rpm en agitador magnético para favorecer la gelificación

de los encapsulados, se retiraron de la solución de CaCl_2 y se lavaron tres veces con solución salina estéril de NaCl al 0.85% (p/v). Los encapsulados de alginato se conservaron en solución estéril de CaCl_2 al 0.1 M a temperatura ambiente por 72 h hasta su uso.

Se realizaron dos métodos de inoculación, el primero fue por inmersión de las semillas de girasol por 24 horas en cada cepa bacteriana en medio líquido a una concentración de 10^9 células mL/L. Posteriormente, se sembró una semilla por maceta a una profundidad de 0.5 cm. El segundo método consistió en colocar encapsulados (50 mC) de alginato de sodio, equivalentes a 5 mL de cultivo líquido bacteriano, a los 20 días después de la emergencia.

Diseño experimental y tratamientos

Se implementó un diseño completamente al azar; con dos tratamientos, plantas inoculadas con P61, B2 y plantas sin inocular (testigo) con veinte repeticiones y como unidad experimental una planta por maceta.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fue el porcentaje de germinación por tratamiento, registrado a los 3, 6, 9, 12, y 15 días después de la siembra (DDS); la altura de planta se midió cada tercer día hasta los 50 DDS, con un flexómetro graduado en cm y el diámetro de tallo se midió con vernier. Al final del cultivo se midió el volumen radicular por desplazamiento del agua en una probeta graduada.

Análisis estadístico

Para el análisis de varianza se utilizó el programa estadístico R Commander® versión R x64 4.0.5; se realizó la comparación de medias con la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$). Se verificaron los supuestos de normalidad por el estadístico de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett para confirmar el uso de estadística paramétrica.

Resultados y discusión

Se encontró que las dos cepas PGPR evaluadas no tuvieron un efecto negativo en la germinación del girasol variedad Balland. En altura de planta se evidenció que la cepa B2 influyó en un mayor tamaño respecto al testigo (Figura 1) así como en un mayor número de pares de hoja (Figura 2), concordando con Iqbal *et al.* (2018), quienes enfatizan que los tratamientos post-germinativos en girasol resultaron efectivos con *Bacillus thuringiensis* pero *Lysinobacillus fusiformis* funcionó bien en los tratamientos pre y postgerminativos al promover y mejorar el crecimiento de las planta. De igual forma, Muhammad *et al.* (2016), reportan que las PGPR fijadoras de nitrógeno mejoran el crecimiento y producción en girasol oleaginoso, además de promover la fertilidad de un suelo aridisol con C y N. En un el estudio realizado se aislaron una serie de PGPR de la zona de raíces del girasol, pero solo cuatro de ellas lograron estimular el crecimiento de plantas de girasol en condiciones gnotobióticas. Sin embargo, la cepa P61 influyó en una menor altura de la planta o bien tuvo un efecto negativo, aunque expresó una mayor cantidad de pares de hojas (Figura 2), en este sentido Vital-Vilchis *et al.* (2020), encontraron un efecto diferencial en altura de planta y grosor de tallo en girasol por efecto de hongos micorrizicos arbusculares, pero enfatizan que existe una respuesta diferencial debida al genotipo intrínseco de cada variedad, así como del tipo de cepa, pero en girasol ornamental se determinó un efecto negativo de los hongos micorrizicos en el crecimiento vegetal de las plantas evaluadas.

El uso de PGPR en el área ornamental ha sido limitadamente estudiada, pero en el área hortícola es donde menos se han evaluado, en este sentido, en chile habanero se encontró un efecto directo en altura de planta, desde el transplante (Castillo-Aguilar *et al.*, 2021). Las evaluaciones realizadas en diferentes ornamentales de importancia económica para México, en los nuevos estudios que se realicen es necesario considerar lo mencionado por Ruzzi y Aroza (2015) quienes menciona que para mejorar el efecto de las PGPR, el procedimiento de inoculación y la selección de las bacterias adecuadas son cruciales para un mejor resultado en términos de rendimiento final.

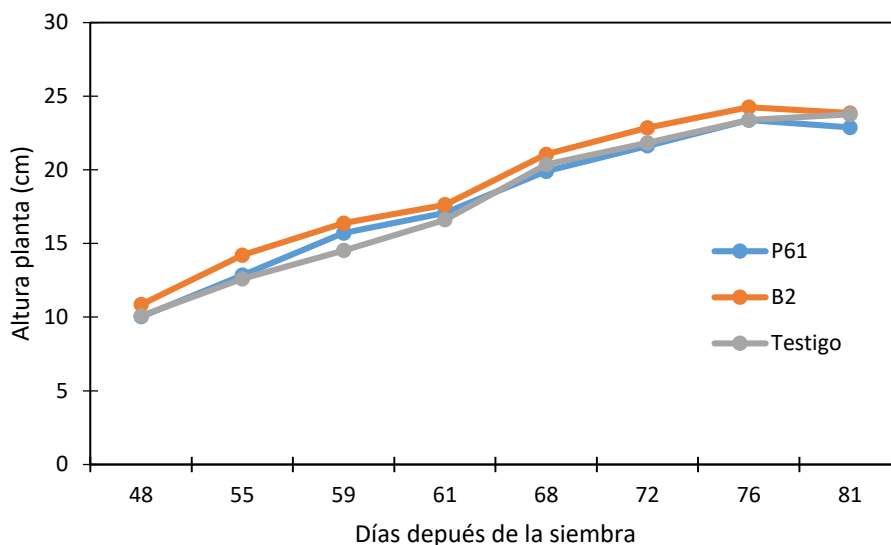


Figura 1. Altura de planta de girasol ornamental var. Balland® producido en macetería, inoculada con *Pseudomonas tolasii* (P61) y *Bacillus amyloliquefaciens* (B2), cepas caracterizadas como promotoras de crecimiento.

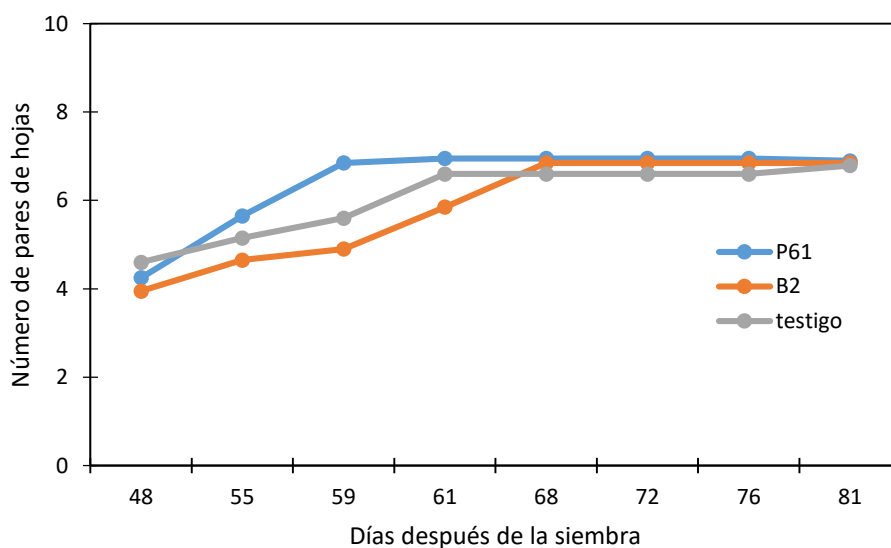


Figura 2. Número de pares de hojas de girasol ornamental var. Balland® producido en macetería, inoculada con *Pseudomonas tolasii* (P61) y *Bacillus amyloliquefaciens* (B2), cepas caracterizadas como promotoras de crecimiento.

Conclusiones

La cepa bacteriana *Bacillus amiloliquefaciens* (B2) promovió mayor crecimiento de girasol variedad Balland cultivado en macetería que *Pseudomonas tolasii* (P61).

Literatura citada

Anónimo. 2024. Floricultura más sostenible. Revista factor de éxito 12(3):10. Disponible en: <https://mexico.revistafactordeexito.com/a/39382/floricultura-mas-sostenible>

Carrillo C, J. F. y M. Yumbra-Orbes. 2022. Caracterización morfológica y análisis de crecimiento de tres cultivares de *Helianthus annuus* L. para flor de corte. Siembra 9 (1): e3323. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3323>

Castillo-Aguilar, C. de la C., A. Córdova-Gaspar, G. Carrillo-Castañeda, C. F. Ortiz-García, D. Coh-Méndez y R. A. Chiquiní-Medina. 2021. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the growth of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). AgroProductividad 7(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i11.1690>

Esquivel, M. G. T. y R. H. Andueza-Noh. 2020. Una mirada al sol: *Helianthus annuus* y su belleza ornamental. Desde el Herbario CICY 12: 128–132. Disponible en: https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2020/2020-06-18-Esquivel-Andueza-Una-mirada-al-sol.pdf.

Esquivel-Cote, R., M. Gavilanes-Ruiz, R. Cruz-Ortega. y P. Huante. 2013. Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. Revista Fitotecnia Mexicana, 36(3): 251-258.

- González, V. X. 2022. La revolución de producir las rosas más sostenibles. Agrícola el Redil. Red agrícola. Disponible en: <https://redagricola.com/la-revolucion-de-producir-las-rosas-mas-sostenibles/>
- Hernández Montiel, L. G., R. G. Chiquito Contreras, D. G. Castillo Rocha, C. J. Chiquito Contreras, L. Vidal Hernández y F. A. Beltrán Morales. 2018. Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (20). <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.992>
- Iqbal, M., S. Wagi y A. Ahmed. 2018. Phyllospheric bacterial treatments improve growth in *Helianthus annuus* L. RADS J. Biol. Res. Appl. Sci. 9(1): 35-40. <https://doi.org/10.37962/jbas.v9i1.133>
- Muhammad S. A., R. Muhammad, M. S. Sher, Y. Tahira, J. A. Muhammad, A. R. Muhammad, V. E. J. Jassey, L. Bragazza y A. Buttler. 2016. Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria (*Pseudomonas aeruginosa* QS40) with nitrogen fertilizers improves sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity and fertility of aridisol. Applied Soil Ecology 108: 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.016>.
- Plántulas de Tetela. 2024. Girasol Balland. Disponible en: https://web2.plantulasdetetela.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=1140. [consultado el 27 de Junio de 2024].
- Portalambiental. 2022. Planta o flor en maceta, un obsequio sostenible. Disponible en: <https://www.portalambiental.com.mx/sabias-que/20210216/planta-o-flor-en-maceta-un-obsequio-sostenible>. [consultado el 27 de junio de 2024]
- Ruzzi, M. y R. Aroca. 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196:124-134. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042>.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural). 2024. Qué hay detrás de la floricultura: Más allá de la belleza floral. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-hay-detras-de-la-floricultura-mas-alla-de-la-belleza-floral> [consultado el 27 de junio de 2024].

Vital-Vilchis, I., E. E. Quiñones-Aguilar, L. V. Hernández-Cuevas y G. Rincón-Enríquez. 2020. Crecimiento de girasol ornamental en maceta a nivel de campo por efecto de hongos micorrízicos arbusculares. *Terra Latinoamericana* 38(3): 679-692. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.715>.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE ACCESIONES DE *Acanthocereus tetragonus*, DE LA REGIÓN CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Jeremías Nataren Velázquez^{112*}, Rosa Isela Rosalino Antonio¹¹³, Juan Valente Megchún García¹¹²
y Ángel Capetillo Burela¹¹²

Resumen

La cruceta es una especie forestal no maderable, donde sus tallos son recolectados en zonas agroforestales, y se venden en mercados ambulantes y locales urbanos. Existen pocos estudios sobre su caracterización morfológica y el estudio de su biodiversidad en diferentes ambientes y nichos ecológicos de Veracruz. El objetivo de esta investigación fue coleccionar y caracterizar morfológicamente diferentes accesiones de cruceta (*Acanthocereus tetragonus*) del estado de Veracruz. Se realizó un transecto en la zona centro del estado de Veracruz, para coleccionar esquejes de crucetas, coleccionando cinco esquejes de cada accesión, posteriormente se plantaron en un sitio experimental en las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz (INIFAP). Cada accesión se caracterizó morfológicamente de acuerdo con sus características fenotípicas propias y las variables medidas en cada colecta. Se midió altura inicial de la cruceta, diámetro de arista, número de brotes, longitud de los brotes, número frutos, número de flores, número de espinas por areola, longitud de las espinas. Con el primer muestreo se realizó un análisis de varianza. Los resultados muestran que, en la cruceta, la colecta 4 (carretera Veracruz-Xalapa), presentó un diámetro de arista de 6 cm siendo superior a las demás colectas; en la brotación la colecta de El Hatillo fue mejor a las demás accesiones. La mayor longitud de espina por aréola fue representada en la colecta 8 proveniente de Rincón de Pérez, municipio de Medellín; esta colecta fue similar estadísticamente con la colecta uno del municipio de Paso de Ovejas. La seis de Estanzuela y siete denominada "morada" de Rincón de Pérez. se midieron características morfológicas entre accesiones, aunque algunas colectas empiezan a ensayar producción de frutos, esto puede ser provocado por el estrés y las características agroecológicas de la zona de plantación.

Palabras clave: cactáceas, banco de germoplasma, especies no maderables, colectas

¹¹² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 94270, México. *nataren.jeremias@inifap.gob.mx

¹¹³ Instituto Tecnológico de Boca del Río. Carretera Veracruz-Córdoba 12, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Introducción

Algunas de las especies que toleran la sequía y poseen cualidades nutrimentales que benefician al ser humano es la cruceta (*Acanthocereus tetragonus*), por lo que juega un papel importante en la alimentación humana y animal tanto de sus frutos, como de sus cladodios (Juárez *et al.*, 2012). La familia de las cactáceas está ampliamente distribuida desde Canadá hasta la Patagonia, y desde el nivel del mar hasta los 5100 msnm, representan un grupo de plantas de forma globosa, cilíndricas y prismáticas, que reducen la transpiración en comparación con su volumen, en México existen registrados 913 taxones de los cuales el 80% son endémicas (U.E.B., 2017). En Venezuela existen 40 especies de cactáceas distribuidos en ambientes áridos y semiáridos, con peculiaridad de establecerse en ambientes subhúmedos y secos, algunos denominados bosques secos (Nassar *et al.*, 2013). Se han encontrado en el estado de Sucre, Venezuela, en vegetaciones xerofíticas ejemplares de cactáceas entre las que destacan *Acanthocereus tetragonus* (L), además que esta especie registrado en el libro rojo de la flora venezolana como especies de menor riesgo (Cumana *et al.*, 2010).

Poco estudiados son las cactáceas arborescentes del desierto de sonora, pero se tienen resultados del comportamiento germinativo entre frutos, plantas y poblaciones *Stenocereus thurberi* (Pérez *et al.*, 2015). En el género *Acanthocereus* se encontró en un análisis proximal que contiene un alto contenido de calcio, superior que las especies de *H. undatus* A. *subinermis* (Juárez *et al.*, 2012). Una de las ventajas de establecer especies de cruceta, es por su capacidad de tolerar la falta de agua en el suelo y las altas temperaturas ambientales en periodos largos, la cruceta podría ser una opción frente a los cambios bruscos del clima en México, además que están siendo investigadas por sus cualidades, y por su capacidad de soportar el estrés fisiológico en los cultivos (Leirana y Cervera, 2015).

Los tallos de las crucetas son consumidos en el medio rural y se comercializan en tianguis y mercados urbanos, los tallos de las crucetas provienen de la recolección, esto para combatir la inseguridad alimentaria que afecta los grandes sectores de la población. El 65% de la población rural y urbana las familias carecen de acceso a los alimentos nutritivos y frescos, padeciendo hambre y malnutrición. La problemática radica en la poca utilización de especies nativas caracterizadas, que puedan ser utilizadas por los productores para su propagación y

producción a nivel de parcela, y que tengan características tolerantes a las condiciones climáticas y adaptadas a la zona centro de Veracruz. Además, se carece de un cultivar con características agronómicas para su consumo a nivel comercial, ya que estas especies no maderables de cruceta presentan un alto potencial, para mejorar la alimentación. Por otra parte, presentan características deseables, son muy eficientes en el uso del agua, tolerantes al estrés hídricos y a las altas temperaturas causadas por el cambio climático. Se puede contar con un germoplasma de especies no maderables para uso local, por lo tanto, estudiar la morfología de las crucetas, permite generar información de las distintas colectadas para la toma de decisiones, ya que la apreciación y la formación de grupos taxonómicos y su posición, varía de acuerdo al criterio de cada taxónomo, estas divergencias dependen de los parámetros morfológicos de cada especie (Flores, 1976). Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue recolectar y caracterizar morfológicamente diferentes accesiones de cruceta del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se realizaron recorridos en campo en la zona centro del estado de Veracruz, para observar y recolectar plantas de cruceta con diferentes características morfológicas, de las cuales se mencionan el origen de cada una de las accesiones. Esto se realizó a través de un transecto en la zona centro de Veracruz. En la Figura 1, se ubican nueve puntos de muestreo de cruceta con una diversidad de características morfológicas.

Se georreferenciaron todos los puntos de muestreos, y posteriormente el material vegetativo fue trasladado al Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz (INIFAP), para establecerlo a campo abierto. Se recolectaron cinco plantas de cada accesión y se realizó una caracterización morfológica de las características botánicas más sobresalientes de la planta de cruceta. Las variables que se midieron fueron, altura inicial de la cruceta, diámetro de arista, número de brotes, longitud de los brotes, número frutos, número de flores, número de espinas por areola, longitud de las espinas.



Figura 1. Puntos de muestreos de las colectas de cruceta en la zona centro de Veracruz.

La parcela experimental consistió en cinco accesiones tomando tres plantas como unidad experimental. Para la georreferenciación se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica QGIS, y para el análisis de varianza se realizó a través de gráficas de intervalos con el programa Minitab versión 17.

Resultados y discusión

En la Figura 2, el resultado presentado sobre la altura de las crucetas se observa que las diferentes accesiones de crucetas no presentaron diferencias estadísticas en la altura inicial; pero en el diámetro de arista se observó que existen diferencias estadísticas entre colectas. La colecta número cuatro de la Carretera Veracruz-Xalapa, presentó el mayor grosor con respecto a todas las colectas, pero estadísticamente igual a la colecta número cinco, seis, siete y nueve, correspondiente a los puntos de muestreo del Castillo, Rincón de Pérez, Estanzuela y La Capilla, respectivamente.

Las primeras descripciones de *Acanthocereus tetragonus* y de otras cactáceas fueron realizadas en el siglo XX, en los países de México, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica, por Mociño y de la Cerda realizando colectas por todas estas regiones (Arias y Véliz, 2006).

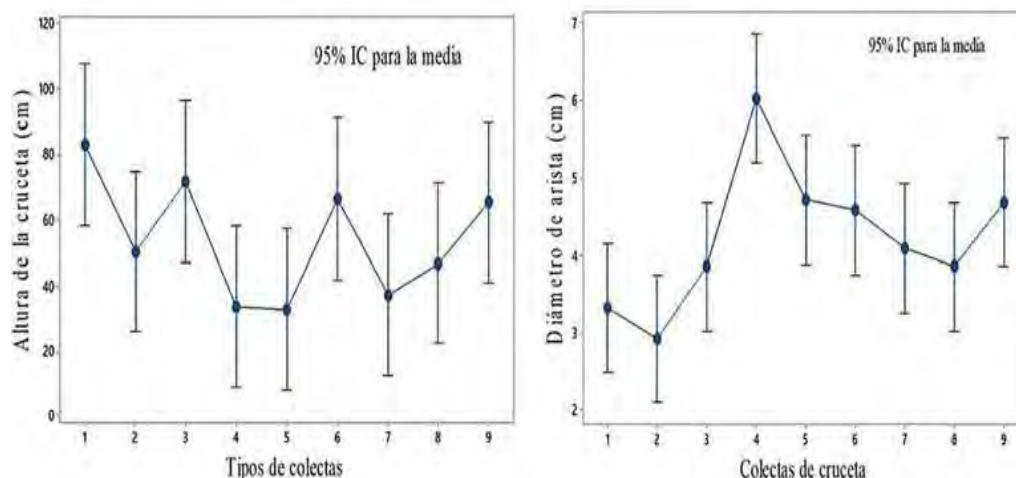


Figura 2. Altura de cruzeta y diámetro de arista de las diferentes colectas.

Dentro de las características botánicas *Acanthocereus tetragonus* pueden llegar a medir hasta siete metros de largo, y el promedio en altura es de dos a tres metros, formando matorrales con múltiples tallos con tres a cinco costillas longitudinales (Iris, 2019). *Stenocereus thurberi* es otra especie de cactácea que tiene tallos columnares de tres a ocho metros de altura, su crecimiento es con ramificaciones desde la base del tronco (Salomón *et al.*, 2016). De la Figura 3, en la variable número de brotes se observó que la mayor respuesta fue en la colecta número tres de El Hatillo, siendo superior a todas las accesiones, pero similar estadísticamente a la colecta número seis de Estanzuela.

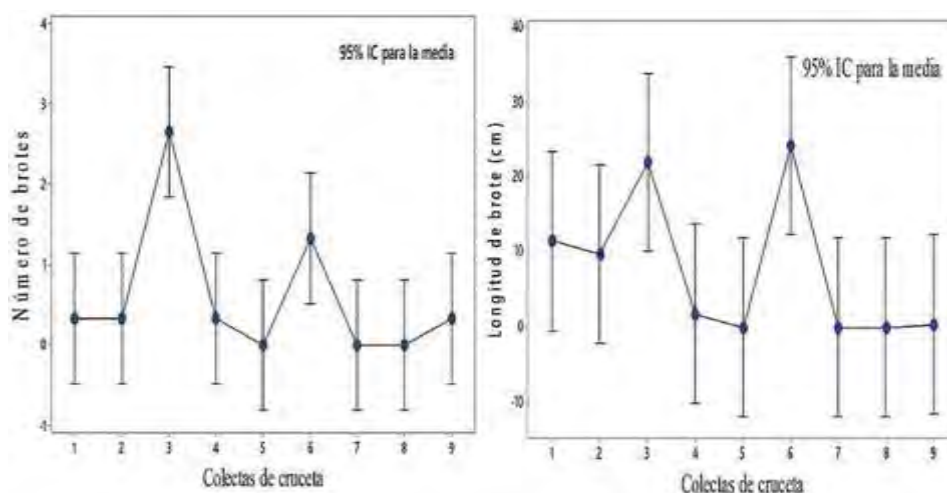


Figura 3. Número y longitud de los brotes de las diferentes colectas.

Al analizar la variable longitud de brote, no se presentaron diferencias estadísticas significativas, pero se observó nula brotación en las colectas cinco, siete, ocho y nueve correspondiente a los puntos de muestreo del Castillo, la morada de Rincón de Pérez, y la espinuda de Rincón de Pérez y la colecta de La Capilla, Cotaxtla. En tallos juveniles de *A. tetragonus* se describe anatómicamente el contorno del tallo, en la sección transversal la pared externa se describe en forma convexa, con una ondulación y grosor de la pared anticlinales de las células epidérmicas típicas, como rectas a levemente onduladas y gruesas, con una densidad estomática de 29.4 estomas/mm² (Jáuregui *et al.*, 2017).

En la Figura 4, se presentan los resultados de la variable número de flores de la cruceta, se observó que no existen diferencias significativas entre las accesiones, pero se encontraron accesiones emitiendo botones florales, esto concuerda con el comportamiento de la producción de frutos por planta, se observó la nula diferencia estadística significativa al comparar las diferentes selecciones de cruceta, pero en las accesiones uno de Paso de Ovejas, la dos proveniente de Tolome, ocho de Rincón de Pérez y la nueve de La Capilla; están iniciando la producción de frutos, considerando que el tiempo de plantación es muy temprana con respecto a la fecha de colecta, esto podría ser en respuesta a las condiciones agroecológicas del lugar. Resultados proximales en crucetas, demostraron que la especie de *Acanthocereus* presentó diferencias estadísticas en los contenidos de humedad, y por lo consiguiente en la proteína, fibra y grasa, mismas que están relacionadas a las diferencias genotípicas y ambientales (Juárez *et al.*, 2012). Otro factor importante en el desarrollo de flores y frutos de las cactáceas es la fertilidad de los suelos, zonas donde la materia orgánica y el bajo contenido de nitrógeno en la rizósfera de las cactáceas, provee exudados que incrementan el metabolismo de las poblaciones microbionas, esto es como respuesta de la actividad enzimática (Luna *et al.*, 2012). Lo anterior concuerda con la estacionalidad de otras cactáceas en estudio, siendo el periodo de lluvias la época de producción frutos, por otra parte, uno de los principales problemas en esta etapa es la visita de aves, quienes se encargan de consumir el fruto; en Venezuela, las especies de cactáceas *Stenocereus griseus* y *Cereus repandus* los frutos son dañados por 13 especies de aves, entre el más importante está el colibrí (*Leucippus fallax*) y el *Saltator coerulescens* (Marín *et al.*, 2016).

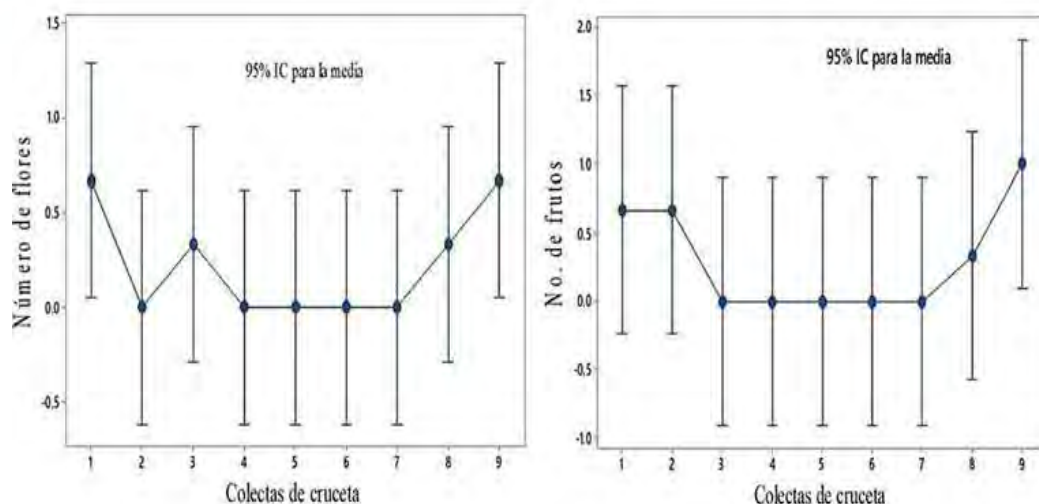


Figura 4. Número de flores y frutos de cruceta en las diferentes colectas.

Una característica distintiva entre las diferentes accesiones de cruceta, es la presencia de espinas por areola (Figura 5), se observó que en las selecciones número uno de Paso de Ovejas, la número dos de Tolome y la número tres de El Hatillo, son similares con respecto al resto de las crucetas colectadas, aunque no presentaron diferencias estadísticas significativas. En la prueba de comparación de medias, para la variable longitud de espinas se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las diferentes accesiones, la mayor longitud de espina por areola fue encontrado en la colecta número ocho de Rincón de Pérez, aunque similar estadística fueron registradas con la colecta número uno de Paso de ovejas, seis de Estanzuela y la siete la morada de Rincón de Pérez, entre las que destacan con menor longitud de espinas fueron las accesiones tres de El Hatillo, la cuatro de la Carretera Veracruz-Xalapa, la cinco del Castillo y la nueve de La Capilla. Entre las cactáceas la especie *Peniocereus canoensis*, en Honduras, se describe la presencia de espinas radicales, erectas, bulbosas en la base, de longitud y diámetro desigual en cada areola, radiando en varias direcciones de 5 a 15 mm de longitud, con agrupaciones de 10 a 13 espinas por areola (House *et al.*, 2013). Actualmente, la percepción de las mujeres sobre las cactáceas considera que son plantas de monte, principalmente en Puebla. En México las mujeres opinan que el 63.3% de las cactáceas no son de ornato, y el 4.9% de las entrevistadas, considera que no son de ornato porque tienen espinas, y el 42.6% considera a las cactáceas como plantas de monte; con respecto al 37.7% de la población entrevistadas en la comercialización de las cactáceas, mencionan su interés

en reproducir y vender para negocio (Castillo *et al.*, 2010). Las recolecciones de cactáceas, pueden ser la opción para preservación el material genético, debido a que están expuesto a las alteraciones de origen antrópico, es decir, al impacto severo y significativo y la reducción de las poblaciones silvestres y endémicas de la cruceta de la región (Carbono *et al.*, 2013). Aunque en áreas donde son perturbados por la actividad antrópica, la especie de *Acanthocereus* tiende a crecer (Carbono *et al.*, 2010). En la reserva de la Biosfera de Yucatán, México, especies de cactáceas como *Acanthocereus*, crecen en suelos de arena calcárea con partículas de arcilla, en clima semiárido; pero son perturbados por las actividades de construcción de casas unifamiliares, carreteras, turismo y actividades intensivas de extracción de sal, afectando la vegetación ecológica (Morales *et al.*, 2018).

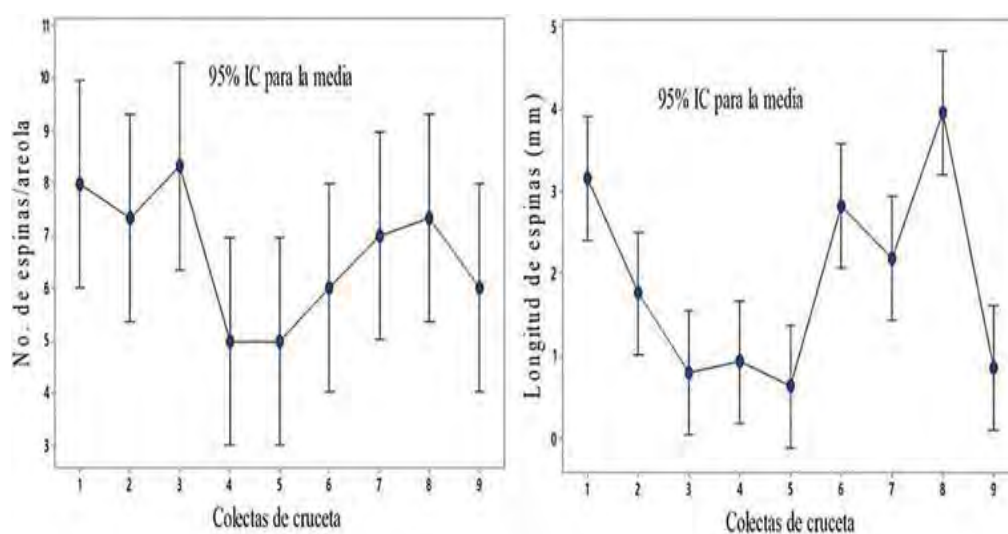


Figura 5. Número y longitud de espinas de cruceta en las diferentes colectas.

Conclusiones

Se recolectaron nueve accesiones de *Acanthocereus tetragonus* en diferentes gradientes altitudinales, en la zona centro del estado de Veracruz. Hubo diferencias en las siguientes características morfológicas: diámetro de arista y número de brotes en dos sitios específicos de la ruta de muestreo, la carretera a Xalapa y en la localidad de El Hatillo respectivamente.

Literatura citada

- Arias S. y Véliz M. 2006, Diversidad y distribución de las cactáceas en Guatemala. Biodiversidad de Guatemala. 1: 229-238.
- Carbono D. E., Barros B. A., Jiménez V. J. 2013, Cactaceae de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Revista acad. Colomb. Cienc. 37(143):177-187.
- Carbono D. E., García Q. H. 2010, La vegetación terrestre en la ensenada de neguanje, parque nacional natural Tayrona (Magdalena, Colombia). Botánica-Florística. Caldasia. 32(2): 235-256.
- Castillo C. A. D., López E. A., Ocampo F. I. 2010, Conocimiento y uso de cactáceas por familias campesinas en Coxcatlán, Puebla. Ra Ximhai 6(3): 347-353.
- Cumana L., Leopardi C. y Guevara I. 2010, Inventario y clave para especies rastreras y trepadoras en arbustales xerófilos del estado Sucre, Venezuela, depositadas en el herbario IRBR. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 22 (1): 15-24.
- Flores E. M. 1976, Apuntes sobre anatomía y morfología de las semillas de cactáceas. II. Caracteres de valor taxonómico. Revista Biológica Tropical. 24(2): 299-321.
- House P. R., Gómez H. C. y Hernández H. M. 2013, Una especie nueva de *Penioce-reus* (Cactaceae) de Honduras. Revista Mexicana de Biodiversidad: 1077-1081.
- Iris A. B. F. 2019, Las cactáceas de la península de Yucatán: Descripción y usos. Tesis de licenciatura, Universidad de Quintana Roo. 56 p.

- Jáuregui D. García M., Medina E. 2017, Caracterización anatómica de porciones juveniles de tallos de cactáceas presentes en los estados Lara y Falcón (Venezuela). Pittieria 41. 24-39.
- Juárez Cruz, Aída, Livera Muñoz, Manuel, Sosa Montes, Elíseo, Goytia Jiménez, Ma. Antonieta, González Hernández, Víctor A., & Bárcena Gama, Ricardo 2012, Composición química de tallos inmaduros de *Acanthocereus spp. e Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose. Revista fitotecnia mexicana, 35(2): 171- 175. Recuperado en 05 de agosto de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802012000200009&lng=es&tlng=e.
- Leirana A. J. L. y Cervera J. C. 2015, Propuesta de especies de plantas suculentas nativas (cactáceas y agaváceas) con potencial económico frente al escenario futuro de sequías en Yucatán. Bioagrociencias. 8 (1): 23-31.
- Luna Olvera, Adriana, Espino Armendáriz, Monserrat, Luna Martínez, Laura, & Pacheco Aguilar, Juan Ramiro 2012, Caracterización de suelos en una localidad tipo que alberga cactáceas prioritarias para su conservación. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(spe4), 672-678.
- Marín E. G., Durán M. M. 2016, Ornitofrugivoría en *Stenocereus griseus* (Haw) Buxb y *Cereus repandus* Mill. (Cactaceae) durante el periodo de lluvias en un hábitat xerofítico litoral del nororiente de Venezuela. The Biologist (Lima): 14(2): 401-414.
- Morales M. E. R., García A. D. J., Ojeda B. D. L., Hernández R. A. 2018, Estructura de la comunidad *evanidae* (Himenoptera: *Evanoidea*) en la reserva de ría lagartos, Yucatán, México. Investigación Agropecuaria. 15(1): 1-13.

- Nassar J. M., Velásquez G., Romero B. J. C., Medina E. 2013, Las cactáceas como elementos de caracterización de ambientes áridos y semiáridos en Venezuela. p. 97-123. *In* Medina E., Huber O., Nassar J. M., Navarro P (eds). Recorriendo el paisaje vegetal de Venezuela. Ediciones IVIC. Instituto Venezolano de Investigación Científica, Caracas, Venezuela.
- Pérez González, Santos Bersaín, Reyes Olivas, Álvaro, García Moya, Edmundo, Romero Manzanares, Angélica, García Nava, José Rodolfo, Lugo García, Gabriel A., *et al.* 2015, Almacenamiento de semillas y germinación de *Stenocereus thurberi*, una cactácea con viviparidad facultativa. Botanical Sciences, 93(2): 273-282. <https://doi.org/10.17129/botsci.227>.
- Salomón M. B., Reyes O. A., Sánchez S. B. H. 2016. Fenología reproductiva de *Stenocereus* (Cactaceae) en una región de transición del norte de Sinaloa, México. Gayana Bot. 73(2): 381-390.
- U.E.B. (Unidad Exhibición Biológica) 2017. Importancia de las cactáceas. Hoja técnica de divulgación científica. Hoja técnica núm. 13. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 7 p.

PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN UN SISTEMA DE BIORREACTORES

José Alonso Barojas Vásquez¹¹⁴, Fernando Malagón González^{114*},
Gabriel Antonio Navarrete Hernández¹¹⁴ y Albino Martínez Sibaja¹¹⁵

Resumen

La automatización del sistema de inyección de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno en biorreactores, tiene como fin optimizar el proceso fotosintético y, por ende, el crecimiento de las plantas en invernaderos. Utiliza un PLC FX3U Mitsubishi y una interfaz HMI para visualizar la medición e inyección de estos gases, superando las limitaciones de microcontroladores convencionales como el ESP32 y el Arduino MEGA. La implementación del sistema automatizado incluye electroválvulas y sensores, lo que garantiza lecturas precisas y una visualización clara a través de una interfaz gráfica. Este sistema facilita el monitoreo y permite ajustes en tiempo real, mejorando así la eficiencia y productividad del cultivo. Además de la automatización de la inyección de gases, el control de variables cruciales como radiación, temperatura, humedad relativa y concentración de CO_2 en invernaderos juegan un importante papel para su crecimiento óptimo. Para ello, se combinan modelos de crecimiento del cultivo con modelos climáticos del invernadero, permitiendo simular condiciones óptimas y realizar ajustes necesarios en el microclima. Estos sistemas utilizan pronósticos meteorológicos para ejecutar bucles principales y secundarios que simulan y corrigen el clima interior basado en datos reales. En paralelo, otros desarrollos tecnológicos en la automatización agrícola también han mostrado avances significativos. Por ejemplo, la implementación de sistemas automatizados para monitorear y controlar variables como humedad, luminosidad, temperatura, CO_2 y pH en invernaderos hidropónicos ha demostrado mejoras en la eficiencia del uso de agua y agro insumos. Así mismo, en la producción de biodiesel a partir de algas y micro algas marinas, la automatización de plantas utilizando sensores y tecnología avanzada asegura la calidad del biodiesel producido. Estos desarrollos destacan; cómo la integración de tecnologías avanzadas de control y comunicación puede mejorar significativamente la eficiencia en diversos sectores agrícolas e industriales. La automatización y el control preciso de variables ambientales no solo optimizan el crecimiento y la calidad de los cultivos, sino que también contribuyen a una producción más sostenible y eficiente.

Palabras clave: automatización, inyección de CO_2 , biorreactores, sensores

¹¹⁴ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.

¹¹⁵ Tecnológico Nacional de México campus Orizaba. *Autor de correspondencia: Fernando.malagon@utcv.edu.mx

Introducción

La optimización de procesos en la producción agrícola es un desafío constante en la búsqueda de una mayor eficiencia y productividad. En este contexto, la automatización del sistema de inyección de dióxido de carbono (CO_2) en biorreactores, así como en la integración de un sistema para la inyección precisa de oxígeno.

Un ejemplo destacado es el sistema desarrollado por la empresa Hilsea Investments LTD, que ajusta automáticamente la concentración de CO_2 en función de las necesidades detectadas. Este sistema utiliza medidores de gases y controladores electrónicos para mantener los niveles deseados, resultando en un crecimiento mejorado de los cultivos al asegurar condiciones óptimas de CO_2 (Toledo, 2001). Investigaciones recientes han confirmado que mantener niveles elevados de CO_2 en los invernaderos puede acelerar el crecimiento y mejorar la calidad de los cultivos, como la lechuga (Hurtado, 2023).

En el cultivo de tomate, se ha integrado con éxito un sistema que combina modelos de crecimiento con modelos climáticos del invernadero. Este sistema emplea bucles principales y secundarios para ajustar las condiciones en función de datos reales y pronósticos meteorológicos. La capacidad de realizar ajustes manuales, como podas, durante la campaña de cultivo ha demostrado ser efectiva para mantener un ambiente controlado y propicio para el desarrollo del tomate (García, 2021).

El monitoreo continuo del pH del suelo y el control automático del CO_2 también son cruciales para mantener un microclima favorable. Un sistema exitoso en este aspecto utiliza sensores para ajustar en tiempo real los niveles de CO_2 y pH, logrando valores ideales adaptados a las condiciones climáticas cambiantes (Palomo y Velasco, 2022). En la producción de biomasa de micro algas en reactores de canalización, los algoritmos genéticos implementados en Matlab han sido fundamentales para calibrar modelos de cultivo. Estos algoritmos permiten evaluar parámetros como biomasa y nutrientes, optimizando el proceso de producción de micro algas (Guzmán *et al*, 2020).

La automatización de invernaderos hidropónicos utilizando placas Arduino también ha demostrado mejoras significativas en la eficiencia del uso de agua y agro-insumos. Un proyecto exitoso en este ámbito ha mostrado que Arduino puede controlar variables como humedad, luminosidad, temperatura, CO_2 y pH de manera efectiva, optimizando el crecimiento de los

cultivos y siendo respetuoso con el medio ambiente. Aunque la saturación de memoria puede ser un problema con Arduino, en este caso se superó utilizando un sistema alternativo. En la producción de biodiesel a partir de algas y micro algas marinas, la combinación de sensores y tecnologías avanzadas como Arduino y LabView han sido eficaz para controlar las operaciones clave y garantizar la calidad del biodiesel producido. Este enfoque ha demostrado ser exitoso en mantener altos estándares de calidad en el producto final (Naranjo, 2017). Asimismo, el uso de normas de comunicación en serie como RS-232, RS-422 y RS-485 es crucial para la fiabilidad y eficiencia de las redes de comunicación en entornos industriales. La implementación de estas normas ha mejorado significativamente la comunicación y el control en diversos sistemas industriales (Forero, 2012), proyectos como la planta didáctica para instrumentación y control, junto con el desarrollo de sistemas de adquisición y monitoreo de datos basados en el protocolo MODBUS RTU, han demostrado cómo la integración de tecnologías de control y comunicación puede optimizar el control ambiental en aplicaciones como invernaderos y laboratorios. Estos sistemas han mostrado ser efectivos para el monitoreo y la gestión de condiciones ambientales en tiempo real (Herath *et al*, 2020).

Materiales y métodos

Área de estudio

El sistema de inyección de CO₂ se instaló en el Colegio de Postgraduados Córdoba, ubicado en la Carretera Federal Córdoba-Veracruz Kilómetro 348.5, 94500 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, en colaboración con la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, localizada en Avenida Universidad 350, 94910 Cuitláhuac, Veracruz. El sistema se implementó en una incubadora de plantas para facilitar su crecimiento y realizar pruebas de funcionamiento.

Materiales y equipo de trabajo

PLC FX3U-56MR

El PLC modelo FX3U-56MR de Mitsubishi es ideal para gestionar las condiciones de activación de las electroválvulas que controlan el flujo de aire, CO₂, y el desfogue en los biorreactores. Este controlador lógico programable es una solución robusta y versátil para diversas aplicaciones de automatización industrial. El panel de control asociado a este PLC ofrece un rendimiento estable y confiable, con funciones avanzadas como la descarga y el monitoreo en línea, así como el ahorro automático de energía. Además, permite la conexión de pantallas de texto y pantallas táctiles, lo que optimiza la interacción del usuario y garantiza la estabilidad operativa del sistema. Una característica destacada de este tablero de control es su circuito de reloj integrado, que permite registrar la hora y la fecha para programar tareas y operaciones con precisión. El uso de una MCU de 32 bits de grado industrial en el PLC asegura una alta capacidad de procesamiento y fiabilidad, haciendo de este sistema una herramienta esencial en entornos donde la precisión y la confiabilidad son fundamentales.

HMI Kinco GLO70E

Permite a un usuario comunicarse con una máquina, software o sistema. Técnicamente, se puede referir a cualquier pantalla que se use para interactuar con un equipo, pero se utiliza normalmente para las de entornos industriales.

Sensor de CO₂

Para el monitoreo de los mezcladores, se decidió instalar cuatro sensores en cada uno para medir las partes por millón de dióxido de carbono. Se optó por utilizar el sensor de CO₂ Transmisor de la marca Fdit, que ofrece un amplio rango de medición y un buen grado de linealidad. Además, es fácil de usar e instalar, y permite una transmisión a larga distancia. Este sensor opera con una entrada de alimentación de amplio voltaje, que puede ser de 12 a 24 V. Al conectar la línea de señal 485, es importante asegurarse de que las líneas A y B no se conecten de forma inversa y que las direcciones de los dispositivos en el bus no entren en conflicto, para garantizar un funcionamiento correcto y sin interrupciones.

Electroválvulas

Para el funcionamiento de nuestro sistema utilizamos 8 válvulas solenoides eléctrica 12V DC G1/4" 2 vías, 2 posiciones para el paso de aire y CO₂ a los mezcladores como a el área de biorreactores.

Fuente de voltaje 24V

La fuente de voltaje utilizada en el sistema es esencial para alimentar tanto la HMI como el PLC, ambos operando a 24 volts, y también para el sensor, que funciona dentro de un rango de voltaje de 10 a 30 volts. Esta fuente es del tipo conmutada, con una salida de 24 VCD y una capacidad de 1 amperio.

La fuente cuenta con un voltaje de entrada que oscila entre 110 y 220V AC, operando a 50/60Hz, con la posibilidad de seleccionar el rango de entrada a través de un interruptor. Además, ofrece una potencia máxima de salida de 120W, lo que garantiza un suministro de energía estable y adecuado para todos los componentes del sistema.

Comunicación MODBUS RTU RS-485

Para establecer comunicación existen distintas formas de hacerlo primero se requiere obtener las mediciones de los sensores posteriormente esos datos los debemos leer por medio del PLC para finalmente poderlos visualizar en el HMI, los sensores trabajan por medio de comunicación MODBUS RS-485 para ello comunicaremos el PLC con los 4 sensores estos los conectaremos a las entradas A y B del PLC como se muestra en la Una vez conectado se procede a programar en escalera en el software de programación MELSOFT Series GX Works2 para inicializar la comunicación con el PLC se siguió la siguiente programación.

Se utiliza una marca M8002 que inicializa el pulso del contacto normalmente abierto, el PLC se ejecuta en ON con un ciclo de exploración, la función MOV nos permitirá establecer la velocidad en la que se comunicara los sensores y el PLC, dentro de la función H8081 es el formato para una velocidad de 9600 bps mientras que el registro D8120 Este dispositivo establece el formato de comunicación.

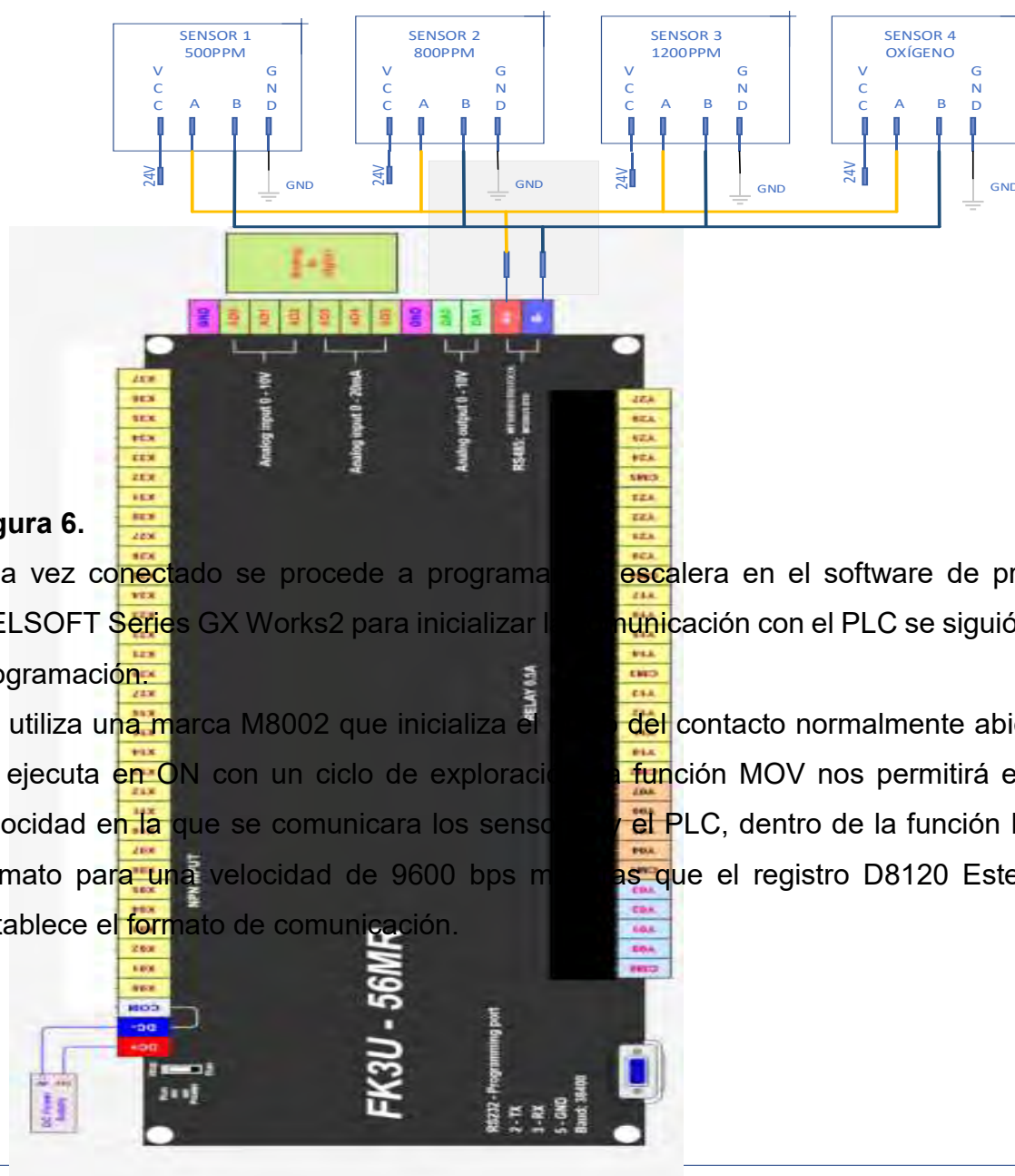


Figura 6.

Una vez conectado se procede a programar la escalera en el software de programación MELSOFT Series GX Works2 para inicializar la comunicación con el PLC se siguió la siguiente programación.

Se utiliza una marca M8002 que inicializa el contacto normalmente abierto, el PLC se ejecuta en ON con un ciclo de exploración. La función MOV nos permitirá establecer la velocidad en la que se comunicara los sensores y el PLC, dentro de la función H8081 es el formato para una velocidad de 9600 bps más que el registro D8120 Este dispositivo establece el formato de comunicación.

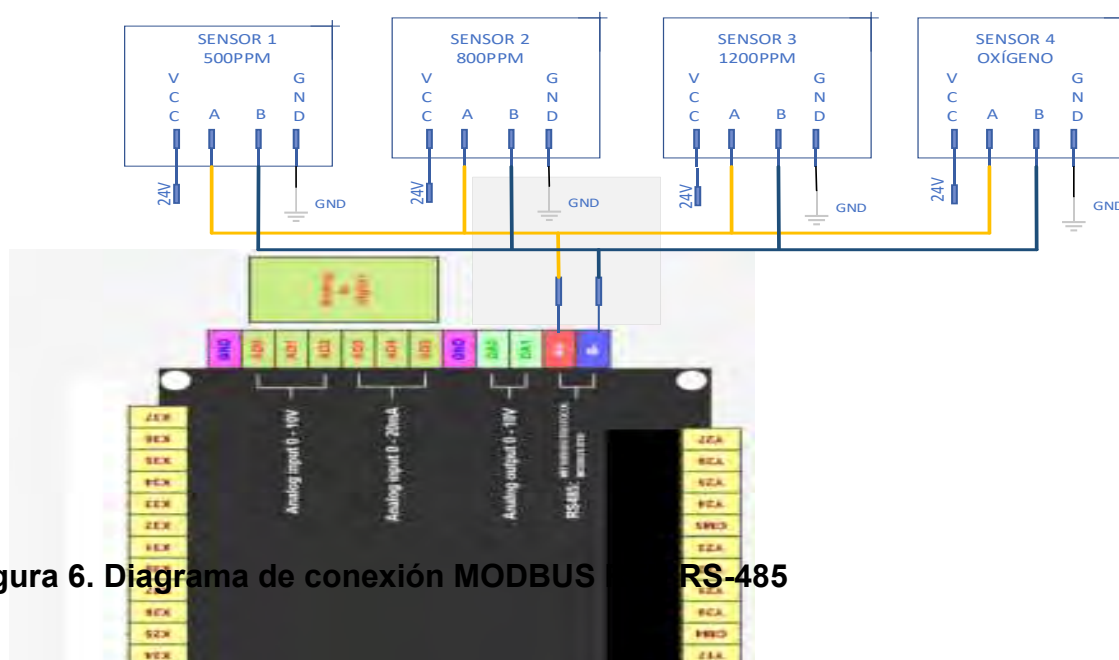


Figura 6. Diagrama de conexión MODBUS RS-485

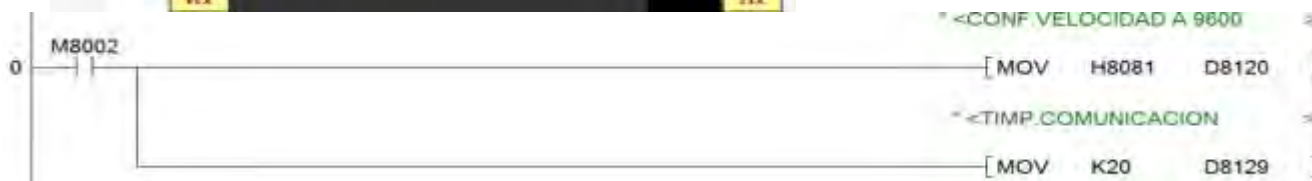


Figura 7. Inicialización de comunicación.

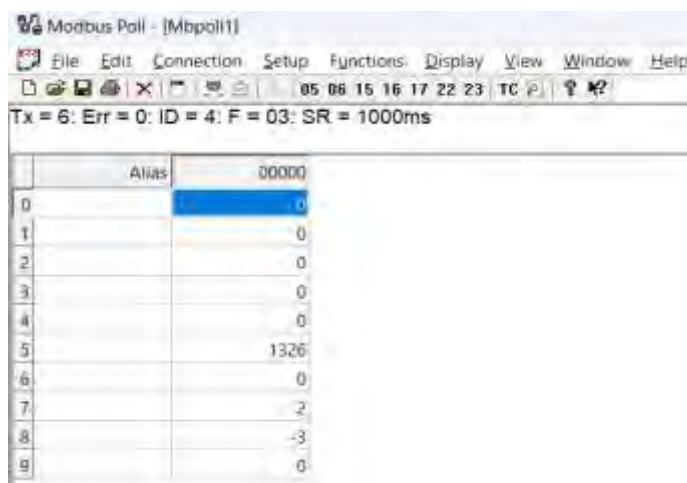
Ahora bien, una vez iniciada la comunicación se requiere asignar un número de esclavo a los sensores para que no hagan interferencia el número de estación en la que se ubican de igual de manera se obtiene el registro donde se guarda la medición del CO₂ para ello haremos uso del software de ModbusPoll en nuestro caso los sensores guardan la medición en la memoria 5 como se muestra en la Figura 8.

Para leer ahora los sensores una vez asignado el número de esclavo procedemos a monitorearlos desde el PLC como se muestra a continuación Figura 9.

Se hizo uso de un temporizador de 3 milisegundos el cual activa y desactiva la marca M0 nos apoyamos de la marca M8000 para tener siempre en estado ON finalmente tenemos la función IVRD que nos ayudará a leer el sensor dentro de la función se encuentra H403 donde el 4 es el número de esclavo y 03 quiere decir que solo leerá el valor, H5 es el registro donde se

guarda la medición D0 es un registro donde guardaremos el valor adquirido y finalmente H1 se pone de acuerdo al formato de la función.

Finalmente, una vez registrado los valores en el PLC los mandaremos al HMI y comunicaremos por RS-232.



	Alias	00000
0		0
1		0
2		0
3		0
4		0
5		1326
6		0
7		-2
8		-3
9		0

Figura 8. Lectura del sensor de CO₂.



Figura 9. Lectura del sensor en PLC.

Instalación del sistema

Antes de proceder a instalar nuestro sistema de inyección de CO₂ se siguieron una serie de pasos los cuales fueron de gran utilidad para poder concluir la instalación como se muestra en la Figura 10.

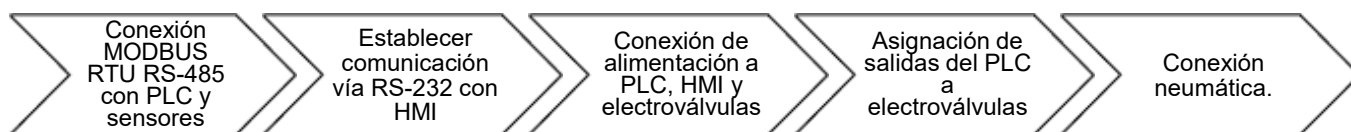


Figura 10. Pasos a seguir en la instalación.

Para la conexión de los sensores utilizamos una placa en la que acoplamos los 4 sensores de tal forma, que solo se mandaran dos cables al PLC y como se explicó anteriormente se programó en el PLC para obtener la lectura posteriormente para enlazar el PLC con el HMI se utilizó un cable serial RS-232 EGA DB9 macho-hembra.

En las siguientes dos etapas se usó el cableado de sistema, para ello se siguieron las normas de etiquetado de cables ANSI tia 606-b, las cuales son un conjunto de pautas voluntarias que se utilizan para etiquetar y registrar datos sobre los cables utilizados en los sistemas informáticos. Esto incluye la mayoría de los tipos de entornos de TI, incluidas compañías telefónicas, proveedores de servicios de Internet, centros de datos y más. También IEC 60446 es la Norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional que define los principios básicos de seguridad para la identificación de conductores eléctricos por colores o números, por ejemplo, en el cableado de distribución de electricidad. Esta norma fue fusionada, en su cuarta edición (IEC 60446: 2007), con la quinta edición de la norma IEC 60445 (IEC 60445: 2006) en 2010. Y finalmente las conexiones neumáticas de las electroválvulas a los mezcladores como se muestra en la Figura 6.

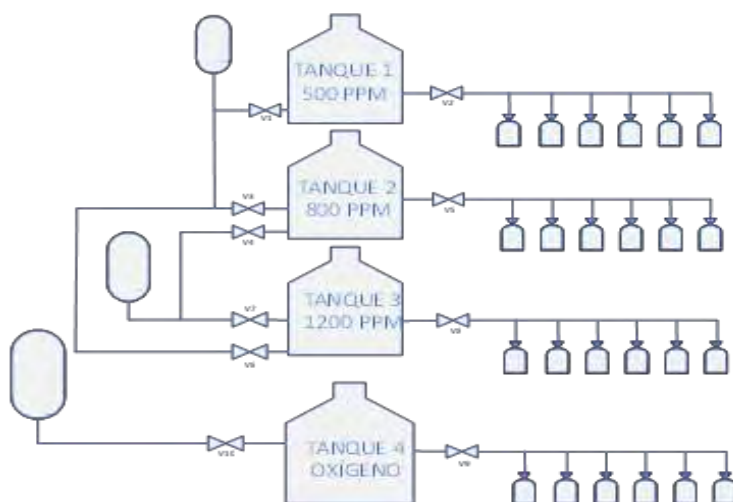


Figura 6. Diagrama neumático.

Resultados y discusión

Antes de instalar el sistema, se realizó una prueba con el sensor para verificar su eficacia y observar su comportamiento; al mismo tiempo comprobar que los datos brindados por los mismos sean los adecuados, entonces el comportamiento del sensor cuando este sea sometido a un flujo constante de 500mL/min de oxígeno, y observar los cambios conforme el paso del tiempo. El Cuadro 7 muestra los resultados obtenidos al cabo de 17 minutos, logrando obtener un total de 24 muestras.

Cuadro 7. Datos del comportamiento del sensor

Partes por millón (ppm) CO ₂	Tiempo (s)	ppm*s	S ²
23	33	2398	11881
22	109	2730	16900
21	130	3020	22801
20	151	3610	36100
19	190	4050	50625
18	225	4386	66564
17	258	4640	84100
16	290	5010	111556
15	334	5306	143641
14	379	5161	157609
13	397	5016	174724
12	418	4972	204304
11	452	4910	241081
10	491	4698	272484
9	522	4488	314721
8	561	4333	383161
7	619	4152	478864
6	692	3700	547600
5	740	3256	662596

Partes por millón (ppm) CO ₂	Tiempo (s)	ppm*s	S ²
4	814	2580	739600
3	860	1820	828100
2	910	958	917764
1	958	958	1006009
0	1003	0	1006009

Se comprueba la dispersión de correlación en la prueba 1, lo muestra la Figura 11, donde en el eje de las ordenadas se encuentra la variable dependiente que son ppm de CO₂ monitoreadas por el sensor, mientras que en el de las abscisas los segundos transcurridos, siendo esta última la variable independiente.

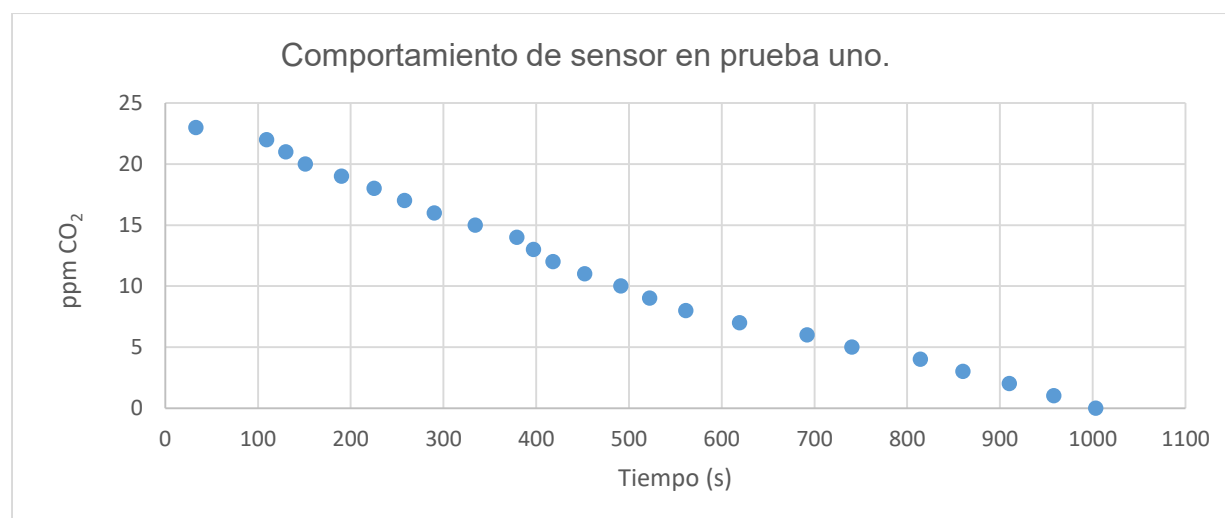


Figura 11. Dispersión de las variables en prueba 1.

Con los datos obtenidos que se muestran en el Cuadro 7, se realizaron los cálculos para obtener la ecuación de regresión lineal.

Dónde:

X = Segundos (s)

Y = Partes por millón (ppm)

n = Numero de muestras

$$a = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X \Sigma Y)}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$a = \frac{24(85953) - (11536 * 276)}{24(7473874) - (11536)^2} = -0.02421635091$$

$$b = \frac{\Sigma X - a(\Sigma X)}{n}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$b = \frac{276 - (-0.02421635091 * 11536)}{24} = 23.13999267$$

Una vez teniendo los valores a y b se sustituyen en la ecuación $y = ax + b$ la cual nos da la ecuación final de correlación entre x y y .

Sustituyendo, el resultado es:

$$y = -0.2421x + 23.14$$

Se procede a determinar el coeficiente de correlación (r) de la prueba 1.

Cuadro 8. Datos para la obtención de coeficiente de correlación en prueba 1.

s-MS	(S-MS) ²	ppm-Mppm	(ppm-Mppm) ²	s-MS*ppm-Mppm
-447.666667	200405.444	11.5	132.25	-5148.166667
-371.666667	138136.111	10.5	110.25	-3902.5
-350.666667	122967.111	9.5	90.25	-3331.333334
-329.666667	108680.111	8.5	72.25	-2802.166667
-290.666667	84487.1111	7.5	56.25	-2180
-255.666667	65365.4445	6.5	42.25	-1661.833334
-222.666667	49580.4445	5.5	30.25	-1224.666667
-190.666667	36353.7778	4.5	20.25	-858.0000002
-146.666667	21511.1111	3.5	12.25	-513.3333335
-101.666667	10336.1111	2.5	6.25	-254.1666668
-83.6666667	7000.11112	1.5	2.25	-125.5000001
-62.6666667	3927.11112	0.5	0.25	-31.33333335
-28.6666667	821.77778	-0.5	0.25	14.33333335
10.3333333	106.777777	-1.5	2.25	-15.49999995

s-Ms	(S-MS) ²	ppm-Mppm	(ppm-Mppm) ²	s-Ms*ppm-Mppm
41.3333333	1708.44444	-2.5	6.25	-103.3333333
80.3333333	6453.44444	-3.5	12.25	-281.1666666
138.3333333	19136.1111	-4.5	20.25	-622.4999999
211.3333333	44661.7778	-5.5	30.25	-1162.3333333
259.3333333	67253.7778	-6.5	42.25	-1685.6666666
333.3333333	111111.111	-7.5	56.25	-2500
379.3333333	143893.778	-8.5	72.25	-3224.3333333
429.3333333	184327.111	-9.5	90.25	-4078.6666666
477.3333333	227847.111	-10.5	110.25	-5012
522.3333333	272832.111	-11.5	132.25	-6006.8333333

Se toman en cuenta los datos mostrados en los cuadros 1 y 2 y se aplican las siguientes fórmulas.

$$Ms = \frac{\sum s}{n}$$

$$Mppm = \frac{\sum ppm}{n}$$

$$\sum (s - Ms)^2 = 1928903.333$$

$$\sum (ppm - Mppm)^2 = 1150$$

$$\sum (s - Ms)^2 * (ppm - Mppm)^2 = -46711$$

$$r = \frac{\sum (s - Ms)^2 * (ppm - Mppm)^2}{(\sqrt{\sum (s - Ms)^2}) * (\sqrt{\sum (ppm - Mppm)^2})}$$

$$r = \frac{-46711}{(1388.849) * (33.9116)}$$

Donde:

$$r = -0.9917811$$

La prueba 1 muestra que el tipo de correlación es negativa, ya que mientras la variable independiente aumenta, la variable dependiente estará disminuyendo, es decir mientras más tiempo transcurra, la ppm estará acercándose más hacia el cero. En la obtención del coeficiente de correlación también nos podemos dar cuenta ya que el resultado es negativo.

$$r = -0.9917811$$

Una vez instalado el sistema se sugirió guardar las mediciones arrojadas por parte de los sensores por determinados tiempos, estos datos se imprimen y son enviados a una unidad de memoria USB, al igual que en ella se observa cómo se estabiliza nuestro sistema dependiendo la cantidad de parte por millón que seleccione el usuario para cada uno de los mezcladores. Hay que mencionar que en la programación del PLC se realizó un rango en el cual se estabiliza el sistema según la cantidad seleccionada con ± 50 unidades para evitar que la válvula de los pequeños biorreactores se esté activado continuamente, sino que con ese margen pueda activarse por un tiempo más prolongado y no cause inestabilidad. En este estudio, el sistema estuvo operativo durante aproximadamente 40 minutos, registrando un total de 120 lecturas. Estos datos fueron graficados para evaluar el tiempo necesario para estabilizar el sistema dentro de un rango específico. En el primer escenario, el mezclador registró una lectura inicial de 1566 ppm de CO₂, y el valor de referencia se estableció en 500 ppm. Al fijar este valor objetivo, el sistema comenzó la inyección de aire comprimido para ajustar el nivel de CO₂. Una vez alcanzado el valor deseado, el software de control se encargó de mantener la concentración lo más cerca posible del punto de referencia. Ante cualquier desviación, el sistema inyectaba dióxido de carbono o aire comprimido según fuera necesario, bloqueando además el flujo hacia los biorreactores hasta restablecer el equilibrio. El comportamiento del sistema en el primer mezclador se detalla en la Figura 12.

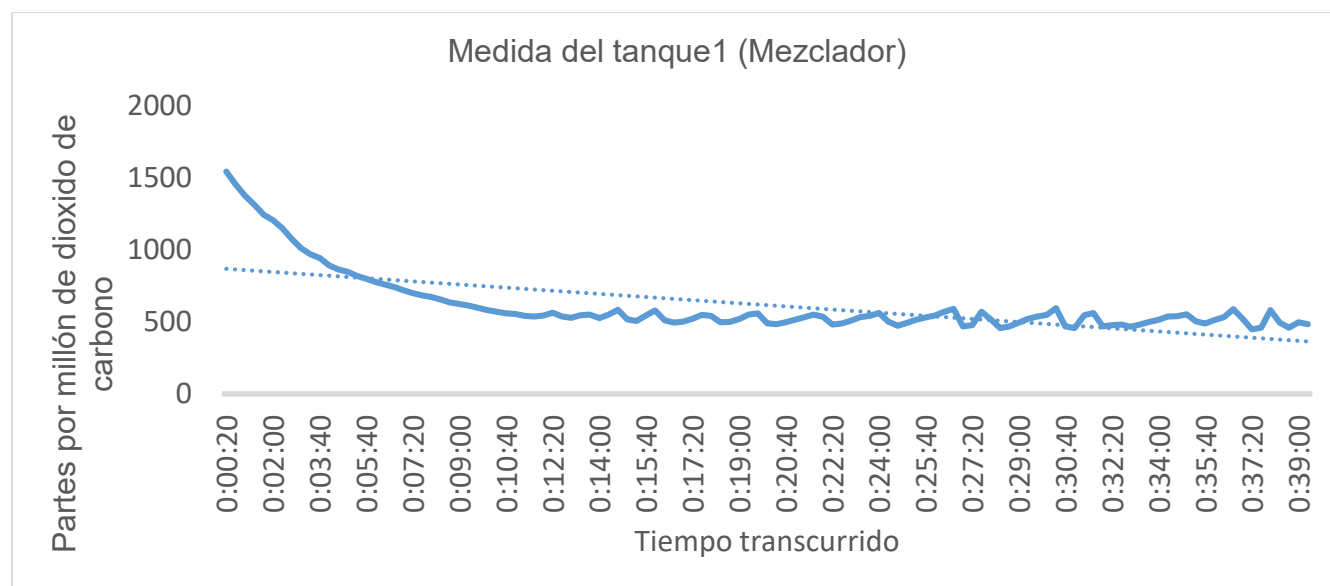


Figura 12. Estabilización automática del tanque 1 con respecto al tiempo.

El sistema logra estabilizarse en un rango muy cercano a las 500 ppm. Partiendo de 1566 ppm, el sistema logró estabilizarse en aproximadamente 12 minutos y 20 segundos. Las mayores desviaciones respecto al valor objetivo fueron de 595 ppm y 448 ppm, lo que indica una variación máxima de menos de 100 ppm. El sistema corregía inmediatamente estas variaciones para restablecer el equilibrio de la mezcla.

Conclusiones

El sistema de control diseñado, basado en el PLC FX3U-56MR de Mitsubishi, la HMI Kinco GLO70E, sensores de CO₂ y válvulas solenoides, ha demostrado ser altamente eficaz para gestionar los niveles de CO₂ en mezcladores y biorreactores. Las pruebas, realizadas sin la presencia de plantas para verificar la estabilidad y el comportamiento del sistema, se llevaron a cabo durante 17 minutos. Estos datos permitieron calcular la ecuación de regresión lineal $(y = -0.0242x + 23.14)$ con un coeficiente de correlación de -0.9918, lo que indica una fuerte relación inversa entre el tiempo y la concentración de CO₂. El sistema logró estabilizarse en el valor objetivo de 500 ppm de CO₂, con una variación máxima de menos de 100 ppm. La implementación del sistema, con programación en MELSOFT GX Works2, permitió una comunicación eficiente entre el PLC y los sensores mediante el protocolo MODBUS RTU RS-485. Una vez alcanzado el valor objetivo, el sistema mantuvo la concentración de CO₂ dentro del rango deseado, asegurando una operación estable y continua. El sistema de control automatizado ha demostrado ser una solución precisa y confiable para aplicaciones industriales, garantizando un ambiente controlado en los niveles de CO₂.

Literatura citada

Forero, N. G. 2012. Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485. Bogotá, Colombia. 9 p.

- García M. 2021. Control automático y gestión de recursos en distritos agroindustriales Almería. Almería, España. 9 p.
- Herath, Shayamal P, H. D., y Hasanika S. 2020. Development of a Data Acquisition and Monitoring System Based on MODBUS RTU Communication Protocol. Sri Lanka Nugegoda. 9 p.
- Hurtado S, C. A. 2023. evaluación de los efectos de la aplicación de tres concentraciones de CO_2 bajo invernadero en el cultivo de lechuga cressa (*Lactuca sativa* vas. crispata), en el sector salache, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. 58 p.
- Guzmán L., J., G. Acién, F., & M. Berenguel. 2020. Modelización y control del proceso de producción de biomasa de microalgas en reactores de canalización. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial. 18 p.
- Naranjo M, S. 2017. automatización de una planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas. Chacín: Télématique. 26 p.
- Palomo Masabanda, J. D., & Velasco Chimba, D. N. 2022. implementación del monitoreo de pH y control de CO_2 en el invernadero 1. Latacunga. 125 p.
- Toledo, C. G. 2001. Diseño e implementación de un sistema de control de CO_2 en tiempo real para una zona específica de invernaderos en la empresa Hilsea Investments LTD. Quito. 182 p.

EVALUACIÓN DE CUATRO AISLAMIENTOS DE *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans *et al.*, DE LA CHONTALPA TABASCO

Darío De la Cruz Ricardez^{116*}, Luz del Carmen Lagunes Espinoza¹¹⁷, Carlos Fredy Ortiz García¹¹⁷, Edith Hernández Nataren¹¹⁷ y Ramón Marcos Soto Hernández¹¹⁸

Resumen

Moniliophthora roreri, responsable de la moniliasis del cacao, ha causado daños significativos en la producción de cacao en Latinoamérica. En México se reportó por primera vez en 2005, y ha provocado pérdidas de hasta el 100% en plantaciones sin manejo adecuado. El patógeno infecta los frutos de cacao en cualquier etapa de desarrollo. Los frutos necrosados y esporulados pueden permanecer adheridos al árbol, actuando como fuente de inóculo para futuros ciclos de cultivo. El objetivo del trabajo fue determinar el crecimiento micelial y la esporulación *in vitro* de cuatro aislamientos de *M. roreri* en dos municipios de la Chontalpa, Tabasco. Se aisló *M. roreri* de plantaciones de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo. La identificación morfológica se hizo según criterios como el aspecto y color de las colonias y forma y tamaños de las esporas. Se evaluó el crecimiento micelial y la esporulación; para ello, se realizaron mediciones diarias del crecimiento micelial utilizando ejes ortogonales marcados en las cajas y la esporulación se evaluó contando el número de conidios por colonia en una cámara de Neubauer. Los datos se analizaron en un software estadístico y se construyeron graficas de líneas y barras. Los aislamientos de *M. roreri* de los cuatro sitios de colecta mostraron un crecimiento micelial similar, sin diferencia significativa entre ellos. El número de conidios por colonia de *M. roreri* fue mayor en los aislamientos CPMR21-02 y CPMR21-04 sin diferencias significativas entre ellos, este último proveniente del municipio de Huimanguillo Tabasco.

Palabras clave: agente causal de la moniliasis, crecimiento micelial, esporulación

Introducción

Moniliophthora roreri (Cif. y Par.) Evans *et al.*, un hongo fitopatógeno hemibiotrófico, es el agente causal de la enfermedad moniliasis del cacao, la cual ha provocado daños significativos

¹¹⁶ Tecnológico Nacional de México, Campus Huimanguillo. Carretera del Golfo Malpaso-El Bellote km. 98.5, Col. Ranchería Libertad. 86400 Huimanguillo, Tabasco. Correo-e: dario.cr@huimanguillo.tecnm.mx

¹¹⁷ Posgrado en Ciencias Agrícolas en el Trópico. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco.

¹¹⁸ Posgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. 56264 Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

a la producción de cacao en las áreas productoras de Latinoamérica. El primer reporte de esta enfermedad fue en el noreste de Colombia, de donde se diseminó progresivamente en Centro y Sudamérica. En México, la moniliasis se reportó por primera vez en 2005 (Phillips-Mora *et al.*, 2006). Los daños directos por efecto de esta enfermedad han sido cuantificados por arriba del 75%, y llega a alcanzar hasta 100% en plantaciones sin manejo (Torres-De la Cruz *et al.*, 2011), lo que se refleja en un impacto negativo del ingreso familiar y pone en riesgo la sustentabilidad del cultivo del cacao. *M. roreri* infecta a los frutos de cacao en cualquier etapa de desarrollo. Los conidios depositados sobre frutos sanos, germinan, penetran a los frutos a través de la cutícula o de estomas, y colonizan los tejidos intercelularmente (Bailey *et al.*, 2018). En su fase biotrófica, el patógeno es considerado monocariótico, crece intercelularmente y puede alterar el desarrollo de los granos e inducir deformaciones del fruto (tumefacción); esta fase puede durar entre 45 a 90 días después de la inoculación (Evans *et al.*, 2016). El inicio de la fase necrotrófica es caracterizada por que el hongo presenta un micelio intracelular estrecho y de paredes delgadas que rápidamente provoca la muerte del tejido; las células del micelio necrotrófico poseen un solo núcleo y son consideradas haploides. *M. roreri* induce necrosis del endocarpio y mesocarpio, después provoca necrosis en el pericarpio, con la aparición inicial, de pequeñas manchas aceitosas que coalescen en manchas “chocolate” en la superficie externa del fruto (Evans, 1981). La mancha chocolate, que puede o no cubrir toda la mazorca, es seguida por la formación de un pseudoestroma blanco y la esporulación fúngica (Ortiz-García *et al.*, 2010). Los frutos necrosados y esporulados, que permanecen adheridos al árbol proveen inóculo secundario o inóculo primario para el siguiente ciclo de cultivo (Torres-De la Cruz *et al.*, 2011). Se han propuestos diferentes métodos de control, que incluyen el control genético (Phillips-Mora *et al.*, 2013), químico (Torres-De la Cruz *et al.*, 2013; Torres-De la Cruz *et al.*, 2019), biológico (Villamil *et al.*, 2015; Reyes-Figueroa *et al.*, 2016), incluso el uso de extractos vegetales (Ramírez *et al.*, 2011; De la Cruz-Ricardez *et al.*, 2016; De la Cruz-Ricardez *et al.*, 2020). Sin embargo, es necesario conocer el comportamiento de diferentes aislamientos de la región. De acuerdo a Peng *et al.* (2021), el primer paso para realizar un bioensayo con un hongo fitopatógeno, es identificar y conocer su comportamiento en condiciones controladas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el crecimiento micelial y esporulación *in vitro* de cuatro aislamientos de *M. roreri* en los municipios de la Chontalpa Tabasco.

Materiales y métodos

Aislamiento de *Moniliophthora roreri*

Se realizó el aislamiento de *M. roreri*, el hongo causante de la moniliasis del cacao, en cuatro plantaciones ubicadas en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo. Se colectaron frutos de cacao infectados con síntomas iniciales de la enfermedad. Los frutos recolectados fueron llevados al Laboratorio de Fitopatología del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, donde se desinfectaron sumergiéndolos en una solución al 5% de hipoclorito de sodio durante 1 minuto, seguido de tres enjuagues con agua destilada. Se tomaron fragmentos de tejido sano e infectado de las mazorcas y se colocaron en cajas de Petri con medio de cultivo V8 estándar (De la Cruz-Ricardez *et al.*, 2020). Las cajas fueron incubadas en oscuridad a 25°C durante 17 días en una incubadora de la marca Prendo® (modelo BB0116). La identificación morfológica de *M. roreri* se llevó a cabo según la forma, coloración y crecimiento de las colonias, así como la forma del micelio, color y tamaño de las esporas (diámetro) y de su pared, siguiendo los criterios descritos por Evans (1981). En el cuadro 1, se muestran las claves de los aislamientos y los datos de localización de las plantaciones de colecta de muestras.

Cuadro 1. Localización de las plantaciones de colecta de frutos de cacao con síntomas de moniliasis en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas Tabasco en 2021.

Localidad/plantación	Localización	Municipio	Clave
R/a Arroyo Hondo 1 ^{ra} Santa Teresa	18.025058, -93.425158	Cárdenas	CPMR21-01
R/a Río Seco 2 ^{da} Sección B	18.063295, -93.384932	Cárdenas	CPMR21-02
Colonia Melchor Ocampo	18.028961, -93.360819	Cárdenas	CPMR21-03
Ejido Rafael Martínez de Escobar	17.723061, -93.383477	Huimanguillo	CPMR21-04

Evaluación del crecimiento micelial y esporulación de *M. roreri*

Se evaluó el crecimiento micelial y esporulación de los cuatro aislamientos obtenidos. Para ello, de cada colonia de los aislamientos, con un sacabocados se extrajeron discos de micelio de 0.5 mm que fueron sembrados en cajas Petri de 90 mm en medio de cultivo V8 clarificado e incubados en incubadora a 25°C en oscuridad, hasta que el primer aislamiento cubrió toda

la caja. Para este bioensayo, se sembraron cinco cajas por aislamiento, a las cuales, con la ayuda de un vernier, se les midió diariamente el radio (mm) de crecimiento micelial, ayudados por el dibujo de dos ejes ortogonales, en la parte exterior de la caja.

Para la evaluación de la esporulación, a cada caja de Petri con su colonia, se le agregaron 5 mL de una solución de agua destilada estéril + Tween 80 (0.1%), y con una varilla de vidrio modificada en forma de L, se empleó para el raspado de conidios de la superficie de la colonia. El sobrenadante se filtró con la ayuda de gasas estériles para separar el micelio. La suspensión de esporas, se depositó en un tubo con tapa, previamente esterilizado. El conteo de conidios se realizó para cada caja en cámara de Neubauer (Hausser Scientific, EE.UU.) La concentración de conidios por mL se ajustó y estimó mediante la fórmula (Lipa and Slizynski, 1973):

$$C = (Cc) (4 \times 10^6) (Fd/80)$$

donde C: número de conidios m/L Cc: número promedio de conidios contados en la cámara de Neubauer y Fd: factor de dilución.

Análisis de datos

Con los datos de crecimiento y esporulación obtenidos se construyeron gráficas de líneas y barras respectivamente en Microsoft Excel. Con los datos de crecimiento de *M. roreri* del último día de evaluación y con las lecturas del número de conidios por colonia, se realizó una comparación de medias de Tukey en el software estadístico InfoStat.

Resultados y discusión

"El crecimiento de las colonias correspondiente a cada aislamiento se desarrolló con forma, tamaño y textura normales, presentando un color crema con el centro en tonos de café claro a salmón. La esporulación observada en las colonias coincidió con la descripción proporcionada por Evans *et al.* (1981)."

Los cuatro aislamientos de *M. roreri* mantuvieron el mismo comportamiento en el crecimiento micelial (Figura 1).

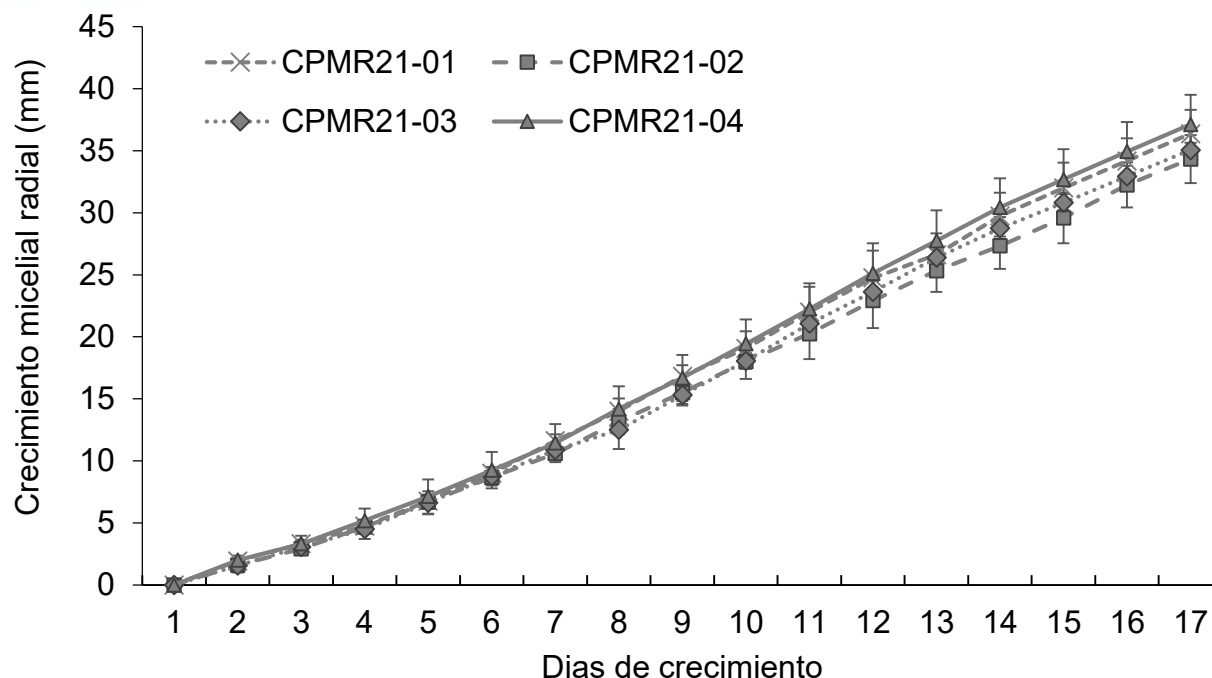


Figura 1. Crecimiento micelial radial de cuatro aislamientos de *M. roreri*. a los 17 días después de la siembra en medio V8.

Las colonias del aislamiento CPMR21-04, fueron las primeras en llenar completamente las cajas de Petri hasta el día 17, con un radio promedio de 37.1 mm, seguidas de las de CPMR21-01, CPMR21-03 y CPMR21-02. Esta última, con un radio promedio de 34.3 mm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Crecimiento micelial radial (mm) de cuatro aislamientos de *M. roreri* de dos municipios de la Chontalpa Tabasco.

Aislamiento	Municipio	Crecimiento micelial radial (mm)*
CPMR21-01	Cárdenas	36.38 ^a
CPMR21-02	Cárdenas	34.33 ^a
CPMR21-03	Cárdenas	35.06 ^a
CPMR21-04	Huimanguillo	37.13 ^a

*Medias con letras iguales entre aislamientos indican que no hay diferencia estadística significativa (Tukey, $p < 0.05$).

En cuanto a la esporulación (número de conidios por colonia), sí se observaron diferencias significativas entre los aislamientos. Los aislamientos de CPMR21-04 (Huimanguillo) y CPMR21-02 (Cárdenas), fueron los que mostraron mayor número de conidios por colonia (Figura 2), sin diferencias significativas entre ellos.

Los hongos fitopatógenos en general, están afectando la estabilidad económica y calidad de vida de la población, al incrementar su diseminación y causar pérdidas financieras, hambrunas, intoxicaciones alimentarias y cambios en los agroecosistemas por la pérdida de especies vegetales susceptibles (Albihn, 2009). Entre estos hongos fitopatógenos que se han extendido en el continente americano y que afectan a un importante cultivo tropical está *M. roreri*, agente causal de la moniliasis que ataca a los frutos de cacao (Phillips-Mora *et al.*, 2006). En México, se encuentra presente desde el 2005. Este hongo ataca al fruto de cacao, en cualquier etapa de su desarrollo, principalmente frutos jóvenes, y ha ocasionado pérdidas de producción de hasta 100% en plantaciones sin manejo cultural (Torres-De la Cruz *et al.*, 2011). Lo anterior ha ocasionado que los productores de cacao opten por el cambio del uso de suelo, sustituyendo al cacao por otros sistemas de producción agrícola, pecuaria o industrial que indirectamente ocasionan pérdidas de hábitat de flora y fauna, fragmentación y erosión del suelo.

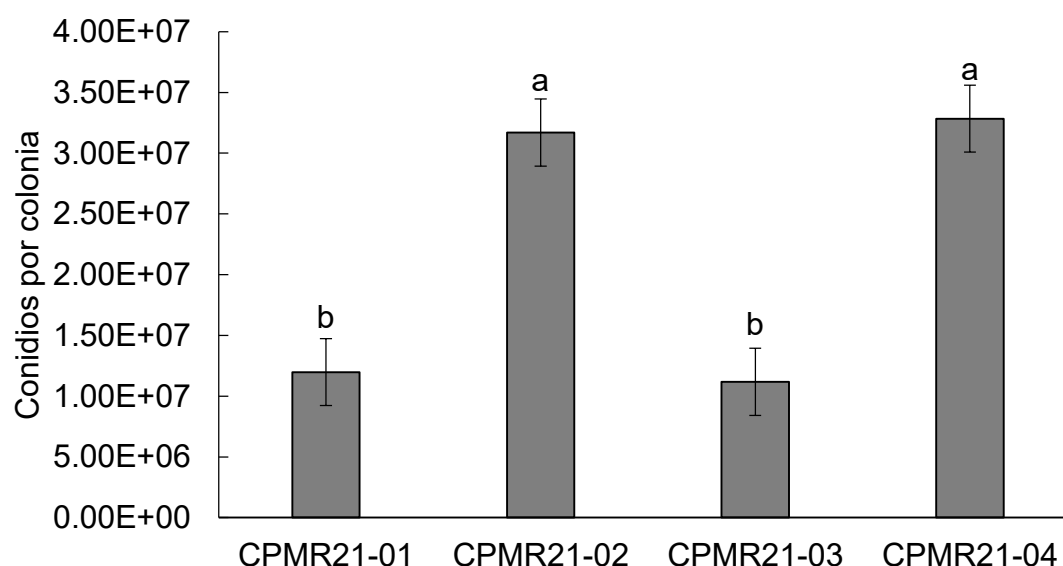


Figura 2. Número de conidios por colonia de cuatro aislamientos de *M. roreri*. A los 17 días después de la siembra en bajas de Petri. Letras diferentes entre barras indican diferencia estadística significativa (Tukey, $p < 0.05$).

Los aislamientos obtenidos en este estudio de cuatro sitios de colecta, mostraron un comportamiento similar en el crecimiento micelial, esto podría ser por la cercanía entre sitios. En cambio, en el número total de conidios por colonia, se observó que los aislamientos CPMR21-02 y CPMR21-04 fueron estadísticamente similares, pero diferentes a CPMR21-01 y CPMR21-03 en el número de conidios; esto podría indicar que estos aislamientos tendrían un comportamiento diferente en cuanto a su patogenicidad (Hipólito-Romero *et al.*, 2020). Aunque los aislamientos no se identificaron mediante técnicas moleculares, la identificación morfológica, debido a las características presentadas sobre la superficie de las mazorcas de cacao, indica que los aislamientos corresponden a *M. roreri*; además, por la forma de crecimiento y color de la colonia y la observación de estructuras (Phillips-Mora *et al.*, 2006; Evans, 1981). Recientemente, Hipólito-Romero *et al.* (2020) observaron que *M. roreri*, presente en el estado de Tabasco mantiene una alta capacidad de adaptación epigenética al medio ambiente, razón por la que le es propicia la inoculación natural en campo y su diseminación, por lo que urgen alternativas sustentables para su control.

Los ensayos *in vitro* son útiles para realizar análisis detallados y examinar los efectos biológicos en un mayor número de individuos, y en el caso específico de hongos, conocer el comportamiento y mecanismos de acción específicos de las infecciones fúngicas en plantas y la respuesta ante una sustancia en estudio. Pero estos ensayos *in vitro* no pueden replicar las condiciones que ocurren en el hábitat natural del organismo patógeno, en contraste, el ensayo *in vivo*, proporciona una respuesta más integrada del comportamiento del patógeno y del efecto de la sustancia en estudio (Graudejus *et al.*, 2019; Last *et al.*, 2021).

Conclusiones

Los aislamientos de *M. roreri* provenientes de los municipios de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco, exhibieron un crecimiento micelial similar, sin diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, se observó que los aislamientos CPMR21-02 y CPMR21-04, especialmente este último procedente de Huimanguillo, mostraron una mayor producción de conidios por colonia. Se recomienda continuar analizando estos aislamientos para determinar posibles variaciones morfológicas debidas a la localización geográfica. Este paso es crucial para obtener una

comprensión más profunda de las características específicas de cada aislamiento de *M. roreri* en diferentes regiones, lo cual es vital para futuras investigaciones y para el desarrollo de estrategias efectivas de manejo de la moniliasis del cacao.

Literatura citada

- Albiñ, A. 2009. Infectious Waste Management. En M. Schaechter (ed.), Encyclopedia of Microbiology (Third Edition). p. 500-512. Academic Press.
- Bailey, B. A., H. C. Evans, W. Phillips-Mora, S. S. ALI, and L. W. Meinhardt. 2018. *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. Molecular Plant Pathology 19:1580-1594.
- De la Cruz-Ricárdez D., C. F. Ortiz-García, L. C. Lagunes-Espinoza y M. Torres-De la Cruz. 2020. Efecto antifúngico *in vitro* de extractos metanólicos de *Capsicum* spp. en *Moniliophthora roreri*. Agrociencia 54:813-824.
- De la Cruz-Ricardez, D., L. C. Lagunes-Espinoza, C. F. Ortiz-García, y M. Pablo-Pérez. 2016. Actividad antifúngica *in vitro* del extracto acuoso y alcaloideo de *Lupinus* spp. en *M. roreri*. Agroproductividad 9: 3-9.
- Evans, H. C. 1981. Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora* (Monilia) *roreri*. Phytopathological Papers 24:44.
- Evans, H. C. 2016. Frosty Pod Rot (*Moniliophthora roreri*). In: Bailey, B., Meinhardt, L. (eds) Cacao Diseases. Springer, Cham.

- Graudejus, O, Ponce W. R. D, Varghese N., Wagner S., and Morrison B. 2019. Bridging the gap between *in vivo* and *in vitro* research: Reproducing *in vitro* the mechanical and electrical environment of cells *in vivo*. Conference Abstract: MEA Meeting 2018 | 11th International Meeting on Substrate Integrated Microelectrode Arrays.
- Hipólito-Romero, E., E. Cocoltzi-Vásquez, J. .M Ramos-Prado, C. Espinoza, M. Torres-De la Cruz y J. Ricaño-Rodríguez. 2020. Breve aproximación a la naturaleza genómica de *Moniliophthora roreri* CPMRT01 aislado de cacao en Tabasco, México. Biotecnia 22:39-49.
- Last, A. M. M., A. S. Mosig, M. S. Gresnigt and B. Hube. 2021. *In vitro* infection models to study fungal–host interactions, FEMS Microbiology Reviews 45:5.
- Lipa, J. J., and Slizynsky K. 1973. Wskazówki metodyczne I terminologia dowyznaczania snedniej dawki swiertelnej (LD50) w patologii owadow i toksykologii [Methodological instructions and terminology for determination of average lethal dose (LD50) in insect pathology and toxicology]. Prace Naukowe Instytutu Ochrony Roślin 15:59-83.
- Ortiz-García, C. F., V. Cordova-Avalos y N. Terán-Villanueva. 2010. En: Córdova-Ávalos V., E. García-López y J. J Obrador-Olán. 2010. Cultivo y transformación del cacao en Tabasco. Publicación especial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 94 p.
- Peng, Y., Li Shi J., Yan J., Tang Y., Cheng J.P., Gao A.J., Yao X., Ruan J.J. and Xu B. 2021. Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. Frontiers in Microbiology 12.
- Phillips-Mora, W., A. Coutiño, C. F. Ortiz, A. P. Lopez, J. Hernandez and M. C. Aime. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. Plant Pathology 55:584

- Phillips-Mora, W., Arciniegas-Leal A., Mata-Quiros A. and Motomajor-Arias J. C. 2013. Catalogue of cacao clones selected by CATIE for commercial plantings. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 68 p. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cacaonet.org/fileadmin/templates/CacaoNet/Uploads/publications/CatalogueofClones_ENGLISH.pdf](https://www.cacaonet.org/fileadmin/templates/CacaoNet/Uploads/publications/CatalogueofClones_ENGLISH.pdf). (Consulta: julio 2024).
- Ramírez, G. S., López O. B., Guzmán H.T., Munguía U.S. and Espinosa Z.S. 2011. Actividad antifúngica *in vitro* de extractos de *Origanum vulgare* L., *Tradescantia spathacea* Swartz y *Zingiber officinale* Roscoe sobre *Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans *et al.* Tecnología en Marcha 24:3-17.
- Reyes-Figueroa, O., C. F. Ortiz-García, M. Torres-De la Cruz, L. C. Lagunes-Espinoza and G. Valdovinos-Ponce. 2016. *Trichoderma* species from the cacao agroecosystem with biocontrol potential of *Moniliophthora roreri*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 22:149-163.
- Torres-De la Cruz M., C. F. Ortiz-García, D. Téliz-Ortiz, A. Mora-Aguilera and C. Nava-Díaz 2011. Temporal progress and integrated management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) of cocoa in Tabasco, Mexico. Journal of Plant Pathology 93:3136.
- Torres-De la Cruz M., C.F. Ortiz-García, D. Téliz-Ortiz, A. Mora-Aguilera y C. Nava-Díaz. 2013. Efecto del azoxystrobin sobre *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao*). Revista Mexicana de Fitopatología 31:65-69.
- Torres-De la Cruz M., I. Quevedo-Damián, C. F. Ortiz-García, L. C. Lagunes-Espinoza, D. Nieto-Angel y M. Pérez-De la Cruz. 2019. Control químico de *Moniliophthora roreri* en México. Biotecnia 21:55–61.
- Villamil C. J. E., S. E. R. Viteri y O. W. L. Villegas. 2015. Aplicación de antagonistas microbianos para el control biológico de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en *Theobroma cacao* L. bajo condiciones de campo. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 68:7441-7450.

EVALUACIÓN DE LA INFECCIÓN DE *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. EN PLANTAS DE *Coffea arabica* L. var. ICATU

Edgar Couttolenc Brenis^{119*}, Marco Antonio Toral Juárez¹¹⁹, Rosalío López Morgado¹¹⁹ y Jesús Parroquín Pérez¹¹⁹

Resumen

Los genotipos del cultivar ICATU de *Coffea arabica* han sido ampliamente utilizados como progenitores en los programas de mejoramiento genético de café. Por lo que identificar cuales genotipos, de los que se tienen disponibles en el S.E. Teocelo, presenta mayor resistencia a *Hemileia vastatrix* es fundamental para la obtención de nuevas variedades resistentes al patógeno. Por lo que, el objetivo del estudio fue identificar dentro de un lote del cultivar ICATU los genotipos con mayor resistencia a este patógeno utilizando los parámetros de incidencia y severidad de la infección. El lote está conformado por 60 plantas, y en cada una de estas se contabilizó el número de hojas con síntomas de la rama plagiotrópica de mayor longitud del tercio medio de la planta. Las variables que se evaluaron fueron: número de hojas totales, hojas con síntomas, porcentaje de área foliar dañado, número de pústulas por hoja y número de pústulas con esporulación. Con estos datos se estimó el índice de incidencia (IR), la severidad y el índice de resistencia (IRs). En lo que se refiere a la incidencia, todas las plantas presentaron síntomas, los valores IR mínimo y máximo fueron de 20 y 10 respectivamente. La severidad expresada como el porcentaje del área foliar dañada fue desde 1.33 hasta 28% y en términos del IRs de 0.11 a 1. Por lo que, de las sesenta plantas evaluadas, solo se podrían considerar como progenitores potenciales cuatro, ya que fueron las que presentaron los valores más bajos de los parámetros evaluados, área foliar dañada < 3%; IR < 30 y IRs < 0.28.

Palabras clave: incidencia, severidad, índice de resistencia

Introducción

Un aspecto importante en la selección de los parentales para la generación de variedades de café (*Coffea arabica*) es la cuantificación de la resistencia que presentan al ataque de *Hemileia vastatrix* los materiales que se seleccionen para realizar la cruce (Cardoso *et al.*, 2016). Dependiendo de la respuesta sintomática en las plantas, estas se clasifican en: altamente

¹¹⁹ INIFAP, CIRGOC-CE Cotaxtla/S.E. Teocelo. *couttolenc.edgar@inifap.gob.mx

resistentes, moderadamente resistentes, débilmente resistentes, susceptibles y altamente susceptibles (Sera *et al.*, 2022).

En el caso del cultivar ICATU, se les considera genotipos de resistencia moderada a la Roya. Eskes y Da Costa (1983), señalan que los genotipos pertenecientes a esta línea tienen una alta variabilidad en cuanto a su respuesta a la infección por el patógeno, por lo que son materiales caracterizados por una resistencia incompleta. Por lo que ICATU, podría ser utilizado para cruzamientos con otros cultivares como los Catimores o los Sarchimores (Eskes *et al.*, 1990; Andreazi *et al.*, 2015; Lima, Junior, *et al.*, 2018).

El primer paso para identificar cuales genotipos de ICATU pueden ser utilizados como progenitores es necesario medir el grado de resistencia que presenta las platas (Eskes y Da Costa, 1983), siendo la intensidad de la infección por *H. vastatrix* el parámetro más adecuado para este fin. Para estimar la intensidad es necesario medir la incidencia y severidad. La incidencia es la proporción de plantas u órganos (hoja, raíz, ramas, etc.) dañados en relación al total de la muestra que se evalúa en el muestreo. Y la severidad es la proporción del tejido que ha sido afectado por la enfermedad por lo que depende del número de lesiones y el tamaño de las mismas (Kranz, 1988).

En el café, para evaluar la severidad de la infección de *H. vastatrix* comúnmente se utiliza el porcentaje del área foliar dañada, y se puede medir mediante programas para el procesamiento de imágenes que estiman el área dañada (Couttolenc-Brenis *et al.*, 2021; Figueiredo *et al.*, 2022). Alternativamente se pueden usar escalas visuales para realizar la evaluación de severidad directamente en el campo (López *et al.*, 2018; Julca *et al.*, 2019; Figueiredo *et al.*, 2022). Sin embargo, estas últimas tienen una menor precisión, ya que depende de la agudeza visual del evaluador (López *et al.*, 2018).

Sin embargo, en los programas de mejoramiento genético, para evaluar el nivel de resistencia de *H. vastatrix*, la severidad no debe de ser evaluada solamente con en porcentaje de área foliar dañada, ya que el nivel de resistencia de los materiales se identifica por la presencia de esporas en las lesiones foliares (Eskes y Da Costa, 1983; Botelho *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018). Por lo que se ha utilizado la relación entre el número de póstulas y la presencia de esporas en la misma para generar índices que permitan establecer el grado de resistencia que tiene un cultivar o genotipo (Eskes y Da Costa, 1983; Couttolenc-Brenis *et al.*, 2023). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de plantas del cultivar ICATU

en Sitio Experimental Teocelo para seleccionar aquellas que puedan ser utilizadas como progenitores en el desarrollo de nuevas variedades con resistencia a *H. vastatrix*.

Materiales y métodos

Área de estudio

La evaluación se realizó en el S. E. Teocelo (Figura 1). Se ubica en el municipio de Teocelo en el estado de Veracruz, con latitud norte de 19°23'34.1" y longitud oeste 97°00'03.5", a 1,250 m.s.n.m. La precipitación pluvial anual es de 2,063 mm, la temperatura promedio de 20°C, con una máxima media de 25°C y mínima media de 14°C; los suelos son derivados de cenizas volcánicas de tipo andosol.



Figura 1. Localización del Sitio Experimental Teocelo.

Material vegetativo

La evaluación se realizó en un lote de 60 plantas del cultivar ICATU. Este material se generó de la cruce del híbrido de *Coffea canephora* x Borbón Rojo, obtenido en el Instituto Agronómico de Campiñas en 1950, con Mundo Novo (Carvalho, 2008). La semilla se obtuvo del banco de

germoplasma del Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo, en el año 2016 y la plantación se estableció en julio de 2017.

Monitoreo de *H. vastatrix*

Se seleccionó la rama plagiotrópica de mayor longitud del tercio medio de cada planta. En esta rama se contaron el número de hojas totales y el número de hojas infectadas para estimar el índice de incidencia (IR). Para calcular el índice de severidad (IRs), se contaron, el número de pústulas por hoja enferma y con una lupa de joyero de 10X 21mm se observó la presencia de esporas para contar el número de pústulas con esporulación. Adicionalmente se calculó el porcentaje de área foliar dañada utilizando la escala visual (Figura 2) propuesta por López *et al.*, (2018). De estas tres variables, la que se utilizó como criterio de selección de progenitores es el IRs.

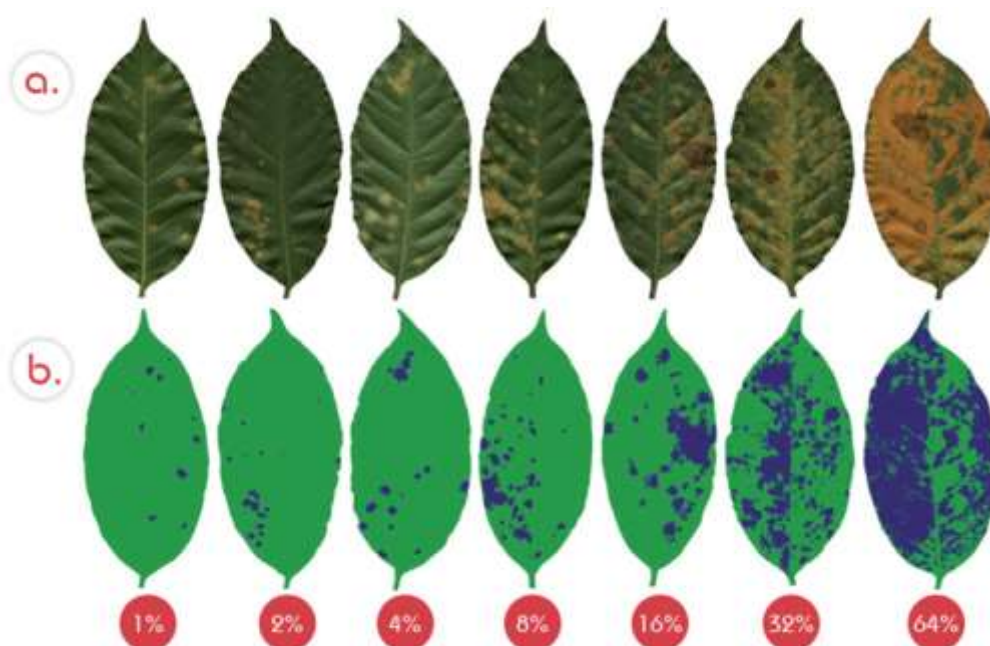


Figura 2. Escala de evaluación visual para la severidad de *H. vastatrix* diseñada por López *et al.* (2018).

Estimación del índice de incidencia y el índice de resistencia

Con los datos de las variables registradas en el monitoreo se calculó el índice de incidencia (IR) propuesto por Alvarado *et al.*, (2009), que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$IR = (NHI/NHT) / 100$$

Donde;

IR= Índice de incidencia

NHI = Número de hojas infectadas

NHT = Número de hojas totales de la planta

Para estimar el grado de resistencia que tienen las plantas al patógeno se generó un índice de resistencia (IRs) que considera la proporción de pústulas con esporulación en relación a la proporción de hojas infectadas (Couttolenc, *et al.*, 2023) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$IRs = (PS \cdot NHI) / (PT \cdot NHT)$$

Donde:

IRs= Índice de resistencia

PS= Pústulas con esporulación

PT= Pústulas totales

NHI= Número de hojas infectadas

NHT= Número de hojas totales

Análisis estadístico

Con el programa SigmaPlot© versión 14, se realizaron las pruebas de normalidad (Shapiro y Wilk, 1965) para las variables IRs, IR, y porcentaje del área foliar dañada. Para detectar diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los individuos de la población de ICATU, los datos con distribución normal fueron sometidos a la prueba de “t-Student”. En el caso donde las variables no se ajustaban a una distribución normal se realizó la prueba no paramétrica de rango con signo para una muestra (Kitani y Murakami, 2022).

Resultados y discusión

Todos los individuos evaluados de la población ICATU presentaron infección por roya, de igual manera se registró la presencia de esporulación en el total de la población de cafetos evaluada. Lo que se puede considerar un comportamiento esperado ya que esta variedad es considerada con resistencia parcial a la roya (Carvalho, 2008). En cuanto a la incidencia, el valor medio del

índice IR fue de 73.86. Además, se observó que solo cinco de las 60 plantas tuvieron valores menores a 30 siendo 20 el menor valor, registrado en dos plantas (Figura 3).

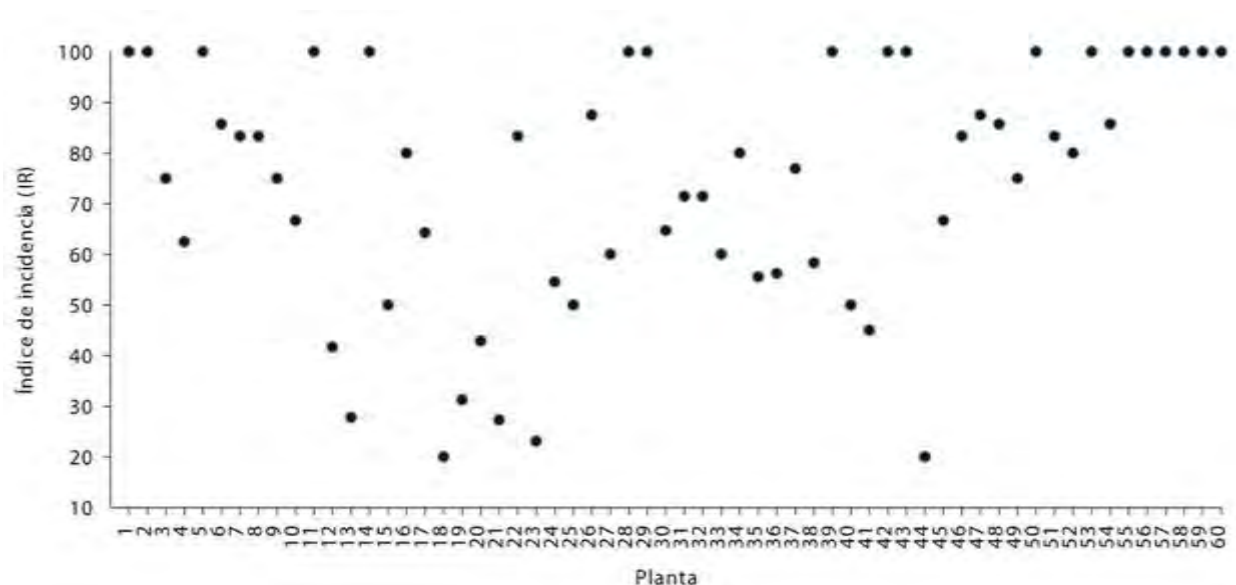


Figura 3. Distribución del índice de incidencia (IR) estimado en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv ICATU.

En comparación con la evaluación de progenies obtenidas de la cruce de líneas de Catuaí x ICATU hecha por Lima *et al.*, (2018) solo las plantas 13, 21 y 23 se considerarían con un nivel de incidencia moderado. El resto de las plantas se consideran con un nivel de incidencia alto (IR > 25). Es importante señalar que ICATU no es el único cultivar con resistencia a la roya donde se ha observado la presencia del patógeno. Oro Azteca, en México, mostró un IR promedio de 5.73 (Couttolenc-Brenis *et al.*, 2019). Esto también ha sido reportado para los cultivares Costa Rica 95 (IR de 3.5), Colombia (IR de 1.5) y Catimor (IR de 0.5) en Perú (Julca-Otiniano *et al.*, 2018). Botelho *et al.*, (2010) al evaluar las progenies de la cruce entre líneas de Catimor x Icatu también identificó que todos los materiales presentaban incidencia, siendo la menor IR de 2.2 y el mayor de 49.2. Por lo que, el comportamiento de las plantas de ICATU evaluadas está dentro de los parámetros esperados ya que este material se utiliza principalmente como parental para el desarrollo de nuevos materiales y desde su origen ha sido catalogado como de resistencia incompleta (Eskes y Da Costa, 1983).

En cuanto al nivel de severidad, considerando el promedio del área foliar dañada por planta, se observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las plantas que se monitorearon. El máximo valor que se registró fue de 28% en una sola planta de las 60 que se consideraron en la evaluación de este cultivar. En el otro extremo 21 plantas registraron menos de 5% de área foliar dañada, destacando las plantas 23, 13, 40, 21, 20 y 4 por presentar menos del 2.5% de daño foliar. El valor promedio de la población fue de 8.22% (Figura 4).

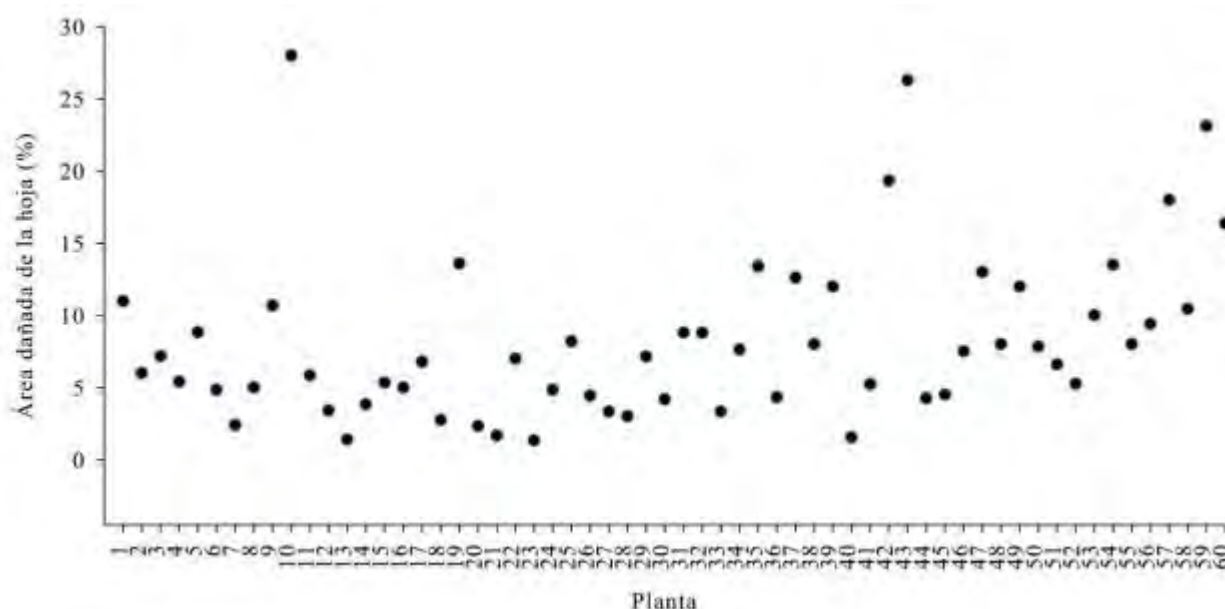


Figura 4. Distribución del daño foliar, expresado en porcentaje de la hoja dañada, en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv ICATU.

En este sentido la población estudiada de ICATU en general se comporta con una respuesta intermedia a la infección a la roya y las plantas con un daño menor a 2.5% se consideran con un nivel de resistencia alto de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de progenies hechas en Brasil para el desarrollo de nuevas variedades (Botelho *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018). Así mismo estos valores son inferiores a los registrados en Sarchimor T5296 en el mismo jardín de variedades (Couttolenc *et al.*, 2023).

Considerando lo que mencionan Cardoso *et al.* (2016) y Lima *et al.* (2018) con respecto a las progenies de la cruce de líneas de Icatu x Catuaí y Botelho *et al.* (2010) en cruces de Icatu x Catimor que presentaron el menor índice de incidencia y de severidad, las plantas 18, 21, 23

y 13 pudieran ser seleccionados como materiales con resistencia no específica o poligénica, para utilizarlos como progenitores. Además, el índice de resistencia (IRs), en las estas plantas presentan valores menores a 0.29, siendo el promedio de la población 0.60, con un valor máximo de 1 en una sola planta (Figura 5), por lo que, estas plantas serían los materiales que presentan el mayor grado de resistencia de la población estudiada. Esto permitiría utilizarlas como parentales y no como líneas avanzadas para la obtención de nuevos cultivares. Ya que esta variedad en comparación con Sarchimor T5296 presenta una resistencia moderada (IRs > 0.10) (Couttolenc-Brenis *et al.*, 2023).

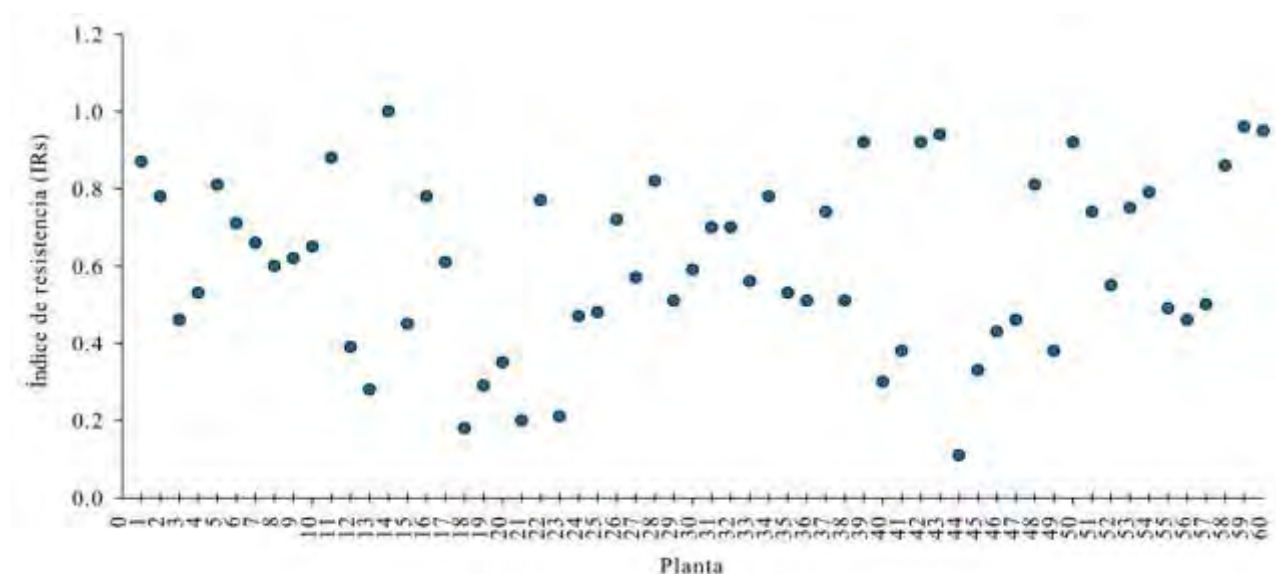


Figura 5. Distribución del índice de severidad (IS) estimado en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv ICATU.

Conclusiones

La evaluación de la infección de *H. vastatrix* en la plantación del cultivar de *C. arabica* ICATU permitió identificar plantas que pueden ser utilizadas como progenitores para el programa de mejoramiento genético de café. Ya que, se observaron diferencias significativas en las respuestas de cada individuo de esta población. Mostrando que solo las plantas 18, 21, 23 y 13 pueden ser utilizadas para el desarrollo de cultivares mediante cruza con materiales

derivados del Híbrido de Timor como Sarchimores y Catimores, y de esta manera obtener materiales con resistencia horizontal (no específica o poligénica).

Literatura citada

- Andreazi, E., G. H. Sera, R. T. de Faria, T. Sera, L. H. Shigueoka, F. G. Carvalho, *et al.* 2015. Desempenho de híbridos F1 de café arábica com resistência simultânea a ferrugem, mancha aureolada e bicho mineiro. *Coffee Science* 10(3):375-382. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/893>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Botelho, C. E., A. N. G. Mendes, G. R. Carvalho, G. F., Bartholo S. P. Carvalho. 2010. Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. *Revista Ceres*, 57: 274–281. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300010>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Cardoso, D. de A., A. N. G. Mendes, A. M. Carvalho, A. E. de Lima, C. E. Botelho, G. R. Carvalho, *et al.* 2016. Seleção de progênies F4 oriundas do cruzamento Icatu e Catuaí amarelo com resistência à ferrugem. *Coffee Science* 11(4):555-566. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1183>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Carvalho, C. de (Ed.). 2008. Cultivares de café: Origem, características e recomendações. EMBRAPA Café. Brasília, Brasil. 334 p.
- Couttolenc-Brenis, E., G. Carrión, L. Villain, F. Ortega-Escalona, M. Mata-Rosas, and A. Méndez-Bravo. 2021. Defense Response to *Hemileia vastatrix* in Susceptible Grafts onto Resistant Rootstock of *Coffea arabica* L. *Agronomy*, 11(8), 1621. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081621>. [Consultado el 20 agosto 2024].

- Couttolenc-Brenis, E., M. Mata-Rosas, A. Méndez-Bravo, L. Villain y G. Carrion. 2019. Cambios en la severidad de la infección de roya en planta injertada de café arábica. In: J. C. Vinay Vadillo, V. A. Esqueda Esquivel, O. H. Tosquy Valle, A. Ríos Utrera, R. Zerina Lezama, A. L. Del Ángel Pérez, *et al.* (Eds.), Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático (Vol. 3, pp. 549–557). Medellín, Ver., México: INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM.
- Couttolenc-Brenis, E., M. A. Toral-Juárez, R. López Morgado y J. Parroquin Pérez. 2023. Respuesta a la infección de *Hemileia vastatrix* en plantas de *Coffea arabica* var. Sarchimor T5296.p 985-995. In: López V., M. E., O. H. Tosquy V., N. Peralta A., R. L. Rebolledo G., y A. Capetillo B. (ed) Ciencia y tecnología para un campo productivo y sustentable. INIFAP. CIRGOC, Veracruz, México.
- Eskes, A. B., and W. M. Da Costa, 1983. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the icatu coffee population. Euphytica, 32(2):649–657. <https://doi.org/10.1007/BF00021478>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Eskes, A. B., J. G. J. Hoogstraten, M. Toma-Braghini, and A. Carvalho. 1990. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Híbrido de Timor. Euphytica, 47(1):11–19. <https://doi.org/10.1007/BF00040356>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Figueiredo, Y. F., J. M. Oliveira, K. A. Almeida, P. de Fátima Pereira, L. A. Pedroso, M. de Resende Faria Guimarães, *et al.* 2022. Coffee leaf rust assessment: Comparison and validation of diagrammatic scales for *Coffea arabica*. Eur J Plant Pathol, 164:411–427. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02570-2>. [Consultado el 20 agosto 2024].

- Julca O., A., V. R. Borjas, H. L. Alvarado, N. Julca V., V. Castro C. y S. Bello A. 2019. Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú. Revista de Ciencia e Investigación. 4(4):1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Julca-Otiniano, A., G. L. Alarcón-Águila, R. Alvarado-Huamán, V. Borjas-Ventura, A. Castro-Cepero. 2018. Comportamiento de tres cultivares de café (catimor, colombia y costa rica 95) en el valle del Perené, Junín, Perú. Chilean J. Agric. Anim. Sci. 34(3):205–215. <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/848>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Kitani, M., and H. Murakami. 2022. One-sample location test based on the sign and Wilcoxon signed-rank tests. Journal of Statistical Computation and Simulation, 92(3):610–622. <https://doi.org/10.1080/00949655.2021.1968399>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Kranz, J. 1988. Measuring Plant Disease. p. 35-50 In Jürgen Kranz & J. Rotem (Eds.), Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Springer. Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-95534-1_4. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Lima, A. E. de, H. G. S. Junior, E. de M. Castro, S. P. de Carvalho, F. F. da Silva, S. de L. Júnior, *et al.* 2018. Incidence and severity of coffee leaf rust, cercosporiosis and coffee leaf miner in coffee progenies. Coffee Science. 13(3):349–355. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1459>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- López, J. M., G. Marín-Ramírez, A. Gaitán y C. A. Ángel. 2018. Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. Avances Técnicos. (498):1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4244>. [Consultado el 20 agosto 2024].
- Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika 52 (3/4): 591-611.

Sera, G. H., C. H. S. de Carvalho, J. C. de Rezende Abrahão, E. A. Pozza, J. B. Matiello, S. R. de Almeida, *et al.* 2022. Coffee Leaf Rust in Brazil: Historical Events, Current Situation, and Control Measures. *Agronomy*, 12(2), 496. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020496>. [Consultado el 20 agosto 2024].

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE PIÑA MD-2 PRODUCIDA FUERA DE TEMPORADA MEDIANTE CONTROL DE LA FLORACIÓN

María Enriqueta López Vázquez¹²⁰, Rosa Laura Rebolledo García¹²⁰, Andrés Rebolledo Martínez^{120*},
Nain Peralta Antonio¹²⁰, Gerardo Montiel Vicencio¹²⁰, Daniel E. Uriza Ávila¹²⁰
y Carlos A. Tinoco Alfaro¹²⁰

Resumen

La piña se encuentra en el top 5 de los frutales tropicales del mundo y en México se plantan alrededor de 47000 ha, ocupando el noveno lugar mundial; genera alrededor de 20000 empleos anuales entre directos e indirectos y una derrama económica de 32000 millones de pesos. Es producida en nuestro país durante prácticamente todo el año, sin embargo, septiembre y octubre se ha definido como la época de menor cosecha. El objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento y calidad de la fruta de piña MD-2 mediante el control de la floración con cubierta plástica y poda de hojas, a fin de lograr fruta en época de escasez. El trabajo se estableció en Medellín de Bravo, Veracruz, en la zona conocida como Los Robles; ubicada a 18° 55' 20.6" latitud norte y 96° 7' 17.64" longitud oeste, a 20 metros de altitud, con suelo franco arenoso con 6.01 de pH. El experimento fue establecido la segunda semana de junio de 2021 con vástagos de 600 g de piña 'MD-2' a 60000 plantas por hectárea. El diseño experimental fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones con los siguientes tratamientos: 1) suelo desnudo; 2) suelo desnudo con poda del 30% de la altura de la planta; 3) suelo con cubierta plástica y 4) suelo con cubierta plástica con poda del 30% de la altura de la planta. La poda se realizó el 5 de noviembre. Se midió peso de fruto, sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable. En el peso de fruto proveniente de floración natural, el tratamiento con cubierta plástica fue estadísticamente igual ($p>0.05$) al tratamiento con cubierta plástica con poda al 30% y al suelo desnudo con poda al 30%; pero superior al suelo desnudo sin poda. Por otra parte, en la cosecha fuera de temporada, el peso del fruto fue estadísticamente igual ($p>0.05$) en los cuatro tratamientos evaluados. En relación con sólidos solubles y la acidez titulable, no hubo diferencias estadísticas entre tratamiento en ambas cosechas ($p>0.05$).

Palabras clave: *Ananas comosus*, grados brix, tamaño de fruto

¹²⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: rebolledo.andres@inifap.gob.mx.

Introducción

La planta de piña es de los pocos cultivos que responde a la inducción de la floración. Si la floración ocurre de manera natural, tanto el estado fisiológico de la planta, la sensibilidad del cultivo, el fotoperiodo, la temperatura y la radiación, son factores que la favorecen (Bartholomew, 2018). También es posible inducir la floración de la planta de piña de manera artificial, mediante la aplicación de reguladores de crecimiento que actúan sobre la síntesis de etileno, compuesto responsable de la diferenciación floral. Un problema generalizado en las zonas piñeras a nivel mundial es la floración natural que, al presentarse de manera espontánea, afecta la programación de la cosecha. Las zonas productoras de piña se localizan a 30° N y 30° S de la línea Ecuatorial, en donde se presentan inviernos con temperaturas muy bajas y días más cortos que estimulan la diferenciación floral si la planta tiene el tamaño suficiente (Farid *et al.*, 2015). Bartholomew *et al.* (2003), observaron que las plantas de piña con un peso superior a 1.0 kg y expuestas a un descenso brusco en la temperatura, son vulnerables a la floración natural. Dentro de los materiales más cultivados, destacan La Cayena Lisa y el híbrido MD-2, y a pesar de que MD-2 es más susceptible a las floraciones naturales por su mayor respuesta a la síntesis de etileno, ha ido incrementando su posicionamiento en el mercado a nivel mundial por sus características de calidad como sabor, tamaño y uniformidad. En México, en los últimos 20 años, el mercado de 'MD-2' se ha ido incrementando y prácticamente, de no existir plantaciones con este genotipo, ahora la superficie ocupa alrededor del 80%, desplazando al cultivar tradicional Cayena Lisa. Entre las características competitivas del híbrido MD-2 sobre la Cayena Lisa, tanto para su consumo en fresco como para exportación, destacan, su pulpa densa con fibra dietética de color amarillo intenso, sabor más dulce (entre 13 y 18 grados Brix), menor acidez y fruto de forma cilíndrica y tamaño uniforme que permite mayor rendimiento en el empaque (De la Torre *et al.*, 2008 y Uriza-Ávila *et al.* 2018). Durante el invierno (noviembre a febrero) en la zona productora de piña de nuestro país, ocurren temperaturas mínimas que pueden alcanzar 17°C, y que coincide con días más cortos, ambas condiciones favorables para que ocurra la floración espontánea. Durante los meses de junio y julio, se cosechan los frutos de las plantas que presentaron floración natural en el invierno, en este periodo se concentra el 25% de la producción y el precio de la fruta baja. En contraste, de septiembre a octubre es un periodo de poca producción con precios de venta

elevados, lo que abre una ventana de oportunidad para que el productor incremente sus ingresos (Rebolledo *et al.*, 1998; Rebolledo *et al.*, 2016; Uriza-Ávila *et al.*, 2018).

Actualmente la producción de piña se realiza bajo el sistema tradicional a cielo abierto, o con el sistema de ambiente protegido. El 25% de las plantaciones de piña en México son manejadas bajo el sistema de ambiente protegido (Uriza-Ávila *et al.* 2018); incluye el acolchado plástico total y la malla sombra. El acolchado plástico total debe realizarse antes de la plantación y consiste en cubrir el cien por ciento del suelo con plástico de color negro calibre 150. Entre los múltiples beneficios de esta práctica destacan, la protección contra malezas y contra la erosión del suelo, mayor uniformidad de la humedad del suelo y menor compactación, lo que mejora la aeración radical y se incrementa la asimilación de nutrientes (Rebolledo *et al.*, 2016). Con el fin de inhibir la floración natural, se han evaluado reguladores de crecimiento como el clorhidrato de aviglicina (AVG) y ácido 2,3 clofenoxipropiónico al 8% (CPA), con resultados positivos (Rebolledo *et al.*, 1997b; López-Vázquez, *et al.* 2022; Rebolledo *et al.*, 2023). Con el mismo propósito, Rebolledo *et al.* (2021) han realizado investigaciones en donde la práctica de la poda retrasa la floración natural y se obtienen plantas en condiciones para la inducción floral en marzo y cosecha de frutos en el periodo de baja producción (septiembre-octubre). Esta práctica de inducción de la floración se realiza en la región con el uso de gas etileno a dosis de 2 kg/ha en dos aplicaciones, mezclado con 6 kg de carbón activado por 1000 litros de agua (Rebolledo *et al.*, 2016). Durante la maduración del fruto de la piña, la producción de etileno baja y no se presenta una crisis respiratoria, por lo que se considera un fruto no climatérico; el contenido de sólidos solubles totales (SST) se incrementa y la acidez disminuye gradualmente hasta el momento de consumo; los dos ácidos orgánicos predominantes son el cítrico y el málico (Bartholomew y Paull, 1986). Por otra parte, Rebolledo *et al.* (1997b) evaluaron el rendimiento en plantas de 'Cayena Lisa' con floración inhibida y posteriormente inducidas y cosechadas en septiembre; encontraron pesos promedio de fruto de 2.5 kg, 11.9°brix y 0.3% de acidez titulable. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento y calidad de la fruta de piña MD-2 mediante el control de la floración con cubierta plástica y poda de hojas, a fin de lograr fruta en época de escasez.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se desarrolló en la localidad de Los Robles, Veracruz en el ciclo 2021-2022, en una plantación propiedad del productor cooperante Abraham Romero Olivares, ubicada a 18° 55' 20.6" latitud norte y 96° 7' 17.64" longitud oeste, a 20 metros de altitud. Se caracteriza por tener suelo franco arenoso con pH de 6.01, moderadamente ácido. El experimento se estableció en la segunda semana de junio de 2021 con vástagos de 600 g del cultivar MD-2 a una densidad de 60,000 plantas por hectárea.

Para el registro de la temperatura y humedad relativa se instaló, en la parcela experimental, un higrómetro tipo HOBO Pro v2. Durante el periodo de noviembre de 2021 y mayo de 2022, se presentaron días fríos con temperaturas menores a los 17°C, particularmente durante las primeras horas del día. En los meses de noviembre y diciembre se registraron temperaturas promedio de 27.7°, llegando a alcanzar en algunos casos, valores superiores a los 40°C durante el mediodía; las temperaturas mínimas durante estos mismos meses fueron de 16° a 20°C. Febrero fue el mes más frío llegando a registrar temperaturas entre 9° a 15.8°C y una temperatura promedio de 20.8°C (Figura 1). La humedad relativa observada durante el mismo periodo se muestra en la Figura 2.

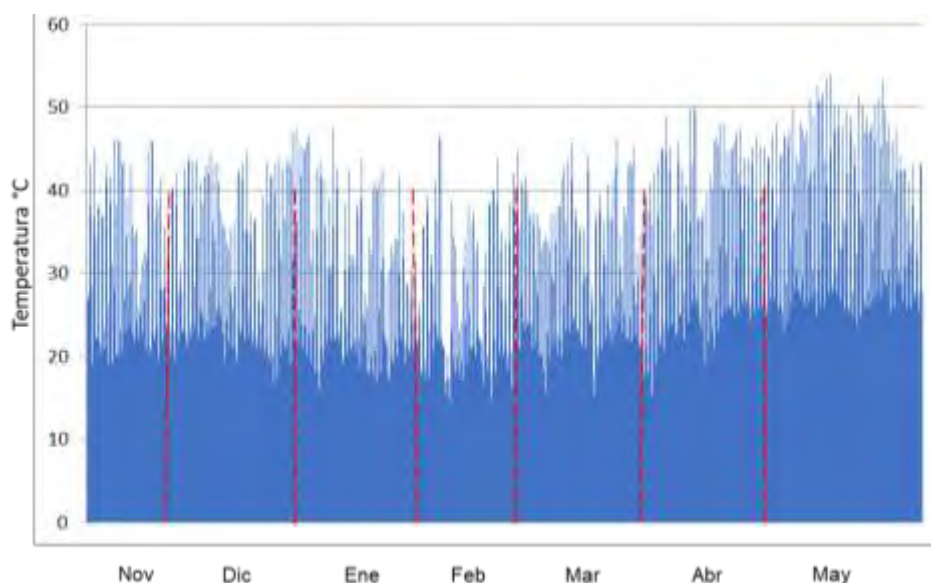


Figura 1. Temperatura registrada en la región de Los Robles, Mpio. Medellín de Bravo, Ver., durante el periodo de noviembre de 2021 a mayo de 2022.

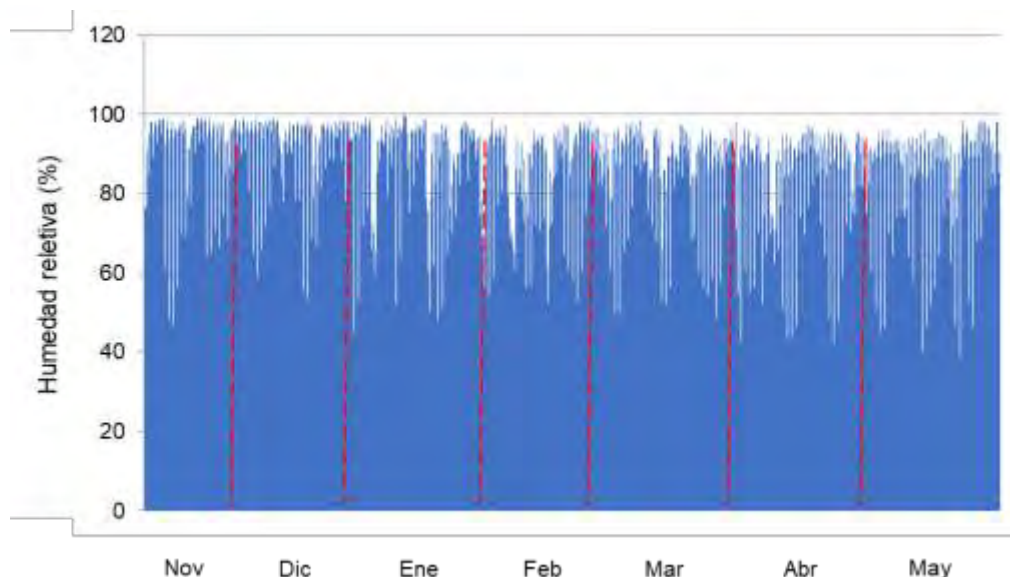


Figura 2. Porcentaje de humedad relativa registrada en la región de Los Robles, Mpio. Medellín de Bravo, Ver., durante el periodo de noviembre de 2021 a mayo de 2022.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental consistió en una cama de 6 m de longitud con dos hileras de plantas. El espacio de centro a centro de las camas fue de 1.2 m teniendo 0.3 m entre camas. La distancia entre hileras fue 0.3 m y la distancia entre plantas fue de 0.27 m, esto corresponde a una densidad de 60000 a 65000 plantas/ha. Los tratamientos evaluados fueron: 1) suelo desnudo; 2) suelo desnudo con poda del 30% de la altura de la planta; 3) suelo con cubierta plástica y 4) suelo con cubierta plástica con poda del 30% de la altura de la planta. La poda se realizó el 5 de noviembre. En los tratamientos con cubierta plástica se utilizó plástico de color negro calibre 150 para cubrir el suelo totalmente antes de la plantación (Rebolledo *et al.*, 2016). En los tratamientos que consideraron poda de hojas, esta se realizó eliminando el 30% de la altura total de la planta medida desde el suelo hasta el ápice en posición vertical. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las recomendaciones del INIFAP (Rebolledo *et al.*, 2016).

De acuerdo con los tratamientos, se tuvieron diferentes porcentajes de floración natural e inhibida como se muestra en el Cuadro 1. Las plantas provenientes de la floración natural fueron cosechadas en junio mientras que a las plantas que fueron inhibidas, se les aplicó el

tratamiento de inducción floral con etileno en junio de 2022 y fueron cosechadas en noviembre del mismo año.

Cuadro 1. Porcentaje de floración natural de plantas con cobertura de suelo y poda de hojas de piña en Los Robles, Veracruz.

Tratamiento	% de floración	
	Natural	Inducida
Suelo desnudo	83	17
Suelo desnudo más poda	77	23
Cubierta plástica	38	62
Cubierta plástica más poda	49	51

Variables evaluadas

Se midió el peso fresco de fruto, el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y el porcentaje de acidez titulable en la cosecha de junio y de noviembre; Los sólidos solubles totales (SST) de los tercios basal, medio y superior se midieron mediante un refractómetro análogo, marca Sper Scientific. La acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico se calculó con la metodología establecida por la AOAC (2019).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de las variables cuantificadas para comparar el efecto de tratamientos, y para la separación de promedios se aplicó la prueba de Tukey, con una probabilidad del 95% ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En la Figura 3 se muestran los resultados sobre el peso y rendimiento de fruto en plantas con floración natural y floración inducida. Para el peso de fruta en plantas con floración natural (Figura 3 A), se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0.05$).

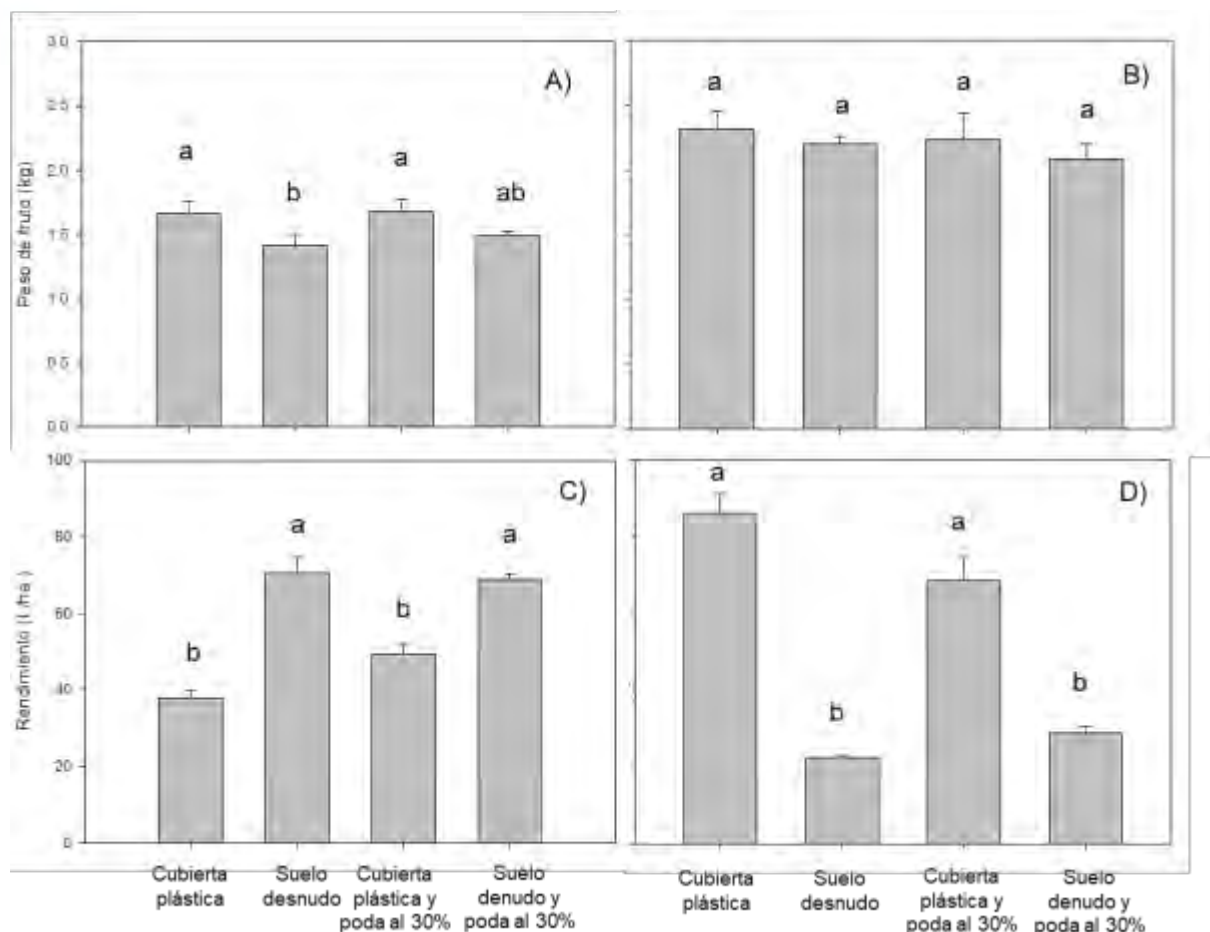


Figura 3. Peso y rendimiento de fruta de piña MD-2 en niveles de cobertura de suelo y poda de hoja. A) peso de fruto proveniente de floración natural; B) peso de fruto proveniente de floración inducida; C) rendimiento de piña proveniente de floración natural; D) rendimiento de piña proveniente de floración inducida. Letras diferentes representan diferencia estadística significativa; barras $\pm$ error estándar.

El tratamiento con cubierta plástica fue estadísticamente igual al tratamiento con cubierta plástica con poda de hojas al 30% y al suelo desnudo con poda al 30%; pero superior al suelo desnudo sin poda. El incremento del peso del fruto lo impone la cubierta plástica como lo han indicado otros autores (Rebolledo *et al.*, 1997a; Rebolledo *et al.*, 2005; Eugenio *et al.*, 2024), quienes reportan que el acolchado plástico incrementa el rendimiento de la piña al mejorar las condiciones de humedad y temperatura del suelo; en este estudio, en condiciones de temporal, el fruto se desarrolló en la etapa de menor precipitación, de enero a junio; por tal razón, el

beneficio del plástico fue notorio. Por otra parte, en la cosecha fuera de temporada, el peso del fruto fue estadísticamente igual en los cuatro tratamientos evaluados (Figura 3B), ya que desde la floración hasta la maduración del fruto el crecimiento de las plantas fue en la época de lluvias, de mayo a noviembre. La cosecha fuera de temporada tuvo frutos 41% mayores que los frutos provenientes de la floración natural ya que, aunque estos fueron plantados en la misma fecha (junio del año anterior), se cosecharon cinco meses antes y fueron desarrollados en la época de estiaje. Trabajos anteriores encontraron peso de fruto similares cosechados en septiembre con el cultivar Cayena Lisa (Rebolledo *et al.*, 1997b). El rendimiento en cada tratamiento estuvo en función del porcentaje de floración natural; la cosecha de floración natural tuvo menor rendimiento por hectárea en los tratamientos con cubierta plástica y poda (Figura 3C), ya que evitaron en mayor proporción la floración natural, ocurriendo lo contrario con estos mismos tratamientos en la cosecha de noviembre (Figura 3D); el mismo efecto, pero inverso se observó con los tratamientos a suelo desnudo. Adicionalmente, la fruta producida fuera de temporada fue notablemente superior a la cosecha de junio; además el precio de venta en campo se duplicó.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de calidad de fruto. En la cosecha de floración natural, los °Brix aumentaron en las frutas cosechadas en plantas a suelo desnudo con y sin poda en comparación con los tratamientos con cubierta plástica ($p > 0.05$), contrario a lo encontrado en otros trabajos, que reportan un aumento en los °Brix cuando utilizan el acolchado plástico (Rebolledo *et al.*, 1997a); sin embargo, en la cosecha de noviembre, los tratamientos tuvieron un comportamiento estadísticamente igual ($p > 0.05$). El promedio de °Brix en la floración natural fue de 13 grados, en tanto que las frutas de floración inducida tuvieron 14.1 °Brix. Lo anterior sugiere que pudiera haber una interacción de la cubierta plástica con el uso de la malla sombra durante la época de mayor temperatura en el año, la cual es establecida después de la floración y reduce la temperatura del ambiente de desarrollo del cultivo. De todas maneras, los valores encontrados se encuentran dentro de los estándares de calidad que exigen los mercados nacional e internacional; el contenido mínimo de sólidos solubles totales para consumo en fresco establecido por la Norma CXS 182-1993, es de 12°Brix (FAO/OMS, 2011). No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la acidez titulable del jugo del fruto ($p > 0.05$) en los tratamientos dentro de cada fecha de cosecha; sin embargo y como era de esperarse, en noviembre los frutos tuvieron 30% más de

acidez titulable, lo que se explica por las bajas temperaturas y menor fotoperiodo ocurrido en esa época del año.

Cuadro 2. Grados Brix y acidez titulable en piña MD-2 en diferentes épocas de cosecha bajo suelo desnudo y acolchado plástico con y sin poda.

Tratamiento	Grados Brix		Acidez titulable	
	Natural	Inducida	Natural	Inducida
Suelo desnudo	13.6 ab	14.5 a	0.19 a	0.28 a
Suelo desnudo más poda	14.0 b	13.8 a	0.20 a	0.27 a
Cubierta plástica	12.2 ab	13.6 a	0.18 a	0.27 a
Cubierta plástica más poda	12.2 a	14.5 a	0.20 a	0.26 a

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Conclusiones

Con el uso de cubierta plástica y poda de hojas es posible obtener buenos rendimientos por hectárea de piña, logrando producir fuera de temporada fruta de buena calidad y a buen precio, en contraste con la producción en época de alta oferta, en los meses de junio y julio. Se sugiere seguir investigando sobre otras formas de evitar la floración natural y producir fruta de la misma calidad durante todo el año.

Literatura citada

AOAC (Association of Official Agricultural Chemist). 2019. Official Analytical Chemist. 21th Ed. Washington, D.C.

Bartholomew, D.P. and Paull, R.E. 1986 Pineapple fruit set and development. *In*: Monselise, S.P. (ed.). Handbook of Fruit Set and Development. CRC Press, Florida, EUA. 371–388 p.

- Bartholomew, D. P, Malézieux, E., Sanewski G. M. and Sinclair E. 2003. Cap. 8. Inflorescence and Fruit Development and Yield. (167-202). *In:* Bartholomew, D. P., Paull, R. E., & Rohrbach, K. G. (eds.). The pineapple: botany, production and uses. Cabi Publishing
- Bartholomew, D.P. 2018. Crop environment, plant growth and physiology. p 105-142. *In* Sanewski Garth M., Bartholomew Duane P. and Paull Robert E (eds.). The pineapple. Botany, production and use .Segunda edición. CAB International.
- De la Torre Romero Martha Elizabeth, Bustos Rosales Agustín y Morales Pérez María del Carmen Guadalupe. 2008. Cadena logística de exportación de piña fresca en México. Notas núm. 112, artículo 1. Instituto Mexicano de Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=319&IdBoletin=113#_ftn1 [consultado el 18 de junio de 2024].
- Eugenio Ferreira Coelho, Lenilson Wisner Ferreira Lima, Blair Stringam, Aristoteles Pires de Matos, Dionei Lima Santos, Domingo Haroldo Reinhardt, *et al*, 2024. Water productivity in pineapple (*Ananas comosus*) cultivation using plastic film to reduce evaporation and percolation. Agricultural Water Management 296: 1-11.
- FAO/OMS, 2011. Codex Alimentarius: Normas internacionales de los alimentos. Norma para la piña CXS 182-1993. Enmendada en 2005, 2011 FAO, Roma.
- Farid Hossain, Shaheen Akhtar and Mustafa Anwar. 2015. Nutritional Value and Medicinal Benefits of Pineapple. International Journal of Nutrition and Food Sciences. 4(1):84-88.
- López-Vázquez M.A., Rebolledo-Martínez A., Rebolledo-García R.L., Peralta-Antonio Nain y Rebolledo-Martínez L. 2023. Efecto del acolchado plástico y la malla sombra en el control de la floración natural en piña MD2 1147-1156 p. *In:* López-Vázquez M.A, Tosquy-Valle O.H., Peralta-Antonio Naín, Rebolledo-García R.L. y Capetillo-Burela A. Ciencia y tecnología para un campo productivo y sustentable. 1ª. Edición, Veracruz, México.

- Rebolledo-García R.L., A Rebolledo- Martínez., M.E López-Vázquez., Nain Peralta-Antonio, G. Montiel-Vicencio y D.E. Uriza- Ávila. 2023. Aviglycine and plastic mulch to avoid natural flowering in MD-2 pineapple. X International Pineapple Symposium.
- Rebolledo M. A., D. E. Uriza Á. and L. Rebolledo M. 1997a. Use of plastic padded for the pineapple. *Plasticulture* 114: 45- 54.
- Rebolledo-Martínez, A., Uriza-Ávila, D. and Aguirre-Gutiérrez, D. 1997b. Flowering inhibition in pineapple with different rates of Fuitone CPA on two planting densities. *Acta Hortic.* 425: 347-354. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.425.38.
- Rebolledo M A., D, Uriza A y L. Rebolledo M. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 20. Veracruz, México. 159 p.
- Rebolledo-Martínez, A., Del Ángel-Pérez, A. L., Becerril-Román, A. E., & Rebolledo-Martínez, L. 2005. Growth analysis for three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. *Interciencia*, 30:758-763.
- Rebolledo, M. A., D. Uriza A., A. Del Ángel P., L Rebolledo M. y R. Zetina L. 2016. Piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., 324 p.
- Rebolledo-Martínez A., M. E. López-Vázquez, L. Rebolledo-Martínez, G. Montiel-Vicencio, N. Peralta-Antonio, R. L. Rebolledo-García, y C. A. Tinoco-Alfaro. 2021. Poda de hojas y uso de malla sombra para evitar floraciones naturales en piña MD-2 y producir fuera de temporada. p. 387-398. *In*: Zetina Lezama. R., Tosquy Valle, O. H., Del Ángel Pérez, A. L., Ríos Utrera, A., Vázquez Hernández, M. V., Esqueda Esquivel, V. A. *Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y Oportunidades*. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México.

Uriza-Ávila, D.E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V.H., Zetina-Lezama, R. y Rebolledo-Martínez, A. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH. 484 p.

EFFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN LA MICROPROPAGACIÓN DE *Bacopa procumbens*

Maleni Nohemí Hernández Díaz¹²¹, Minerva Rosas Morales¹²¹ y Ada María Ríos Cortés¹²¹

Resumen

La nanotecnología es una ciencia que se encarga de la formación de materiales a nivel nanoescala que pueden ser sintetizados por métodos biológicos los cuales resultan amigables con el medio ambiente, reducen costos en la síntesis de los nanomateriales y además se emplean sistemas biológicos para su síntesis ya que gracias a la combinación de biomoléculas como proteínas, aminoácidos, enzimas, polisacáridos, alcaloides, taninos, compuestos fenólicos, saponinas, terpenoides y vitaminas presentes pueden reducir y estabilizar a las nanopartículas, tal es el caso de *Bacopa procumbens* la cual es una planta rastrera perenne caracterizada por ser empleada de manera tradicional en diferentes regiones de México, como Durango, Hidalgo y Oaxaca, entre otros, para eliminación de fatiga, manchas en la piel y malaria, además de poseer compuestos activos presentes en la fase orgánica de su extracto hidroalcohólico que participan como agentes de reducción de sales metálicas, dando lugar a la formación de nanopartículas la cuales pueden ser empleadas en diversas áreas como la farmacéutica y la agricultura, entre otras.

En el caso de la agricultura, el uso adecuado de nanopartículas fomenta el crecimiento de las plantas al actuar como nanofertilizantes, además de contar con actividades antimicrobianas, lo que permite reducir el uso de pesticidas químicos.

En el presente trabajo el objetivo es evaluar nanopartículas de plata sintetizadas por el método biológico a partir de extractos vegetales de *B. procumbens* como agente desinfectante en cultivo *in vitro* de la misma especie. Debido a que los resultados no fueron favorables en cuanto al uso de nanopartículas como medio de desinfección se sometió la planta en cultivo *in vitro* a estrés por nanopartículas de plata sintetizadas por el método biológico, químico y agua estéril para realizar una inmersión de explantes de *B. procumbens*. A los resultados obtenidos se le realizaron pruebas de normalidad y heterogeneidad obteniendo un valor de $p < 0.002$ por lo tanto se rechazó la hipótesis nula la cual nos menciona que sí existen diferencias entre el modelo y la curva normal, por lo tanto, se realizó una prueba no paramétrica Wilcoxon donde el tratamiento 12 que corresponde a la fracción orgánica de *B. procumbens* tuvo resultados por encima de la media y menor variación entre las réplicas. Además, los tratamientos con nanopartículas de plata por el método químico inhibieron el crecimiento de la misma planta de *B. procumbens* en la fase de aclimatación, por otro lado, cuando se aplicó nitrato de plata los explantes sufrieron oxidación y muerte celular.

Palabras clave: nanopartículas metálicas, estrés, explantes

¹²¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: ygheno@uv.mx

Introducción

La nanotecnología es una ciencia que se encarga de la fabricación de nanomateriales a nivel nanoescala tal es el caso de las nanopartículas de plata las cuales se caracterizan por ser partículas coloidales sólidas con un tamaño de 1 a 100 nm que presentan actividad antimicrobiana y efectos anticancerígenos, con interés industrial ya que pueden ser empleadas como biosensores, sistemas de administración de fármacos, recubrimientos de dispositivos médicos y fertilizantes (Ávalos *et al.*, 2013; Assis *et al.*, 2019).

Las nanopartículas de plata cuentan con actividad antimicrobiana la cual puede ser empleada en técnicas como el cultivo *in vitro* en donde se requiere de un cultivo aséptico para así obtener cultivos de células o tejidos vegetales en condiciones controladas, con la finalidad de manipular el metabolismo secundario y propagar especies vegetales, produciendo plantas libres de patógenos, en donde las nanopartículas de plata participan como estimulantes del crecimiento de los brotes y raíces, el área de las hojas y los atributos bioquímicos como el contenido de clorofila, carbohidratos, proteínas y enzimas antioxidantes e incluso actúan como fungicidas para prevenir enfermedades causadas por hongos o como agentes para la maduración del fruto lo cual se puede aprovechar para mejorar la producción de productos de interés medicinal (Espinoza *et al.*, 2018; Munim *et al.*, 2020 Jasim *et al.*, 2020; Yan y Chen 2019).

Las nanopartículas de plata se transportan a través de los espacios intracelulares o tejidos vasculares donde penetran las paredes celulares y membranas plasmáticas de las raíces para ingresar al xilema, el cual es el vehículo para la traslación a las hojas o brotes, lo que puede provocar un incremento en la actividad metabólica celular, logrando así promover el crecimiento y rendimiento de los cultivos, provocando respuestas fisiológicas en cuanto al desarrollo de raíz, flores, frutos, además de expresiones bioquímicas como la producción de clorofila, licopeno, especies reactivas de oxígeno y enzimas como catalasas y peroxidasas (Yan y Chen, 2019; Vera-Reyes *et al.*, 2018).

Materiales y métodos

Fase 0 de la micropropagación

El material vegetal fue colectado en San Miguel Regla en el estado de Hidalgo, estos ejemplares se extrajeron con cepellón con la finalidad de propagarlos en cultivo *in vitro* en el laboratorio que se encuentra ubicado en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN), los cuales se muestran en la Figura 1, y fueron enviados para la identificación taxonómica.



Figura 1. Material vegetal de *B. procumbens*.

Fase 1: Cultivo aséptico de explantes nodales

Una vez obtenida la planta de *B. procumbens* a nivel invernadero se procedió a realizar la fase 1 de la micropropagación, donde se emplearon explantes nodales del cultivo en invernadero, los cuales se cortaron de 3 a 4 nodos apicales, éstos se colocaron en un recipiente con agua destilada y fueron lavados con jabón comercial y agua corriente, posteriormente se llevaron a una campana de flujo laminar previamente desinfectada. En primera instancia se buscó la sustitución del cultivo aséptico de *B. procumbens* propuesto por Vargas (2020) por nanopartículas sintetizadas de manera biológica por la misma planta de *B. procumbens*, por lo tanto, se realizó una inmersión de explantes vegetales de acuerdo con el Cuadro 1, utilizando

un diseño de experimentos completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Una vez concluida la inmersión de los explantes, éstos fueron sembrados en frascos con medio de cultivo Murashige & Skoog (MS) al 50%, los cuales se mantuvieron en un cuarto de cultivo a una temperatura de 22-23°C, fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad y 3500 luxes durante 28 días.

Cuadro 9 Inmersión de explantes en nanopartículas de plata para cultivo aséptico.

Tratamiento		Tiempo de inmersión (min)
Control +	Alcohol + Cloro	30 segundos y 5 minutos
Control -	Agua	5
T1A	Nanopartículas de plata 0.1 ppm	5
T2A	Nanopartículas de plata 1 ppm	5
T3A	Nanopartículas de plata 10 ppm	5
T4A	Nanopartículas de plata 100 ppm	5

También se realizó un segundo experimento (TB), con arreglo completamente al azar y 10 repeticiones, como se muestra en el Cuadro 2, iniciando con inmersión de los explantes de *B. procumbens* en hipoclorito de sodio al 15%, y empleando la concentración más alta reportada por Chávez-García *et al.* (2020), variando el tiempo de inmersión de los explantes.

Cuadro 10. Inmersión de explantes en nanopartículas de plata con hipoclorito de sodio para cultivo aséptico.

Tratamiento		Tiempo de inmersión (min)
Control -	Agua	5
Control +	Alcohol + Cloro	Alcohol 30" y Cloro 5'
T1B	Cloro + AgNP 200 ppm	10
T2B	Cloro + AgNP 200 ppm	15
T3B	Cloro + AgNP 200 ppm	20
T4B	Cloro + AgNP 200 ppm	25
T5B	Cloro + AgNP 200 ppm	30

Establecimiento de cultivo aséptico a partir de semillas

Se tomaron frutos de *B. procumbens* color café y se obtuvieron semillas, éstas se cultivaron de manera *in vitro* en medio MS llevando a cabo el protocolo de desinfección que consistió inmersiones en solución de etanol durante 1 min, hipoclorito de sodio al 2% por 5 minutos y 3 enjuagues con agua destilada estéril, y fueron incubadas en un cuarto de cultivo a una temperatura de 23°C y fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad a 3500 luxes.

Fase 2: Multiplicación de brotes

Al transcurrir 30 días de crecimiento de las plantas de *B. procumbens*, provenientes del cultivo aséptico de semillas, se estableció el experimento 3 con un diseño completamente al azar con 10 repeticiones (experimento TC), el cual consistió en realizar un corte cada 3 nodos y sumergirlo en las soluciones que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 11. Diseño de experimentos para multiplicación de planta

Tratamiento (inmersión)		Tiempo de inmersión (min)
T1C	Nanopartículas biológicas	10
T2C	Nanopartículas biológicas	20
T3C	Nanopartículas biológicas	30
T4C	Agua	10
T5C	Agua	20
T6C	Agua	30
T7C	AgNO ₃	10
T8C	AgNO ₃	20
T9C	AgNO ₃	30
T10C	Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i>	10
T11C	Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i>	20
T12C	Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i>	30
T13C	Nanopartículas químicas	10
T14C	Nanopartículas químicas	20
T15C	Nanopartículas químicas	30

Fase 3: Enraizamiento de *B. procumbens* *in vitro*

Para la fase de aclimatación es necesario emplear un medio de cultivo con un aumento de auxinas para la inducción de las raíces; Sin embargo, en el caso de *B. procumbens* se llevó a cabo el proceso de enraizamiento al mismo tiempo que el proceso de multiplicación de brotes debido a la cantidad de auxinas que la planta produce (Quintero *et al.*, 2003).

Fase 4 Aclimatación de *B. procumbens*

Se llevó a cabo una reducción gradual de la humedad relativa, según el método reportado por Ventura *et al.* (2003) empleando solución hidropónica cubierta por una bolsa de polietileno transparente que fue asperjada cada 3 días de acuerdo con los tratamientos mencionados en el Cuadro 3.

Caracterización fisiológica de explantes

Se realizaron mediciones de altura de explante, longitud de raíz, número de brotes generados, número de hojas y grosor de tallo mediante una regla de 30 cm y un vernier de la marca Insize de 0 a 150 mm.

Desarrollo de *B. procumbens*

Durante el desarrollo de la planta de *B. procumbens*, se realizaron medidas de cuantificación de clorofila mediante la técnica descrita por Murube (2014), contenido fenólico total mediante el reactivo Folin y cuantificación de antioxidantes mediante la técnica DPPH.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas, empleando la prueba de Shapiro Wilk. Para normalidad se utilizó el procedimiento PROC UNIVARIATE, y para conocer la homogeneidad se realizó la prueba de varianzas de Levene con el procedimiento PROC GLM, mediante el análisis de una vía. Con las variables que si cumplieron con estos supuestos se realizó un análisis de varianza convencional y una comparación múltiple de medias, aplicando la prueba de Tukey ($p=0.05$). Este análisis de varianza se realizó aplicando el procedimiento GLM. Con las variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y

homocedasticidad se realizó un análisis no paramétrico aplicando la prueba de Kruskal Wallis que nos permite comparar a más de dos poblaciones.

Resultados y discusión

Fase 0 de la micropropagación

Las plantas mantenidas en el invernadero se encuentran sanas y con características similares a cuando fueron colectadas. Esta población fue identificada taxonómicamente por la bióloga Edith López Villafranco con número de registro 1792.

Fase 1: Cultivo aséptico de explantes nodales

Se realizó la asepsia de los explantes de *B. procumbens* siguiendo el diseño de experimentos mostrado en el Cuadro 1 del apartado de metodología, sin embargo, en el presente trabajo no se logró la asepsia de los explantes como se muestra en la Figura 2 en donde se puede notar contaminación, la cual probablemente se deba a que la actividad antimicrobiana únicamente afecte a ciertos microorganismos.



Figura 2. Cultivo *in vitro* contaminado por hongos.

En el siguiente experimento (TB) donde se realizó la combinación de hipoclorito de sodio con nanopartículas de plata como se muestra en el Cuadro 2, se encontró el 20% de contaminación, lo cual comparado con Chávez *et al.* (2020) donde empleando nanopartículas de plata a una concentración de 50 y 100 ppm lograron obtener el 91.67% de asepsia, el porcentaje de contaminación obtenido en el presente trabajo aún es elevado, lo que da un

indicio de que la acción de las nanopartículas puede ser contra microorganismos específicos y no contra todos los microorganismos.

Germinación *in vitro* de *B. procumbens*

Debido a que los resultados de la asepsia a partir de nanopartículas no fue favorable, se optó por la germinación de semillas de *B. procumbens* de manera *in vitro* mediante el protocolo de desinfección indicado en la metodología, el cual resultó eficiente hasta en un 100% de asepsia en las semillas y un porcentaje de germinación del 80%.



Figura 3. Germinación *in vitro* de *B. procumbens*.

Fase 2: Multiplicación de brotes

Para la multiplicación de brotes, los explantes fueron sumergidos en soluciones como se muestra en el Cuadro 3 del apartado de metodología, debido a que éstos provenían de cultivo *in vitro* no se tuvo inconvenientes con la esterilidad de los mismos.

Fase 3: Enraizamiento de *B. procumbens in vitro*

Debido a que *B. procumbens* produce la cantidad suficiente de auxinas para la formación de raíces, no se requirió un medio suplementado.

Fase 4: Aclimatación de *B. procumbens*

Al finalizar los 30 días de la fase de multiplicación, se llevó a cabo la fase de aclimatación, obteniéndose 80% de explantes aclimatados de *B. procumbens* en solución hidropónica como se muestra en la Figura 4. Cabe resaltar que los tratamientos 7, 8 y 9 que corresponden a una

inmersión de explantes en nitrato de plata, no pasaron a la fase de aclimatación, debido a que sufrieron oxidación, porque la plata es un metal pesado que tiende a acumularse en algunas plantas y causa formación de radicales hidroxilos que pueden difundirse a través de la membrana a diferentes compartimientos celulares, provocado inactivación de enzimas que participan en el ciclo de Calvin y son capaces de oxidar cualquier biomolécula.



Figura 4. Aclimatación de *B. procumbens*.

Caracterización fisiológica de explantes

Para la caracterización de los explantes, en el cuanto al número de hojas, longitud de raíz, grosor de tallo y altura de la planta, los tratamientos que corresponden a la inmersión en nanopartículas biológicas, nanopartículas químicas y nitrato de plata tuvieron un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de la planta, como se muestra en la Figura 5; mientras que con la inmersión en fracción orgánica a mayor tiempo (30 minutos) se encontraron resultados por encima de la mediana, es decir, que la fracción orgánica de *B. procumbens* puede actuar como estimulante del crecimiento vegetal dependiendo de la especie, el tipo de producto, la dosis, la concentración, el tiempo y el método de aplicación.

Los mejores resultados en cuanto al crecimiento de *B. procumbens* se obtuvieron con la aplicación de fracción orgánica de la misma planta, esto se debe a que ésta funciona como estimulante de procesos fisiológicos que promueven la adquisición y utilización de nutrientes, mejorando el desarrollo de raíz, brotes y rendimiento.



Figura 5. Comparación de *B. procumbens* con inmersión en fracción orgánica y nanopartículas de plata sintetizadas de manera química.

Desarrollo de *B. procumbens*

La clorofila es un pigmento verde que se encuentra presente en plantas y permite la conversión de energía luminosa en energía química, sin embargo, hay factores que pueden beneficiar o perjudicar la productividad de la planta como pueden ser calidad del agua, metales, sales entre otros. En el caso del presente trabajo, la fracción orgánica de la misma planta benefició la producción de clorofila A y clorofila B (Figura 6) por la disponibilidad de macro y micronutrientes que se encuentran presentes en los extractos vegetales.

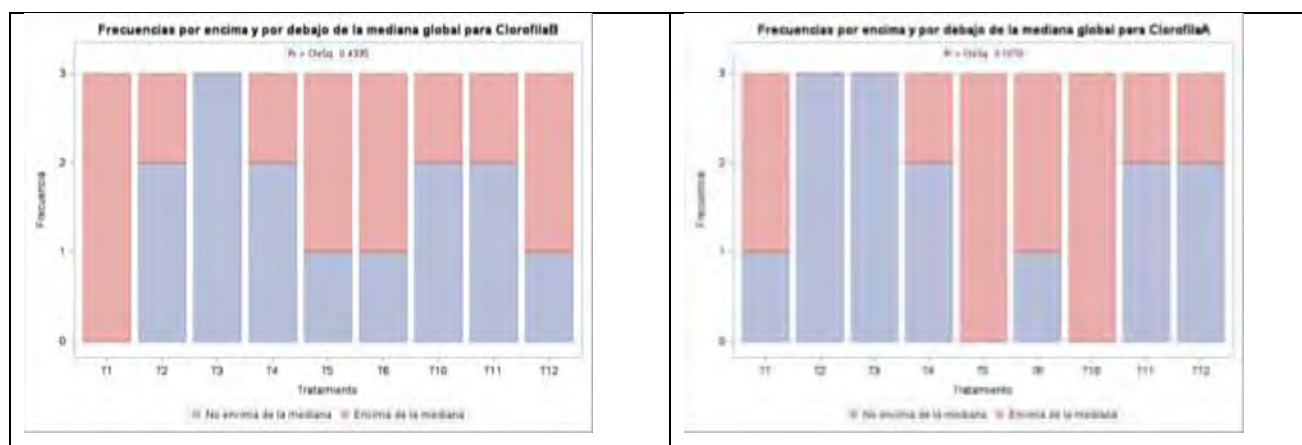


Figura 6. Cuantificación de Clorofila A y B de acuerdo con los tratamientos del diseño de experimentos.

Los fenoles son metabolitos secundarios que se encuentran relacionados con procesos como la aceleración de polinización, colorantes para camuflaje en defensa contra herbívoros,

actividad antibacteriana y anti fúngica y defensa de las plantas, además de quelatos de metales pesados. Mediante estrés provocado por nanopartículas de plata, se puede inducir una mayor producción de compuestos fenólicos. En este estudio, no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la síntesis de fenoles totales (Cuadro 4). Esto puede ser debido a que el estrés depende del metal al que se expone, así como a la concentración y el tiempo de exposición.

Cuadro 12. Cuantificación de fenoles totales.

Tratamiento	Media (mg eq ácido gálico/mL)
Nanopartículas por <i>B. procumbens</i> 10 min	2.4762 a
Nanopartículas por <i>B. procumbens</i> 20 min	2.8513 a
Nanopartículas por <i>B. procumbens</i> 30 min	2.6917 a
Agua 10 min	2.8112 a
Agua 20 min	2.6877 a
Agua 30 min	2.2674 a
Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i> 10 min	2.1842 a
Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i> 20 min	2.1434 a
Fracción orgánica de <i>B. procumbens</i> 30 min	3.1622 a

Conclusiones

Las nanopartículas sintetizadas de manera biológica no fueron eficientes como agente desinfectante para el cultivo *in vitro* ya que éstas no fueron evaluadas de manera biológica y al emplearlas como agente desinfectante, posiblemente controlen únicamente bacterias y no hongos. En este estudio no se determinó contra qué microorganismos puedan ser efectivas. El nitrato de plata provocó oxidación de explantes, probablemente por la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno por la planta como medio de defensa, provocando que no resistieran la fase de multiplicación de brotes.

Las nanopartículas de plata sintetizadas de manera química, al no tener un agente estabilizante y tener los iones de plata expuestos, provocaron la oxidación de los explantes de *B. procumbens* durante la fase de aclimatación. La fracción orgánica muestra efectos bioestimulantes que promueven el crecimiento y desarrollo de *B. procumbens*.

Literatura Citada

- Assis, M., T. Robeldo, C. Foggi, A. Kubo, G. Mínguez, E. Condocillo, H. Beltran, R. Torres, J. Andrés, M. Oliva, C. Vergani, P. Barbugli, E. Camargo, R. Borra y E. Longo. 2019. Ag Nanoparticles/ α -Ag₂WO₄ Composite Formed by Electron Beam and Femtosecond Irradiation as Potent Antifungal and Antitumor Agents. Scientific Reports.
- Ávalos, A., A. I. Haza, D. Mateo y P. Morales. 2013. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. Revista complutense de Ciencias Veterinarias 7(2):1-23. DOI: 10.5209 / rev_RCCV.2013.v7.n2.43408.
- Chávez-García, J., M. Andrade-Rodríguez, J. Bello-Bello, M. Rueda-Barrientos, Guillén-Sánchez y M. Sainz-Aispuro. 2020. Nanopartículas de plata en el establecimiento *in vitro* de ápices de gladiolo. Revista Fitotecnia México 43(4 A):557-564.
- Espinosa-Leal, C. A., C. A. Puente-Garza y S. García-Lara. 2018. *In vitro* plant tissue culture: means for production of biological active compounds. Planta 248(1):1–18. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1>.
- Jasim, B., R. Thomas, J. Mathew y E. Radhakrishnan. 2020. Plant growth and diosgenin enhancement effect of silver nanoparticles in Fenegreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Saudi Pharmaceutical Journal 25(3):443-447. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.09.012>.

- Munim, B., Z. Jazar y N. Hasan. 2020. Trends in the use of tissue culture, applications and future aspects. *International journal of plant biology* 11(1):2-14. <https://doi.org/10.4081/pb.2020.8385>.
- Murube, M. (2014). Estrés oxidativo y respuestas fisiológicas a la acumulación de metales pesados en *Betula celtibérica* micorrizada y no micorrizada cultivada en un suelo contaminado. Tesis de maestría. Universidad de Oviedo, Asturias, España.
- Quintero, I., J. Polo, A. Jarma y A. Espitia. 2003. Enraizamiento *in vitro* de *Dioscoreas sp.* Revista Colombiana de Biotecnología Vol. V (2): 51-56.
- Ventura Z., E., G. Salcedo M., A. N. Hernández L., B. Martínez B., G. Trejo T., A. De Jesús, S., M. Velázquez V. and A. Jiménez A. 2003. *In vitro* regeneration and acclimatization of plants of tumeric (*Curcuma longa L.*) in a hydroponic system. *Biotechnol. Appl.* 20: 25-31.
- Vera-Reyes, I., E. Vázquez-Núñez, R. H. Lira-Saldivar, B. Méndez-Argüello. 2018. Efectos de las nanopartículas sobre la germinación, el crecimiento y el desarrollo de cultivos vegetales. *In: López-Valdez, F y F. Fernández-Luqueño. (ed.) Nanobiotecnología agrícola.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96719-6_5.
- Yan, A. y Z. Chen. 2019. Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences* 20(5):1003. Doi: 10.3390 / ijms20051003.

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA A PARTIR DE EXTRACTOS VEGETALES DE *Bacopa procumbens*

Maleni Nohemí Hernández Díaz¹²², Valentín López Goyou¹²² y Ada María Ríos Cortés¹²²

Resumen

Bacopa procumbens es una planta rastrera perenne caracterizada por ser empleada de manera tradicional en diferentes regiones de México, como Durango, Hidalgo, Oaxaca entre otros para eliminación de fatiga, manchas en la piel y malaria, además de poseer compuestos activos presentes en la fase orgánica de su extrato hidroalcohólico que participan como agentes de reducción de sales metálicas, dando lugar a la formación de nanopartículas sintetizadas mediante tecnologías amigables con el medio ambiente en comparación con lo métodos tradicionales de síntesis de nanopartículas los cuales resultan costosos debido al empleo de catalizadores que requieren estricto control de condiciones y generan bajo rendimiento. Por lo que el objetivo del presente trabajo es el empleo de *Bacopa procumbens* como agente reductor de nanopartículas de plata y estabilizador de las mismas, teniendo como ventajas menores gastos energéticos, económicos y sobre todo amigables con el medio ambiente. Debido a esto, se emplearon concentraciones extracto: sal correspondiente a 3:7, 5:5 y 7:3 sintetizadas bajo las condiciones de 121°C, 15 psi de presión durante 15 minutos. Mediante espectroscopía UV-Vis se pudo observar un plasmón superficial de mayor altura con una absorción aproximada de 430 nm con la relación de 3:7 extracto:sal que indica la presencia de nanopartículas de plata, además de corroborar por espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) la estabilidad y recubrimiento de las mismas mediante la presencia de grupos funcionales como hidroxilos, alcanos, alquenos, aminas primarias y secundarias, grupos amino aromáticos, alcoholes y fenoles provenientes de los metabolitos secundarios de *B. procumbens*, a manera de comparación se sintetizaron nanopartículas de plata mediante el método químico, vía citrato reducción, el cual consiste en el empleo de nitrato de plata y citrato de sodio anhidro en donde se demostró que las nanopartículas interactúan entre ellas provocando un cambio en forma y tamaño y a su vez un cambio de coloración en la solución, que en comparación con las nanopartículas de plata sintetizadas de manera biológica por *B. procumbens*, éstas no presentaron modificación en el plasmón superficial y en la coloración de la solución al transcurso del tiempo.

Palabras clave: nanopartículas metálicas, metabolitos secundarios, método biológico

¹²² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: ygheno@uv.mx

Introducción

La nanotecnología es una ciencia que se encarga de la fabricación de nanomateriales a nivel nanoescala tal es el caso de las nanopartículas de plata las cuales se caracterizan por ser partículas coloidales sólidas con un tamaño de 1 a 100 nm que presentan actividad antimicrobiana y efectos anticancerígenos proporcionándoles interés industrial ya que pueden ser empleadas como biosensores, sistemas de administración de fármacos, recubrimientos de dispositivos médicos y antimicrobianos, sin embargo, la síntesis actual de estos nanomateriales es mediante métodos químicos o físicos que involucran altos costos y problemas para el medio ambiente, por lo que se ha buscado la sustitución de estos métodos por una biosíntesis, la cual involucra el uso de métodos biológicos como bacterias, hongos, levaduras e incluso plantas como alternativa a los métodos clásicos dando como resultados una disminución en los costos de elaboración y en la contaminación ambiental en comparación con los métodos clásicos, un ejemplo de sistema biológico que permite la síntesis de nanopartículas de plata son los extractos vegetales, los cuales requieren pocos cuidados debido a que poseen biomoléculas como proteínas, polisacáridos, alcaloides, taninos, fenoles, saponinas, terpenoides, entre otros, con potencial redox y permiten la estabilidad de las nanopartículas dando lugar a la eliminación o sustitución de solventes orgánicos, agentes reductores y/o estabilizantes, el uso de energía y equipos sofisticados (Santos *et al.*, 2017; Guilger y de Lima, 2019; Ávalos *et al.*, 2013; Hanan y Mondragón, 2009; Sagar *et al.*, 2022). Un ejemplo de plantas que pueden ser empleadas para la síntesis de nanopartículas de plata por el método biológico es *B. procumbens* la cual es una planta rastrera originaria de América que es empleada en diferentes regiones de la República Mexicana para eliminar la fatiga, antimalárico, aplicaciones oftálmicas, eliminación de manchas y efecto cicatrizante, la cual posee metabolitos secundarios en su extracto hidroalcohólico tales como procumgastrodinas A, B y C y saponinas que participan como agentes reductores de sales metálicas dando lugar a la formación de nanopartículas metálicas, que pueden ser empleadas en diferentes áreas como la medicina, industria alimentaria y la agricultura (Sagar *et al.*, 2022). Debido a que *B. procumbens* posee metabolitos secundarios con actividad reductora efectivos para sintetizar nanopartículas de algunos metales como la plata y que estos metabolitos secundarios actuaran como agente de recubrimiento y estabilizante de las nanopartículas de

plata, el objetivo de este trabajo es la comparación de la síntesis de nanopartículas de plata mediante el método biológico a partir del extracto hidroalcohólico de *B. procumbens* y el método químico mediante citrato-reducción.

Material y métodos

Área de estudio

El material vegetal fue colectado en San Miguel Regla en el estado de Hidalgo, estos ejemplares se extrajeron con cepellón con la finalidad de propagarlos en el invernadero que se encuentra ubicado en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN), los cuales se muestran en la Figura 1, y fueron enviados para la identificación taxonómica.



Figura 1. Material vegetal de *B. procumbens*.

Obtención del extracto

Para la síntesis de nanopartículas de plata se empleó material vegetal, éste se obtuvo de plantas de invernadero, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente en sombra, una vez obtenido el material seco, éste se molió para obtener un polvo uniforme. Una vez obtenido el polvo, se colocó en una columna de reflujo durante 4 h a 75°C, con agua y etanol como disolventes en una proporción 50:50 y con una relación de 40 g de polvo por 600 mL de disolvente. Al finalizar las 4 h se dejó reposar la solución durante 24 h para separar el

sobrenadante por decantación, el cual se almacenó en un frasco ámbar de vidrio, este procedimiento se realizó 4 veces en total. El extracto final fue concentrado mediante un rotavapor recuperando a 45°C el etanol y a 80°C el agua, por último, el extracto se liofilizó. Al producto de la liofilización se tomaron 5 g y se diluyeron en acetato de etilo:agua 50:50 para obtener la fase orgánica presente en el acetato de etilo, en donde se encuentran los metabolitos secundarios de interés (procumgastrodininas, arbutinas y saponinas) que pueden ser empleadas en la síntesis de nanopartículas.

Síntesis biológica de nanopartículas de plata a partir de *B. procumbens*

La fase orgánica fue empleada como agente reductores de sales metálicas, mediante el uso de una sal precursora Nitrato de Plata (AgNO_3) con una concentración de 1 mM y utilizando soluciones al 1% del extracto en agua desionizada. Para probar la capacidad de síntesis de nanopartículas se probaron diversas relaciones del extracto y la sal metálica 3:7, 5:5 y 7:3, el proceso de síntesis fue acelerado mediante el empleo de temperatura a 121°C y 15 psi de presión durante 15 minutos. Por último, se realizaron pruebas de síntesis mediante un análisis óptico de nanopartículas mediante un barrido en UV-Visible de 190-900 nm y FTIR de 4400 a 400/cm.

Síntesis química de nanopartículas de plata por el método citrato-reducción

Para llevar a cabo la síntesis de nanopartículas de plata se preparó una solución con concentración de 1 mM de AgNO_3 en agua desionizada, la cual se agitó a 200 rpm y calentó a 95°C, una vez estabilizada la temperatura se adicionaron 700 μL de citrato de sodio anhidro al 10% (p/v) y se dejó reaccionar la solución por 30 minutos.

Análisis UV-Visible de Nanopartículas de plata

La espectrofotometría Uv-Visible permite reconocer la presencia o ausencia de nanopartículas, esto debido a la presencia de un plasmón superficial alrededor de los 430 nm en el caso de las nanopartículas de plata, el cual depende de factores como el tamaño, la forma y polidispersión de las partículas, el medio circundante y las sustancias adsorbidas en sus superficies.

La identificación de las nanopartículas de plata se realizó mediante un espectrofotómetro de UV-visible marca Thermo Scientific, modelo 600, las muestras se analizaron en celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico, con mediciones de 190 a 900 nm con la finalidad de observar el plasmón de superficie característico a 430 nm.

Análisis FTIR de nanopartículas de plata

El análisis FTIR para la caracterización de las nanopartículas metálicas se llevó a cabo con la finalidad de detectar especies químicas enlazadas a la superficie de las nanopartículas ya que esta técnica es sensible a la presencia de grupos polares como O-H, C=O, C-O y N-H. Esta caracterización se llevó a cabo por espectroscopía FTIR con un equipo modelo Vertex 70 de la marca Bruker.

Caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por el método biológico

Para la caracterización de nanopartículas sintetizadas de manera biológica se empleó la microscopía electrónica de transmisión (TEM) que proporciona forma y tamaño de las nanopartículas sintetizadas a partir de la fase orgánica del extracto hidroalcohólico de la planta de *B. procumbens*.

Resultados y discusión

Obtención del extracto

El extracto obtenido procedente de la extracción alcohol:agua fue un extracto color marrón, mientras que de la bipartición es decir, de la separación de la fase orgánica de *B. procumbens*, se obtuvo una resina color marrón.

Síntesis biológica de nanopartículas de plata a partir de *B. procumbens*

En primera instancia, se identificaron las nanopartículas de manera visual mediante la identificación de un cambio de coloración de marrón claro a marrón oscuro, que indica la formación de nanopartículas como se puede observar en la Figura 2, donde las nanopartículas fueron sintetizadas con la aplicación de presión y temperatura.



Figura 2. Cambio de coloración de la solución por presencia de Nanopartículas de plata.

Síntesis química de nanopartículas de plata por el método citrato-reducción

La síntesis de nanopartículas se llevó a cabo por el método citrato reducción empleando como agente reductor citrato de sodio anhidro, ya que está reportado en la literatura como uno de los mejores agentes reductores (Corzo, 2012).

De la misma manera que con las nanopartículas sintetizadas por el método biológico, se observó un cambio en la coloración de la solución lo que nos indica presencia de nanopartículas.

Análisis UV-Visible de Nanopartículas de plata

Se llevaron a cabo lecturas por espectroscopía UV-Vis, como método de comprobación de presencia o ausencia de AgNP, así como también conocer las variaciones en función de la concentración de extracto:sal, como se muestra en la Figura 3. La síntesis de nanopartículas a temperatura ambiente se logra de manera lenta en comparación con la implementación de temperatura y presión en donde la síntesis se da de manera más rápida. El plasmón superficial bajo las condiciones de temperatura y presión muestra similitud en las 3 concentraciones diferentes extracto:sal 7:3, 5:5 y 3:7, sin embargo, con la concentración de 3:7 extracto:sal, se obtiene un plasmón más definido lo que puede dar un indicio de que las nanopartículas de plata son mayormente homogéneas en cuanto al tamaño y forma, logrando de esta manera nanomateriales en un menor tiempo que lo reportado por Abdullah *et al.* (2021) en donde la síntesis de nanomateriales de plata se llevó a cabo a 60°C en agitación durante 45 min mediante la implementación de extractos de algas.

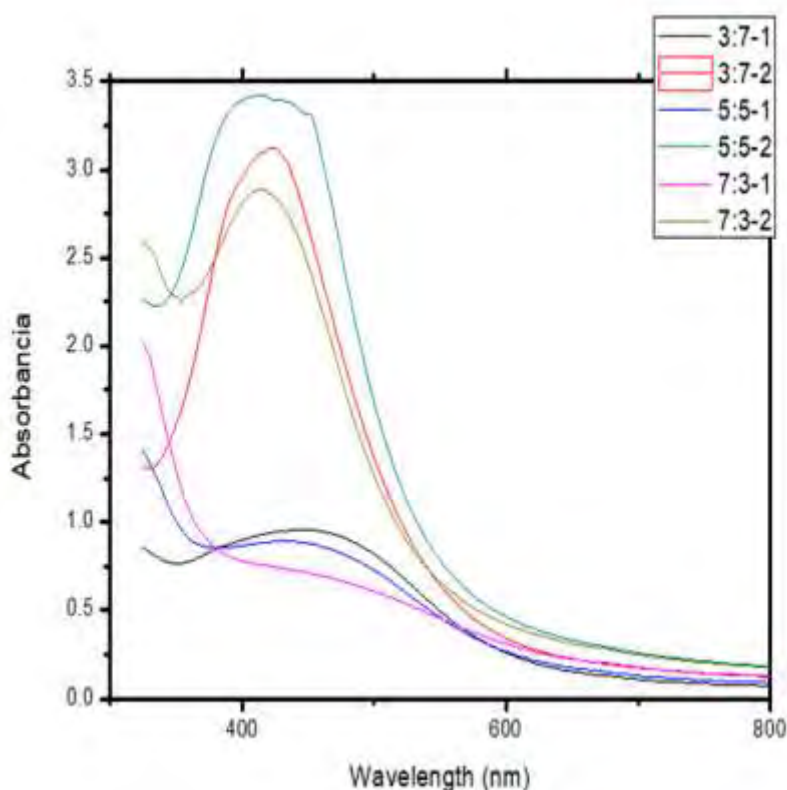


Figura 3. Análisis UV-Vis de síntesis de nanopartículas de plata 3:7-1 FO:sal-condiciones ambientales 3:7-2 FO:sal-temperatura y presión, 5:5-1) FO:sal-condiciones ambientales, 5:5-2 Fo:sal-temperatura y presión, 7:3-1) Fo:Sal-condiciones ambientales, 7:3-2) FO:sal-temperatura y presión.

Una vez identificadas las condiciones ideales para la síntesis de nanopartículas de plata por el método biológico (3:7 FO:Sal bajo condiciones de temperatura y presión) se llevaron a cabo lecturas por espectroscopía UV-Vis, la primera lectura (plasmón superficial de color rojo en la Figura 4) se llevó a cabo el día de la síntesis de las nanopartículas mientras que la segunda lectura se llevó a cabo posterior a 2 meses de síntesis (plasmón superficial de color negro en la Figura 4) con la finalidad de conocer la estabilidad de las nanopartículas, en donde se pudo comprobar la estabilidad de las nanopartículas después de 2 meses de síntesis debido a que se encuentra un plasmón de superficie más definido a diferencia de la primera lectura, lo cual da un indicio de que posiblemente cuando se realizó la primera lectura la reacción de reducción

no había concluido y por lo tanto en la segunda lectura obtenemos una mayor estabilidad en las nanopartículas.

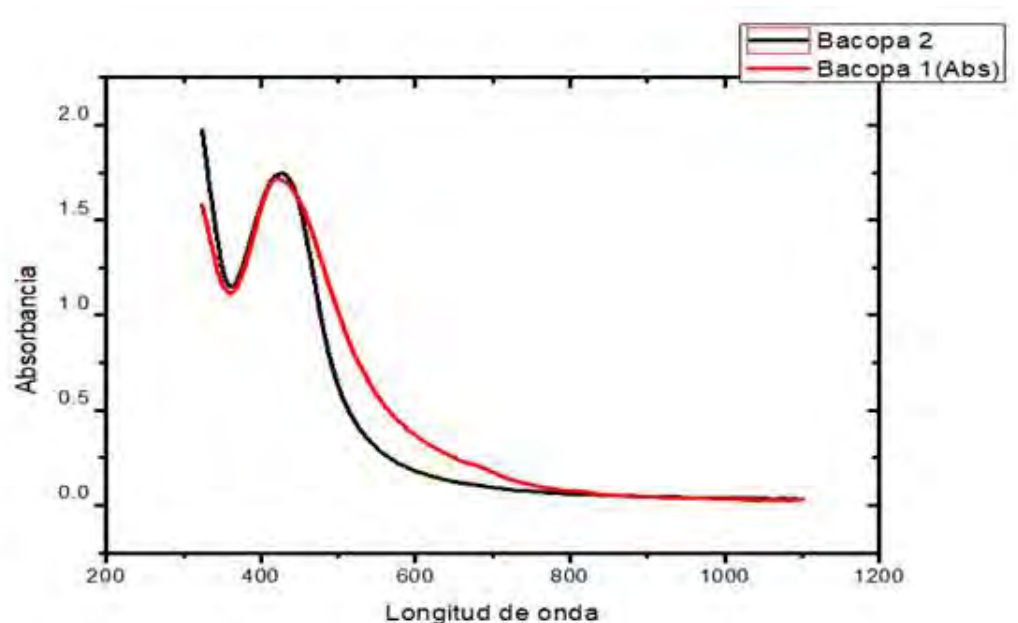


Figura 4. Síntesis biológica de nanopartículas de plata. Bacopa 1: Primera lectura en UV-Vis, Bacopa 2: Segunda lectura realizada 2 meses posterior a la síntesis.

En cuanto a la síntesis química por el método de citrato-reducción, en la Figura 5 podemos observar presencia de plasmón superficial, lo que indica la presencia de las nanopartículas de plata; sin embargo, de la misma manera, se realizaron mediciones por espectroscopía UV-Vis en 2 tiempos, la primera lectura se realizó el día de la síntesis de nanopartículas mientras que la segunda lectura se realizó 8 días después de la síntesis, y se puede observar un plasmón diferente al encontrado el primer día de lectura, lo que indica un cambio en el tamaño y forma de las nanopartículas, en comparación con las nanopartículas sintetizadas por el método biológico las cuales, transcurridos 2 meses de almacenamientos, presentaban la estabilidad que las nanopartículas químicas no presentaban, esto se debe a que por el método químico no se empleó un agente estabilizante lo que permitió que las nanopartículas de plata continuaran interactuando entre ellas y aglomerándose, provocando un cambio de tamaño y forma.

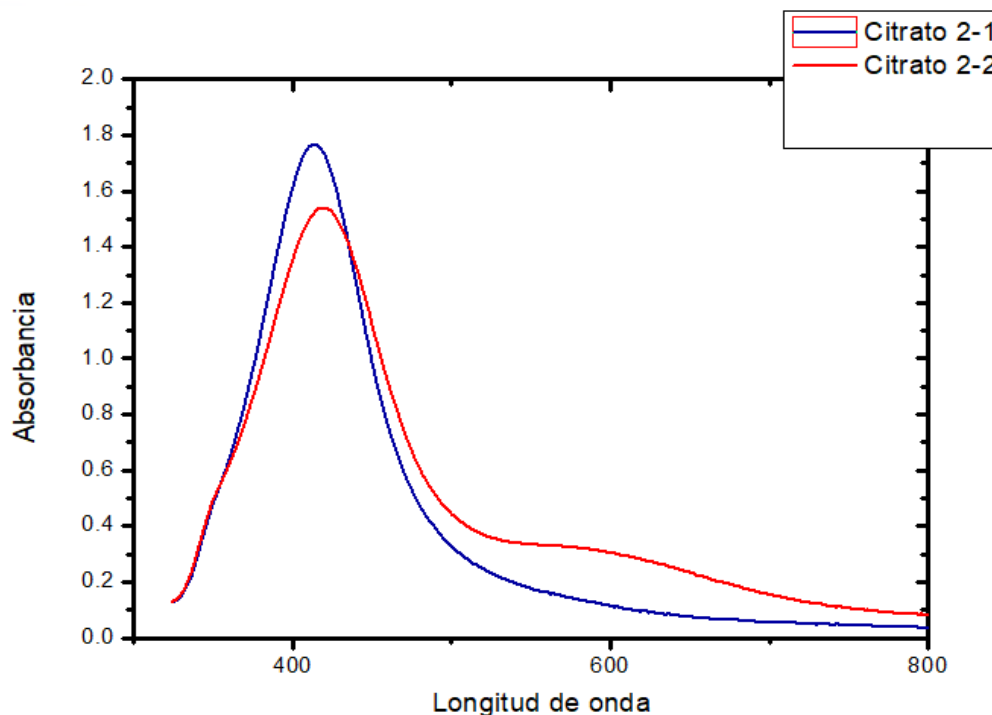


Figura 5. Síntesis de nanopartículas por el método citrato reducción donde: Citrato 2-1 (primera lectura) y Citrato 2-2 (segunda lectura).

Análisis FTIR de nanopartículas de plata

Para determinar la presencia de metabolitos secundarios en las nanopartículas de plata se lleva a cabo una lectura por FTIR (Figura 6), donde se pudo observar la presencia de grupos funcionales tales como hidroxilos, alcanos, alquenos, grupos aromáticos, alcoholes y fenoles coincidiendo de esta manera con lo reportado por Velsankar *et al.* (2022) donde demostraron que los fitoquímicos reportados se encontraban adherido a las nanopartículas actuando como agentes de recubrimiento y participando como agentes estabilizantes evitando la aglomeración y precipitación de las nanopartículas.



Figura 6. Análisis FTIR de nanopartículas sintetizadas por el método biológico.

Caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por el método biológico

Para la caracterización de las nanopartículas sintetizadas por el método biológico se empleó la técnica de microscopía de transmisión electrónica (TEM), la cual es utilizada para determinar el tamaño y distribución de tamaños de las nanopartículas, donde obtuvimos nanopartículas de aproximadamente 20 nm y de morfología cuasi-esférica como se muestra en la Figura 7.

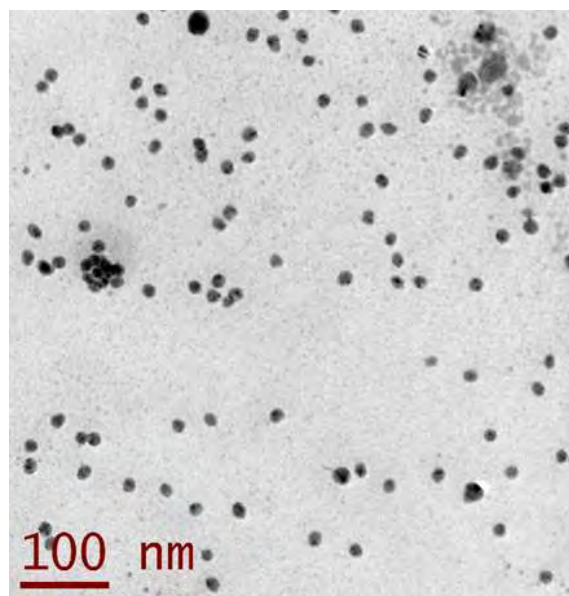


Figura 7. Micrografía TEM de nanopartículas de plata obtenidas por el método biológico.

Conclusiones

Con la síntesis de nanopartículas de plata por el método biológico se obtuvo mayor homogeneidad de tamaño y forma con las condiciones de 3 partes de la fracción orgánica de *Bacopa procumbens* y 7 partes del nitrato de plata 1 mM, dando como resultado nanopartículas de tamaño promedio de 20 nm. Además del tamaño característico de las nanopartículas, mediante el análisis FTIR se demostró la presencia de grupos funcionales como hidroxilos, alcanos, alquenos, grupos aromáticos, alcoholes y fenoles que se encuentran adheridos a la superficie de las nanopartículas y que son procedentes de los metabolitos secundarios presentes en la fase orgánica de *B. procumbens* y que actúan como agentes reductores formadores de las nanopartículas de plata y como agentes estabilizantes que evitan la aglomeración y precipitación de las nanopartículas, lo cual fue comprobado mediante espectroscopía UV-Vis transcurridos 2 meses de síntesis por el método biológico, dando como resultado un plasmón superficial similar a la primera lectura realizada, mientras que las nanopartículas sintetizadas por el método químico no presentaron la estabilidad en el plasmón superficial debido a la ausencia de un agente estabilizante, lo cual se comprobó con lectura por espectroscopía UV-Vis mediante el movimiento del plasmón superficial.

Literatura citada

- Abdullah, A., N. Al-Radadi, T. Hussain, S. Faisal, and S. Raza. 2022. Novel biosynthesis, characterization and bio-catalytic potential of green algae (*Spirogyra hyaline*) mediated silver nanomaterials. Saudi Journal of Biological Sciences 29(1):411-419.
- Ávalos, A., A. I. Haza, D. Mateo y P. Morales. 2013. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. Revista complutense de Ciencias Veterinarias. 7(2):1-23. DOI: 10.5209 / rev_RCCV.2013.v7.n2.43408.
- Corzo, L. 2012. Síntesis de nanopartículas de oro obtenidas por reducción de H[AuCl₄]. Revista de la Sociedad Química del Perú 78(2):79-90.

- Guilger, M. y R. de Lima. 2019. Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Fungi: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7:287. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00287>.
- Hanan, A., y J. Mondragón. 2009. Malezas de México. [Http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/scrophulariaceae/bacopa-procumbens/fichas/ficha.htm](http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/scrophulariaceae/bacopa-procumbens/fichas/ficha.htm).
- Sagar, A., B. Bapusaheb, S. Chaudhari, C. Shshilkumar, S. Manisha, K. Vikas, G. Manohar y S. Shirish. 2022. A review on biosynthesis and applications of various nanoparticles using extracts of medicinal plant. *Tribulus terrestris*. *Materials today: Proceedings*. 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.550>.
- Santos, A., C. Troncoso, C. Lamilla, V. Llanquinao, M. Pavez y L. Barrientos. 2017. Nanopartículas Sintetizadas por Bacterias Antárticas y sus Posibles Mecanismos de Síntesis. *International Journal of Morphology*. 31(5):26-33. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100005>.
- Velsankar, k., A. Venkatesan, P. Muthumari, S. Suganya, S. Mohandoss and S. Sudhahar. 2022. Green inspired synthesis of ZnO nanoparticles and its characterizations with biofilm, antioxidant, ani-inflammatory, and anti-diabetic activities. *Journal of Molecular Structure* 1255 (6): 132420. DOI:10.1016/j.molstruc.2022.132420

EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE *Bacopa procumbens* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Aneli Suleyma Román Román¹²³, Aarón Comunidad Villa¹²³, Marco Vinicio Alemán Pérez¹²⁴,
Ada María Ríos Cortés¹²⁴ y Minerva Rosas Morales^{124*}

Resumen

México cuenta con una gran riqueza de plantas de uso medicinal que han sido parte de la cultura y la historia del país durante milenios; en la actualidad muchas comunidades indígenas continúan utilizando y preservando este conocimiento ancestral. Las plantas medicinales han sido la base para el desarrollo de nuevos fármacos, a partir de productos naturales; tal es el caso de la planta *Bacopa procumbens*; una planta silvestre que ha sido utilizada en la medicina tradicional para aliviar diferentes padecimientos y enfermedades como la fatiga, cicatrización de heridas, y manchas en la piel. Por lo mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo fue evaluar la propagación y crecimiento vegetal de metatera (*Bacopa procumbens*) bajo condiciones de invernadero en sistema hidropónico y semi-hidropónico. Se usó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: Hidroponía control (agua), Hidroponía con solución nutritiva, Semi-hidroponía control (agua), Semi-hidroponía con solución nutritiva, cada tratamiento con diez repeticiones. Para la propagación vegetativa de *Bacopa procumbens*, se colocaron esquejes en espuma vegetativa. Una vez que generaron raíz se procedió a realizar el cultivo hidropónico mediante el sistema raíz flotante y semi-hidropónico (Tezontle) de la planta. Para preparar la solución nutritiva se ocuparon 200 g de macro (A) y 130 g de micronutrientes (B). Para montar los tratamientos se colocaron 10 plántulas por cada tratamiento, y se registraron las variables de largo del tallo, largo de raíz, número de nodos, número de brotes y floración, y los diferentes parámetros que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta como el pH, EC, humedad, temperatura, luminosidad (luxes x 100), durante un periodo de 60 días. Los resultados mostraron que los parámetros son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de la planta pues debido a la temperatura por arriba de los 28° la planta acelera su crecimiento y la luz interviene en el crecimiento de la planta. De acuerdo con los datos procesados en el programa ORIGINPRO® 2023 se observó que el T2 es el mejor sistema para el crecimiento y desarrollo de *Bacopa procumbens*.

Palabras clave: hidroponía, semi-hidroponía, solución nutritiva

¹²³ Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Puebla.

¹²⁴ CIBA-IPN Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada unidad Tlaxcala. *Autor de correspondencia: mrosasmo@ipn.mx

Introducción

México es uno de los países que cuenta con gran riqueza de plantas de uso medicinal, las cuales han sido parte integral de la cultura y la historia del país durante milenios. Por lo tanto, en la actualidad muchas comunidades indígenas continúan utilizando y preservando este conocimiento ancestral. Por otro lado, la medicina tradicional es considerada como la suma de conocimientos que se ha llevado a cabo mediante prácticas, creencias y experiencias de pobladores de diferentes culturas, utilizadas para prevenir o tratar enfermedades (CONABIO, 2020).

En la actualidad, en el desarrollo científico ha resurgido el interés por las plantas medicinales que tienen actividad biológica para el desarrollo de nuevos fármacos, a partir de productos naturales. Sin embargo, la mayoría de estas especies se encuentran de manera silvestre, las cuales han logrado sobrevivir gracias a su capacidad para la producción de diferentes compuestos que las protegen de distintos factores abióticos, como los metabolitos secundarios, los cuales son compuestos químicos que realizan las células de los organismos para sintetizar sustancias a partir de excedentes de metabolismo primario (García y Carril, 2009).

Como es el caso de *Bacopa procumbens* que se encuentra ampliamente distribuida en el continente americano, conocida comúnmente como metatera o esperanza, utilizada en la medicina tradicional mexicana principalmente contra algunos padecimientos como la fatiga, la malaria, desordenes biliares, contra la anemia, manchas en la piel, entre otras. Por otra parte, se han realizado estudios que han demostrado científicamente sus propiedades curativas; como cicatrizante y propiedades antibacterianas, como el extracto acuetanólico de la planta que contiene algunos metabolitos que estimulan los fibroblastos de ratón en las primeras fases de la cicatrización (Hidalgo, 2010). Hernández, (2017), aisló componentes presentes en el extracto hidroalcohólico *Bacopa procumbens* que permitió la rápida identificación de los compuestos que presentan actividad antimicrobiana.

Por otra parte, la hidroponía se utiliza para la producción de cultivos sin el uso de suelo, lo que aporta varias ventajas en los cultivos, principalmente para aquellos que se encuentran bajo invernadero, y su crecimiento de las plantas es posible debido al suministro adecuado de los requerimientos hídricos a través del agua y una solución nutritiva (Beltrano y Giménez, 2015).

En base a lo anterior, el agua y el suelo constituyen la base de los recursos naturales. El agua se emplea de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios, siendo el agrícola el de mayor utilidad que se le da en México. Por lo que, el agua es el componente principal de las plantas, y cumple diferentes funciones de sostén, permitiendo así el crecimiento, traslado de nutrientes, y es el medio en el que se desarrollan todas las reacciones químicas (Beltrano y Giménez, 2015).

Debido a lo anterior, se considera que *Bacopa procumbens* al ser una planta silvestre corre el riesgo de una sobreexplotación de la especie (Vargas, 2020). Por lo tanto, para que haya un crecimiento óptimo de la planta se requiere tener condiciones favorables de riego que favorezcan el crecimiento, desarrollo, y producción de metabolitos secundarios de la planta. Una alternativa para dar solución a la escasez de agua y el aprovechamiento de *Bacopa procumbens* es el establecimiento de cultivos bajo invernadero, siendo el cultivo hidropónico y semi-hidropónico como una alternativa viable.

La siguiente investigación permitirá evaluar el comportamiento de *Bacopa procumbens* mediante dos métodos de propagación bajo condiciones de invernadero, que son; hidroponía y semi-hidroponía mediante soluciones nutritivas y nutri-riego optimizando el manejo adecuado durante todo su ciclo de cultivo evaluando su crecimiento y desarrollo de la planta.

Materiales y métodos

Área de estudio

La presente investigación se realizó en un invernadero tipo túnel, en las instalaciones de El Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Unidad Tlaxcala, del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN), ubicado en la Ex hacienda, San Juan Molino, localizado en el km 1.5. de la Carretera Estatal, 90700 Santa Inés. Tecuexcomac, en el municipio de Tepetitla de Lardizábal que se sitúa entre los paralelos 19° 15' y 19° 19' de latitud norte; los meridianos 98° 20' y 98°25' de longitud oeste, a una altitud de 2 300 m. (INEGI, 2010).

Especie evaluada y propagación vegetativa

Se evaluó el cultivo de *Bacopa procumbens* en condiciones de invernadero mediante dos métodos. Para la propagación vegetativa de *Bacopa procumbens* se preparó espuma fenólica de 200 cavidades, que se metió en agua hasta humedecerla por completo. Se cortaron esquejes de 5 nudos para lo cual se utilizaron tijeras previamente desinfectadas y se colocaron en la espuma fenólica. Por último, cada tercer día se les aplicó una solución enraizadora (Rootex® 1g/L), hasta que generaron raíz y se regaron con 1 L de agua de corriente por charola para mantenerlos húmedos. Una vez que generaron raíz se montó el cultivo hidropónico y semi-hidropónico.

Sistemas de cultivo

Se realizaron los cultivos mediante el método raíz flotante y semi-hidropónico (Tezontle) de la planta, con 4 tratamientos, T1 hidroponía agua, T2 hidroponía SN, T3 semi-hidroponía agua T4 semi-hidroponía SN. Para la preparación de la solución nutritiva (SN) con presencia de macronutrientes (A) se pesaron 200 g que se diluyeron en 1 L de agua y de los micronutrientes (B) se pesaron 130 g que se diluyeron en 1 L de agua, de la empresa “Hidroponía Carmen”. Esta concentración es recomendada para todas las fases de crecimiento vegetativo. La dosis que se empleó fueron 5 mL para A y 5 mL para B, esto por cada litro de agua. Para montar los tratamientos se colocaron 10 plántulas por cada tratamiento con raíz desarrollada, y se registraron las variables de largo del tallo, largo de raíz, número de nodos, número de brotes y número de flores y los diferentes parámetros que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta como el pH, EC, humedad, temperatura, luminosidad (luxes x 100), durante un periodo de 60 días, en el caso de hidroponía, se realizó el cambio de agua y SN cada 15 días y en semi-hidroponía se realizó riego y nutri-riego diariamente con 5 L de agua y SN en el caso del nutri-riego, esto durante todo el tiempo que duró el experimento.. Los muestreos de las diferentes variables se realizaron en intervalos de 6 días con un total de once muestreos.

Diseño experimental

Consistió en un diseño experimental completamente al azar (DCA). Se evaluó el desarrollo y crecimiento de *Bacopa procumbens* en dos sistemas de cultivo; el sistema hidropónico en raíz flotante y sistema semi-hidropónico. Se dividió en cuatro tratamientos: T1 Hidroponía control

(agua), T2 Hidroponía con solución nutritiva (SN), T3 Semi-hidroponía control (agua), T4 Semi-hidroponía con solución nutritiva (SN). Cada tratamiento tuvo 10 repeticiones.

Análisis estadístico

Para el análisis de varianza (ANOVA) se utilizó el programa estadístico ORIGINPRO ® 2021; para el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos, se usó la prueba de rango múltiple de Tukey para la comparación de promedios, con un nivel de significancia del 5%.

Resultados y discusión

Se observaron en los esquejes propagados en espuma fenólica las primeras raíces a los 20 días después de haber realizado la propagación, esto ocurrió en la mayoría de las plántulas al tener una temperatura de 27 a 30°C.

En la actualidad el método de propagación asexual mediante esquejes es el más utilizado, ya que como lo menciona Moguel *et al.* (2018), permite conservar las características fenotípicas y genotípicas de la planta progenitora, y para eso es conveniente la utilización de un buen sustrato. Si bien, Rodríguez *et al.* (2010) indican, que la calidad de los sustratos es muy importante para proporcionar un medio adecuado de crecimiento para las plántulas. Por lo que, existen varios tipos de sustratos que actúan como soporte y apoyo para el transporte de agua, nutrientes, oxígeno y es el medio oscuro para el desarrollo radicular (Forero *et al.*, 2011). Además, la espuma fenólica es un tipo de sustrato de espuma absorbente de baja densidad, diseñada para un rápido desarrollo de la raíz (OASIS® EASY PLANT®, 2017). Algunos estudios han demostrado la efectividad de la propagación por esquejes y espuma fenólica como fue el trabajo de Toral (2022), que comparó la propagación de *Bacopa procumbens* en espuma fenólica y una mezcla de Peats moss con agrolita donde hubo mayor crecimiento radicular en la propagación por espuma fenólica en el mismo número de días, esto indica que puede deberse a diferentes factores, como puede ser la porosidad que presenta la espuma fenólica, ya que contiene una porosidad de 96.7% mientras que otros sustratos registrados en el estudio de Rodríguez *et al.*, 2010 contienen el 89% de porosidad.

Los valores de las diferentes variables evaluadas por 60 días tuvieron diferencias en cada tipo de cultivo, esto debido a los parámetros ambientales registrados.

En cuanto a los parámetros evaluados, se muestra el registro de ellos durante el proceso de crecimiento de la planta, en los diferentes sistemas. En cuanto a la temperatura (Figura 1) se observa que se mantuvo estable hasta los 42 días, lo que indica que *Bacopa procumbens* es favorable en temperaturas que sobrepasan los 30°C, ya que al observar el crecimiento de la raíz en hidroponía con solución nutritiva hasta esos días obtuvo un crecimiento del 60% de su totalidad (Figura 2).



Figura 1. Registro de temperatura, intensidad lumínica y humedad durante el periodo de crecimiento en los diferentes cultivos.

A partir del día 24 se observa un crecimiento más relevante en T1 (raíz de hidroponía con solución nutritiva), cuando la humedad promedio fue la más baja y la intensidad lumínica estuvo en aumento de los 12 a los 30 días, de los 48 a los 60 días se puede observar como el crecimiento del T1, fue más favorable, esto se debió a que la temperatura máxima registrada fue a los 48 días y al mismo tiempo la intensidad lumínica a los 48 días también comenzó a aumentar, teniendo el promedio más alto a los 54 y 60 días.

En cuanto al crecimiento del tallo, la temperatura favoreció el crecimiento de los cuatro tratamientos desde el día uno, en la Figura 3 se puede observar como una temperatura alta favorece en el crecimiento de la planta.

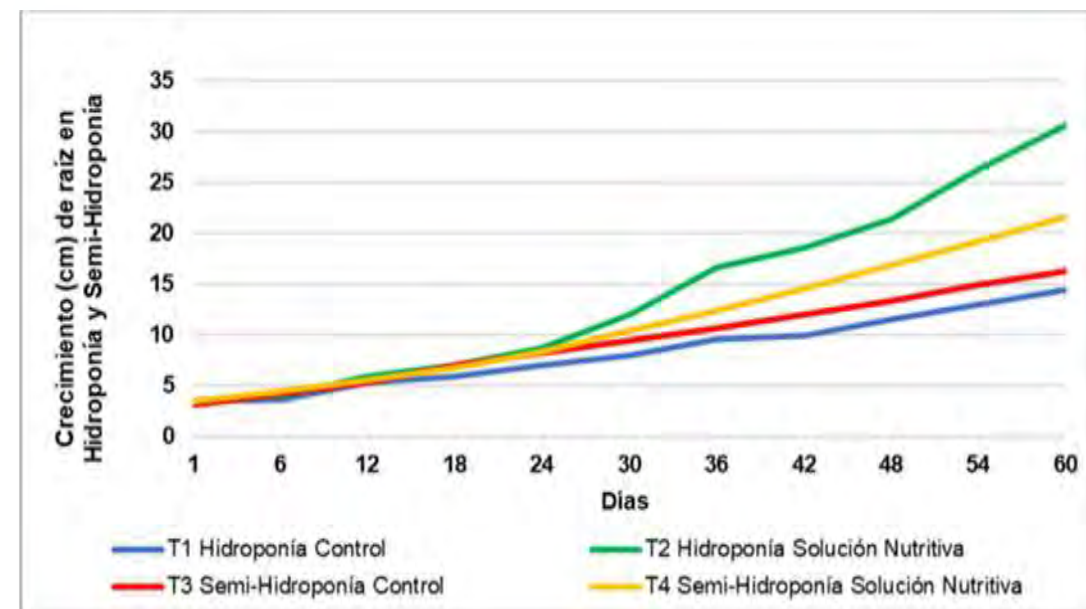


Figura 2. Crecimiento de raíz de *Bacopa procumbens* en los diferentes sistemas de cultivo.

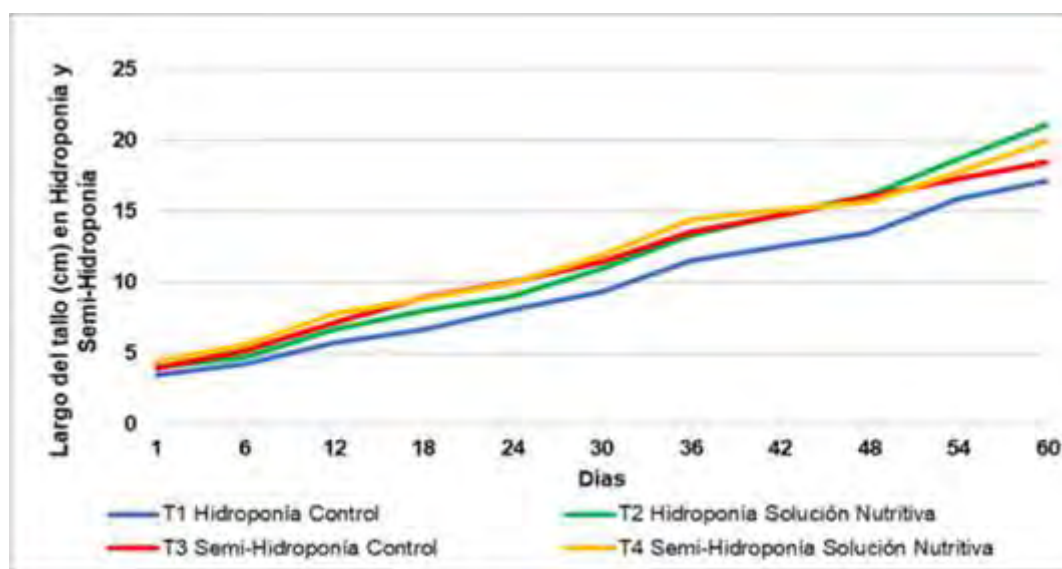


Figura 3. Largo tallo de *Bacopa procumbens* en los diferentes cultivos.

También la intensidad lumínica fue un parámetro importante en el crecimiento del tallo, ya que a partir del día 18 se mantuvo por encima de los 100 luxes. En algunos estudios se ha demostrado que algunas plantas medicinales su temperatura óptima para su crecimiento es mediante temperaturas altas como lo indica Acosta *et al.* (2001) donde menciona que la

temperatura óptima para la germinación de *Calendula officinalis* es de 18 y 24°C, y en etapas de desarrollo admite temperaturas más altas. En cuanto a la intensidad lumínica, Casierra *et al.*, (2012) mencionan que la luz incidente, además de causar cambios en el contenido de clorofila, también ocasiona cambios en la concentración de metabolitos secundarios. Huertas (2008), indica que la humedad al igual que la luz y la temperatura es uno de los factores medioambientales que influyen en los cultivos bajo invernadero, debido a que las plantas tienen que transpirar agua para el transporte de nutrientes y regular su crecimiento, por lo que, si la humedad es demasiado alta, el intercambio gaseoso se limita y se reduce la transpiración y en cambio, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis. Las variables de crecimiento tomadas en cuenta fueron crecimiento radicular y largo de tallo. El análisis de varianza mostró que hubo diferencias significativas ($p < 0.001$) para las longitudes (cm) alcanzadas en la raíz y el tallo, entre tratamientos. Al observar los resultados de la comparación de medias de Tukey ($p=0.05$); en el caso del crecimiento radicular se muestra que el T2 presenta el mayor crecimiento, con una media de 30.65 ± 7.62689 , seguido del T4, T3 y por último T1 con una media de 14.8 ± 4.97884 .

Para el caso del crecimiento del tallo también hubo diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los sistemas de cultivo hidropónico y semi-hidropónico. El T2 presentó el mayor crecimiento con una media 22.5 ± 4.014 , seguido del T4, T3 y por último T1 con un valor de 15.5 ± 6.737 , Lo que indica que el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico en raíz flotante con solución nutritiva (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento radicular y largo del tallo en hidroponía y semi-hidroponía, de *Bacopa procumbens*.

Tratamiento	Crecimiento radicular	Largo tallo
T1 Hidroponía control	14.8 ± 4.97884 c	15.5 ± 6.737 b
T2 Hidroponía solución nutritiva	30.65 ± 7.62689 a	22.5 ± 4.014 a
T3 Semi-hidroponía control	16.35 ± 1.51015 b c	17.3 ± 4.218 a b
T4 Semi-hidroponía solución nutritiva	21.7 ± 1.61933 b	19.45 ± 5.257 a b

Medias con las mismas letras en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$).

Al observar los resultados de la comparación de medias de Tukey ($p=0.05$); T2, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas; mientras que T1 fue el tratamiento con el menor número de nudos (13 ± 3.559). T1 fue el tratamiento con menor número de brotes 1.9 ± 0.738 , entre el T2 y T4 no se observaron diferencias significativas. El T2 tuvo el mayor número de flores 14.6 ± 4.835 , seguido del T4, T3 y T1 con una media de 5.4 ± 2.547 ; entre ellos no se registraron diferencias significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de número de nudos, número de brotes y número de flores en hidroponía y semi-hidroponía de *Bacopa procumbens*.

Tratamiento	Nudos	Brotes	Floración
T1 Hidroponía control	13 ± 3.559 b	1.9 ± 0.738 c	5.4 ± 2.547 b
T2 Hidroponía solución nutritiva	16.7 ± 1.829 a	5.9 ± 1.524 a	14.6 ± 4.835 a
T3 Semi-hidroponía control	15.4 ± 1.647 ab	4.1 ± 0.876 b	5.8 ± 1.475 b
T4 Semi-hidroponía solución nutritiva	16.3 ± 1.947 a	5.7 ± 1.160 a	9 ± 2.494 b

Medias con las mismas letras en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$).

Conclusiones

En la propagación vegetativa de *Bacopa procumbens* mediante esquejes, la raíz se desarrolla entre 15 y 20 días, viéndose favorecido por temperaturas entre 27 y 30°C. El cultivo hidropónico de raíz flotante con solución nutritiva es una alternativa eficaz para el crecimiento y desarrollo de *Bacopa procumbens*, En cuanto al cultivo semi-hidropónico utilizando tezontle como sustrato, y nutri-riego también es una alternativa para el crecimiento y desarrollo de la planta, debido a que, en un periodo de sesenta días, se observó un crecimiento adecuado.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, así como el apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN.

Literatura citada

- Acosta, D. L. L., C. Rodríguez F. y E. Sánchez G. 2001 Instructivo técnico de Calendula officinalis. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 6(1): 23-27.
- Beltrano, J. y D. O. Giménez. 2015. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1 [consultado el 20 de junio de 2024].
- Casierra, P. F., O. Ávila L. y D. Riascos O. 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. Temas Agrarios, 17(1): 60-71.
- CONABIO 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Forero, R. R. A., H. G. Parra, R. A. Luna C. y E. R. Rivera C. 2011. Agricultura urbana: Sistemas de implementación de cultivos hidropónicos. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/786/1/79629949-2011-2-IM.pdf> [consultado el 16 de junio de 2024].
- García, A. A. y P. U. Carril E. 2011. Metabolismo secundario de plantas. Reduca (biología), 2(3).
- Hernández, B. E. E. 2017. Estudio químico biodirigido del extracto hidroalcohólico de *Bacopa procumbens* en la biosíntesis de nanoestructura metálicas y su actividad antimicrobiana. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. 92 p
- Hidalgo, A. O. 2010. Determinación del efecto cicatrizante del extracto acuoetanólico de la planta *Bacopa procumbens* en la línea celular 3T3 de fibroblastos de ratón. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. 123 p.

- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Hortícola* 205: 52-54.
- Hydro Environment. 2008. Sistema Nutrient Film Technique. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=148 [consultado el 20 de junio de 2024].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010 Tepetitla de Lardizábal Tlaxcala. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/290 [consultado el 20 de junio de 2024].
- Moguel, O. Y., G. Ramírez J. y J. Tepal C. 2018. Efecto de la calidad del agua y sustratos en la producción de plántulas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE21), 4284-4295. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342018000904284&script=sci_arttext [consultado el 25 de junio de 2024].
- OASIS® EASY PLANT®. 2017. Manual de hidroponía. <https://www.cecyltezac.edu.mx/pdf/pci/manual-hidroponia.pdf> [consultado el 19 de junio de 2024].
- Rodríguez, M. R., E.G. Alcantar G., G. Iñiguez C., F. Zamora N., P.M. García L., M. A. Ruiz L. y E. Salcedo P. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35 (7), 515 520.
- Toral, B. J. 2022. Establecimiento del cultivo hidropónico de *Bacopa procumbens*, planta medicinal. Tesis de licenciatura. TECN M Zacapoaxtla. 84p.
- Vargas, A. E. 2020. Estudio del cultivo *in vitro* de *Bacopa procumbens* para la obtención de los compuestos responsables de la biosíntesis de nanopartículas metálicas. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CINCO VARIEDADES DE FRIJOL EN RESPUESTA AL ENCALADO DOLOMÍTICO EN SUELOS ÁCIDOS

Rigoberto Zetina Lezama^{125*}, Oscar H. Tosquy Valle¹²⁵ y Alexia Sánchez Pacheco¹²⁶

Resumen

La acidez del suelo es una limitante de la producción agrícola en los suelos del sur de Veracruz donde junto con la sequía terminal, llega a reducir el rendimiento de frijol hasta en 80%. Para evaluar la respuesta del frijol al encalado dolomítico en suelos ácidos del sur de Veracruz, se estableció un experimento durante el ciclo Ol 23/24. Se utilizó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas: dos tratamientos de encalado (con y sin encalado) en parcelas grandes y cinco variedades de frijol negro (Negro Inifap, Verdín, Rio Grande, Negro Jamapa y Rubí) en parcelas pequeñas. El encalado se realizó manualmente 45 días antes de la siembra, usando dolomita con un 1% de partículas retenidas por la malla 150, y contenido de 36.6% de CaO y 2.6% de MgO. Se midió pH del suelo, rendimiento de grano, supervivencia a la madurez fisiológica, peso de grano y número de vainas por planta. La aplicación de cal dolomítica incrementó el rendimiento y peso del grano en 50.06% y 5.2%, respectivamente, mejoró 31.9% la supervivencia de las plantas y aumentó 28% el número de vainas. La variedad Negro Inifap fue menos afectada por la acidez y menos favorecida por el encalado; las variedades Negro Jamapa y Verdín fueron las más sensibles a acidez y más favorecidas por el encalado. En parcelas chicas se observó que, la variedad con mayor rendimiento fue Rio grande y que los genotipos Rio Grande, Negro Inifap y Rubí tuvieron rendimientos similares, pero solo Rio Grande superó a Jamapa y Verdín, que presentaron los rendimientos más bajos.

Palabras clave: acidez, rendimiento, sequía

Introducción

La acidez edáfica es una de las principales características de los suelos tropicales que limita el desarrollo y la producción de la mayoría de las especies de importancia agrícola, económica y social. La presencia de niveles tóxicos de aluminio y la baja disponibilidad de fósforo y bases intercambiables afectan el desarrollo del sistema radicular de las plantas casi inmediatamente

¹²⁵ Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP. *Autor para correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx.

¹²⁶ Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan.

después de la germinación. Las especies más sensibles y poco adaptadas a esta condición edáfica desarrollan raíces pequeñas y poco funcionales, lo que reduce su capacidad para absorber agua y nutrientes del suelo. Como resultado, las plantas que crecen en suelos ácidos son poco vigorosas y mucho menos productivas.

Se estima que en todo el mundo existen aproximadamente cuatro mil millones de hectáreas de suelos ácidos (Sori *et al.*, 2021); algunas fuentes sugieren que los suelos podrían representar hasta el 50% de la superficie mundial dedicada a actividades agropecuarias (Liu *et al.*, 2023) razón por la cual la acidez edáfica está considerada como uno de los principales problemas que afectan la producción agrícola mundial. Moreno *et al.* (2021) señalan que, en México, el 45% de la superficie agrícola presenta una reacción ácida. Además, en algunos casos severos, como ocurre en el sur de Veracruz, la acidez del suelo, junto con otros factores como la falta de humedad, puede reducir el rendimiento de grano de frijol y otras especies muy sensibles a la acidez hasta en un 80% (Zetina *et al.*, 2002). Esta situación ocasiona cuantiosas pérdidas económicas, reduce las fuentes de empleo y afecta el bienestar de la población al limitar el número de cultivos viables en esas condiciones edafoclimáticas.

Una alternativa eficaz para corregir de manera casi inmediata la acidez del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes en la capa arable es el encalado dolomítico. El impacto de esta práctica sobre el desarrollo vegetativo de los cultivos, el rendimiento y la calidad de sus cosechas está ampliamente documentado (Ijara, 2024), por lo que representa una buena opción para mejorar la productividad de los suelos ácidos tropicales del sur de Veracruz, México.

El propósito de este estudio consistió en evaluar la respuesta del cultivo de frijol a la práctica del encalado dolomítico en suelos ácidos del sur de Veracruz. Además, se buscó identificar los materiales genéticos de frijol negro disponibles en el mercado regional que presentan una mayor capacidad de respuesta a esta práctica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno de 2023-24, bajo condiciones de humedad residual, en un terreno típico de Los Llanos de Isla y Juan Rodríguez Clara, Veracruz ubicado en las coordenadas 18°01'59" N, 95°23'26" O a 144 m de altitud.

Condiciones edafoclimáticas

El clima predominante en el sitio experimental es cálido subhúmedo (Aw0), con una temperatura media anual de 24.5°C y una precipitación anual de 1100 mm (Soto *et al.*, 2001). El suelo donde se establecieron los ensayos está clasificado como Cambisol dístico (FAO-Unesco, 1977) que se desarrolla en una llanura con pendiente de 4% y relieve ondulado. Su textura es migajón arenoso y tiene un pH fuertemente ácido (4.60). Este suelo es pobre en materia orgánica (0.58%) y presenta bajos niveles de nitrógeno inorgánico (10 mg/kg) y fósforo Bray 1 (1.3 mg/kg). Tiene bajos valores de calcio, magnesio y potasio intercambiable (0.366, 0.302 y 0.054 cmolc/kg de suelo, respectivamente), un contenido de saturación de aluminio del 42.6% y capacidad de intercambio catiónico de 1.4 meq/100 de suelo.

Manejo agronómico del cultivo

El establecimiento del experimento en campo se realizó en la primera semana de noviembre de 2023. Se sembraron manualmente a chorrillo 20 semillas por metro lineal, lo que equivale a una densidad de población inicial de 250,000 plantas por hectárea. El tratamiento de fertilización utilizado fue de 40-40-20 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. Todo el fertilizante se aplicó en una sola dosis, de forma manual y en banda, cuando las plantas presentaron la tercera hoja trifoliada desplegada, utilizando como fuentes urea, fosfato diamónico (grado 18-46-0) y cloruro de potasio. El control de malezas y plagas se llevó a cabo según las recomendaciones del INIFAP para el estado de Veracruz (López *et al.*, 2017).

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tratamientos dispuestos en parcelas divididas con tres repeticiones. En las parcelas grandes se evaluaron dos niveles de encalado (con cal y sin cal dolomítica) y en las parcelas pequeñas, cinco variedades de frijol negro (Negro INIFAP, Verdín, Rubí, Negro Jamapa y Rincón Grande), todas liberadas por el INIFAP para las áreas tropicales del sureste de México (Ibarra *et al.*, 2022). El tamaño de la parcela experimental pequeña fue de cuatro surcos de cinco metros de largo, separados a una distancia de 0.8 m. La parcela útil fue integrada por dos surcos centrales de cada parcela.

Tratamiento de encalado edáfico

Para mejorar la disponibilidad de magnesio en el suelo, se utilizó cal dolomítica como material encalante. Este material tiene un tamaño de partícula de 0.105 mm de diámetro, con solo el 1% de las partículas retenidas por la malla 150, y contiene un 36.6% de CaO y un 12.6% de MgO. La dosis de encalado aplicada, de 2.7 t/ha de cal dolomítica, se calculó mediante la ecuación $Y = 11.708 - 1.954X$, propuesta por Zetina *et al.* (2002) para los suelos ácidos del sur de Veracruz, donde X representa el pH inicial del suelo en agua (relación 1:2 suelo-solución, $X=4.6$) y Y es la dosis de cal necesaria para alcanzar un pH de 6, considerado óptimo para el desarrollo del frijol (Ruíz *et al.*, 2013). El tratamiento de encalado se realizó manualmente al voleo 45 días antes de la siembra, esparciendo el material sobre la superficie del suelo y luego incorporándolo a 0.20 m de profundidad mediante el uso de una rastra pesada.

Variables medidas

Se llevaron a cabo tres muestreos de suelo en las parcelas grandes: antes del encalado, 61 días después del encalado (Etapa V3 del frijol) y al momento de la cosecha. En cada una de las fechas de muestreo y en cada uno de los tres bloques, se tomó una muestra compuesta integrada por cinco submuestras recolectadas en zig-zag con una barrena de acero inoxidable a una profundidad de 0 a 30 cm. A estas muestras se les determinó el pH del suelo en agua (relación 1:2 suelo-solución) utilizando un potenciómetro marca Hanna, modelo HI9812-51, siguiendo la metodología As 02 descrita en la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). Los valores de pH de cada bloque se promediaron para obtener un valor medio por parcela grande en cada fecha de muestreo.

Durante el ciclo fenológico del cultivo se registró la precipitación pluvial ocurrida en el sitio experimental, con un pluviómetro plástico de 40 mm con anillo contador. Además se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: 1) Días a madurez fisiológica, medidos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de cada genotipo mostraron vainas amarillas o moradas, 2) Número de vainas producidas por planta, determinado en 10 plantas seleccionadas al azar en cada parcela útil, 3) Porcentaje de supervivencia a la cosecha estimado a partir del número de semillas sembradas y número de plantas cosechadas, 4) Peso de 100 semillas, y 5) Rendimiento de grano, estimado a partir del grano cosechado y limpio de cada parcela, en kilogramos por hectárea ajustado al 14% de humedad.

Análisis estadístico

Las variables dependientes de los tratamientos se interpretaron mediante el análisis de varianza y donde existió diferencias estadísticas significativas, las medias fueron comparadas por la prueba de Fisher al 5% de probabilidad de error. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017). Se realizaron análisis de correlación simple y regresión lineal para determinar la relación entre las variables evaluadas y el rendimiento de frijol.

Resultados y discusión

La precipitación anual registrada en 2023 fue de 940.2 mm, lo que representa un 54.65% menos que el promedio anual de 1454.1 mm citado por Díaz-Padilla *et al.* (2004) para el periodo 1961-2003 en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz (Figura 1). Sin embargo, en los últimos cuatro meses del año, periodo en que se estableció el experimento, las lluvias fueron ligeramente superiores al promedio. Después del encalado y antes de la siembra, se registraron precipitaciones acumuladas que superaron los 200 mm. Estas condiciones de humedad, junto con las temperaturas registradas durante los meses de septiembre y octubre (32°C), proporcionaron un entorno adecuado para la reacción de la cal en el suelo.

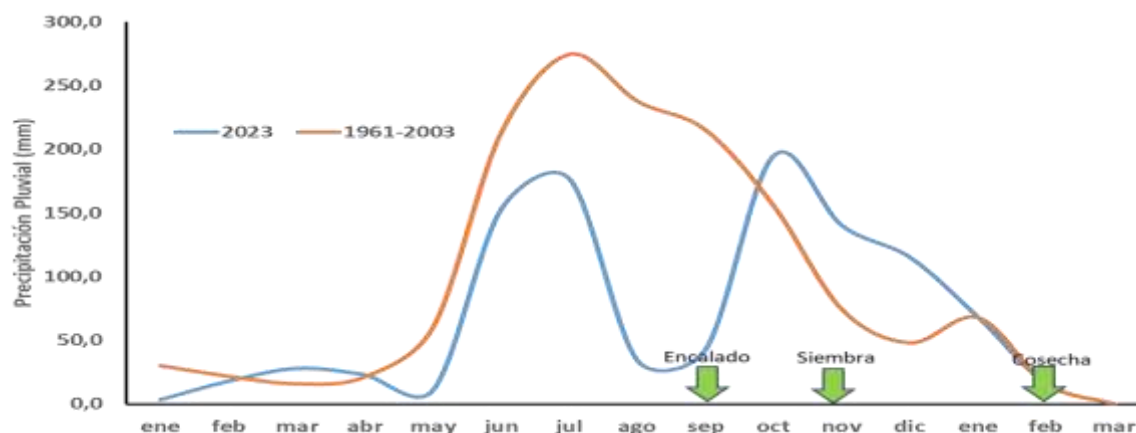


Figura 1. Comportamiento de la precipitación pluvial registrada en el sitio experimental durante 2023 comparada con la precipitación media registrada en el periodo de 1961 a 2003 en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

La precipitación total acumulada durante el ciclo del cultivo fue de 281 mm (Figura 1), con una cantidad y distribución adecuada de lluvia (175 mm) hasta la etapa R5 de prefloración del frijol, la cual se alcanzó aproximadamente a los 35 días después de la siembra (dds). Posteriormente, solo se registraron tres eventos de lluvia: uno de 38 mm a los 51 dds, cuando el cultivo se encontraba en la etapa R7 de formación de vainas, y dos más de 34 mm cada uno a los 74 y 75 dds, hacia el final de la etapa R8 de llenado de vainas (Rodríguez *et al.*, 2023). La acidez edáfica y la condición de estrés hídrico que prevalecieron en la fase reproductiva de las variedades terminaron por convertirse en los principales factores restrictivos de la producción tal y como lo argumentan (Morales *et al.*, 2015) y (Tosquy *et al.*, 2020).

Los valores de pH obtenidos antes y 61 días después de la práctica del encalado demostraron que la aplicación de dolomita influyó positivamente en la reducción de la acidez edáfica. Cuando el cultivo presentó su primera hoja trifoliada (61 días después del encalado) el suelo registró un pH de 5.8, cercano al rango óptimo de 5.8 a 6.5 para el desarrollo del frijol (Kyomuhendo *et al.*, 2020). Con el tiempo, el pH disminuyó ligeramente hasta 5.0 en la etapa de maduración, debido a las oscilaciones naturales de pH y la capacidad amortiguadora del suelo (Zetina *et al.*, 2002). En contraste, los tratamientos sin dolomita mostraron valores de pH inferiores a 4.8 durante todo el ciclo, indicando que los genotipos de frijol se desarrollaron bajo condiciones de estrés por acidez edáfica severa.

La aplicación de cal dolomítica tuvo un efecto positivo y significativo en el rendimiento del grano de frijol. En promedio, en las parcelas donde se incrementó el pH del suelo mediante el encalado, el rendimiento aumentó en un 50.06% (de 496.3 a 744.8 kg/ha), como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, no todas las variedades respondieron de manera similar a esta práctica (Cuadro 1).

Las mayores diferencias (62.5%) se observaron en las variedades Negro Jamapa y Verdín, que podrían clasificarse como las más sensibles a la acidez del suelo. Por otro lado, la variedad Negro Inifap mostró la menor variación (40.9%), siendo menos afectada por la acidez y, por lo tanto, menos favorecida por la aplicación del encalado en comparación con las otras cuatro variedades evaluadas en este estudio. Según los resultados obtenidos, el orden de respuesta a la práctica del encalado fue el siguiente: Negro Jamapa = Verdín > Río Grande > Rubí > N. Inifap.

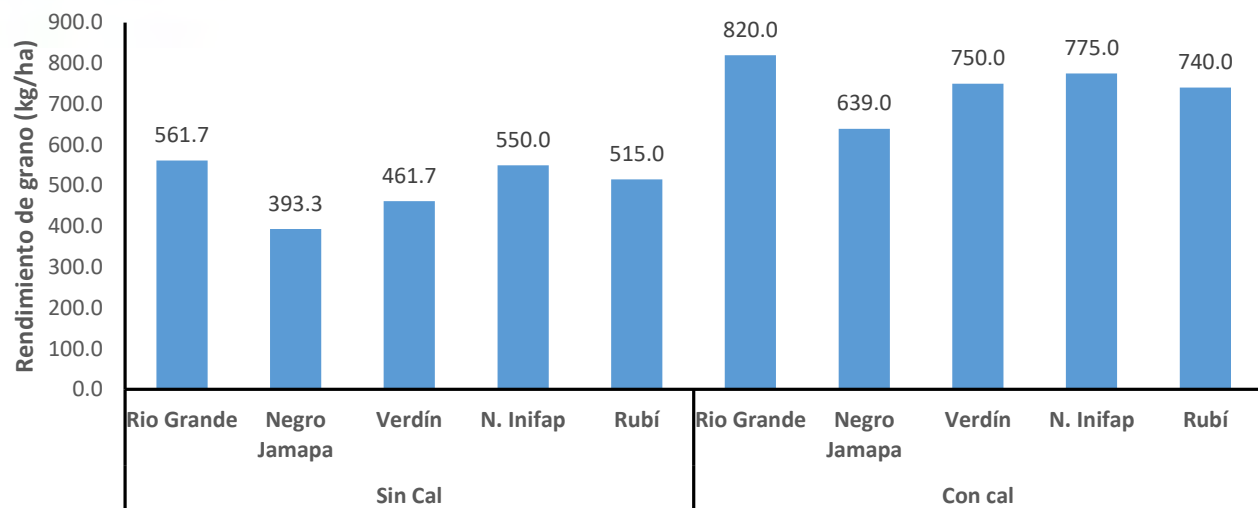


Figura 2. Rendimiento de grano de cinco variedades de frijol negro cultivadas, con y sin encalado dolomítico, en un suelo ácido del sur de Veracruz.

Cuadro 1. Porcentaje de incremento en el rendimiento de grano de cinco variedades de frijol negro cultivadas en un suelo ácido del sur de Veracruz, con y sin encalado dolomítico.

Variedad	Rendimiento kg/ha			% de incremento
	Con cal	Sin cal	Diferencia	
Rio Grande	820.0	561.7	258.3	46.0
Negro Jamapa	639.0	393.3	245.7	62.5
Verdín	750.0	461.7	288.3	62.5
N. Inifap	775.0	550.0	225.0	40.9
Rubí	740.0	515.0	225.0	43.7
Promedio	744.8 a	496.3 b	248.5	50.1
Significancia	*			
C.V.	10.45			

Nota: En una misma hilera, promedios seguidos de la misma letra no son diferentes estadísticamente (DMS de Fisher, 0.05).

El efecto positivo del encalado sobre el rendimiento de los cultivos está suficientemente documentado a nivel mundial; además de corregir el pH del suelo y mejorar la disponibilidad

de bases cambiables (Zetina *et al.*, 2002); los cambios que promueve en el perfil del suelo permiten al cultivo de frijol incrementar la producción de nódulos (Dejene *et al.*, 2016) y la fracción de N derivada del aire en el suelo y la planta (García *et al.*, 2003). Por otra parte, el rendimiento observado en este trabajo para la variedad Rio Grande, en suelo encalado (820 kg/ha), es similar al observado por (Tosquy *et al.*, 2020), con la variedad experimental Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8, material que mostró rendimientos de 911 kg/ha en suelos encalados y que presentó la mejor adaptación a las condiciones de suelo ácido en el sur de Veracruz. Para el Factor B, evaluado en las parcelas pequeñas, se encontró diferencia significativa entre variedades. Las variedades Rio Grande, N. Inifap y Rubí fueron estadísticamente iguales; no obstante, de estas tres, solo la variedad Rio Grande superó estadísticamente a las variedades Jamapa y Verdín, que presentaron rendimientos 25.21% y 12.30% más bajos (Figura 3).

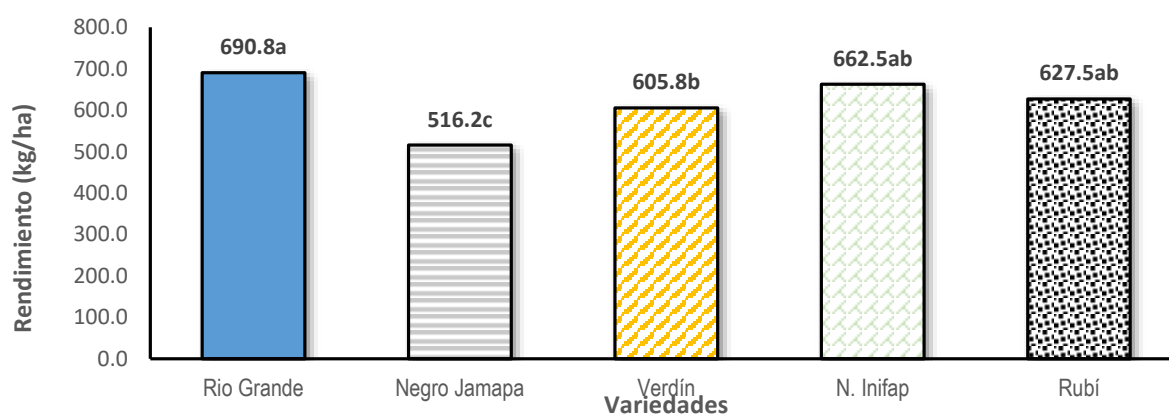


Figura 3. Rendimiento para el Factor B “Variedades”, evaluado en parcelas chicas, cultivadas en un suelo ácido del sur de Veracruz. Nota: Promedios seguidos de la misma letra no son diferentes estadísticamente (DMS de Fisher, 0.05).

En condiciones de suelos ácidos de Chiapas, con alta saturación de aluminio intercambiable, (Villar *et al.*, 2003) se obtuvieron rendimientos de 716 kg/ha con el genotipo N. Inifap, un valor ligeramente superior al obtenido en este trabajo. Los análisis realizados en este y otros estudios demuestran que las variedades de frijol común difieren en su capacidad para tolerar la acidez del suelo debido a diferencias en los rasgos morfológicos y estructurales de sus raíces. Según Rao, (2000), los genotipos resistentes a suelos ácidos tienen la capacidad de absorber más calcio, magnesio y otros micronutrientes que los genotipos susceptibles, lo que

les permite producir más follaje y rendir más. Al analizar la interacción de los factores Encalado x Variedades el análisis de varianza no registró efectos significativos entre ambas variables. El encalado tuvo un efecto significativo en la supervivencia y desarrollo de las plantas de frijol, lo que resultó en una mayor presencia de plantas productivas al momento de la cosecha en los tratamientos que recibieron cal dolomítica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de supervivencia de plantas, días a floración y otras variables asociadas al rendimiento de grano obtenidas en cinco variedades de frijol negro cultivadas, con y sin encalado dolomítico, en un suelo ácido del sur de Veracruz.

Encalado	Variedad	% de supervivencia	Peso de 100 granos	Vainas por planta	Días a la maduración fisiológica
Sin encalado dolomítico	Rio Grande	58.33	17.83	5.83	82.33
	Negro Jamapa	52.33	19.27	5.23	83.33
	Verdín	50.00	21.10	5.50	74.33
	Negro Inifap	64.33	17.90	5.97	81.00
	Rubí	53.20	17.60	5.63	79.00
Media Factor A		55.64 a	18.74 a	5.63 a	80.00 a
Con encalado dolomítico	Rio Grande	69.00	18.50	7.97	84.67
	Negro Jamapa	68.67	20.00	6.73	87.00
	Verdín	70.00	23.13	6.90	76.87
	Negro Inifap	75.33	18.60	7.07	84.00
	Rubí	82.00	18.43	7.90	82.67
Media Factor B		73.00 b	19.73 b	7.31 b	83.04 b
Promedio		64.32	19.24	6.47	81.52
CV		9.25	4.71	11.,5	1.73
Significancia		*	*	*	*

Nota: En una misma columna, promedios seguidos de la misma letra no son diferentes estadísticamente (DMS de Fisher, 0.05).

En promedio, en los tratamientos sin encalar se perdió alrededor del 50% de la población; mientras que, en los tratamientos encalados el porcentaje de supervivencia de plantas se

incrementó a 73%. Esta variable se correlacionó positiva y significativamente ($r=0.0000074$) con el rendimiento del cultivo; el análisis de regresión se ajustó a un modelo lineal ($R^2=0.59^{**}$) en el que a medida que se incrementó el número de plantas también se incrementó el rendimiento.

La acidez edáfica generalmente afecta el desarrollo radicular de los cultivos desde la germinación (Ofie *et al.*, 2023). Plantas como el frijol, muy sensibles a esta condición del suelo, suelen desarrollar un sistema radicular poco vigoroso con un volumen limitado de exploración para obtener agua y nutrientes. Esta condición provoca que las plantas desarrollen una biomasa aérea débil, con pocas posibilidades de competir con la maleza, sobrevivir a periodos prolongados de estrés hídrico y resistir daños causados por plagas y enfermedades. La baja supervivencia y el escaso vigor vegetativo de las plantas de frijol en suelos fuertemente ácidos generalmente son las principales causas del bajo rendimiento y rentabilidad de esta especie en el sur de Veracruz (Zetina *et al.*, 2002).

Las variedades N. Inifap (69.83%), Rubí (67.60%) y Rio Grande (63.67%) fueron estadísticamente iguales, pero solo la N. Inifap superó estadísticamente a las variedades Jamapa y Verdín, que presentaron los porcentajes de supervivencia más bajos (60.5% y 60%) y fueron estadísticamente iguales entre sí. En cuanto a las interacciones entre encalado y variedad, el análisis de varianza no registró diferencias significativas entre tratamientos.

El encalado incrementó significativamente el número de vainas producidas por planta de 5.63 a 7.31, lo que representa un aumento del 28.8%. Dado que esta variable tiene una correlación positiva y altamente significativa ($r=0.8370^{**}$) con el rendimiento, se concluye que esta práctica influye de manera directa y significativa en el rendimiento del cultivo de frijol. En cuanto al Factor B, se encontró que la variedad N. Jamapa fue significativamente inferior al resto de las variedades, con una producción de 5.98 vainas/planta. Las variedades N. Inifap, Rubí, Verdín y Rio Grande fueron estadísticamente iguales, con un promedio general de 6.59 vainas/planta. No se encontraron diferencias significativas para la interacción entre encalado y variedad.

Las plantas en suelo ácido alcanzaron la madurez fisiológica tres días antes que las tratadas con encalado. Aunque el encalado influyó significativamente en el periodo vegetativo, no afectó de manera relevante el rendimiento, ya que esta variable no mostró una correlación significativa con el rendimiento ($r = 0.2522$). Las mayores diferencias dentro de la misma variedad, con y sin encalado, se observaron en las variedades Rubí y N. Jamapa, con un

promedio de 3.67 días; mientras que la variedad Verdín presentó un desfase promedio de 2.53 días (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto del encalado dolomítico sobre el número de días requerido para alcanzar la etapa de madurez fisiológica en cinco variedades de frijol negro cultivadas en un suelo ácido del sur de Veracruz.

Variedad	Con cal dolomítica	Sin cal dolomítica	Diferencia (días)
Río Grande	84.67	82.33	2.33
Negro Jamapa	87.00	83.33	3.67
Verdín	76.87	74.33	2.53
Negro Inifap	84.00	81.00	3.00
Rubí	82.67	79.00	3.67

La interacción entre factores genéticos y ambientales es esencial para el desarrollo de las plantas. Generalmente, una reducción en el ciclo de vida es una respuesta a estímulos ambientales adversos. Estudios recientes han demostrado que factores como la temperatura, la disponibilidad de agua y nutrientes, y la exposición a toxinas, como el aluminio en suelos ácidos, influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas condiciones adversas pueden desencadenar respuestas de estrés que alteran el ciclo de vida normal, afectando etapas desde la germinación hasta la maduración y senescencia (Zhan *et al.*, 2022). En suelos altamente ácidos, la toxicidad del aluminio puede inhibir el crecimiento radicular y limitar la absorción de agua y nutrientes, acortando el ciclo de vida y afectando la productividad de las plantas (Zhan *et al.*, 2022).

En lo que corresponde al factor B, la variedad más precoz fue el genotipo verdín (75.6 días) que resultó estadísticamente diferente al resto de las variedades; mientras que la variedad Jamapa (85.17 días) que fue estadísticamente igual al genotipo Rio grande (83.5 días) y diferente al resto de los tratamientos que registraron valores menores a 82.5 días. En promedio, las plantas que se desarrollaron en tratamientos encalados produjeron granos significativamente más pesados (18.74 vs 19.73 g/100 granos) que las que crecieron en un ambiente ácido. Es decir, el encalado dolomítico promovió un incremento en el peso de grano, equivalente al 5.28%. La variedad Verdín presentó una mayor respuesta al tratamiento del

encalado al incrementar el peso de grano en un 9.6%; mientras que la variedad Rio grande sólo presentó un incremento equivalente al 3.75%.

Para el factor variedades, estudiado en las parcelas chicas, se observó que la variedad Verdín produjo los granos más pesados (22.12 g/100 granos) y fue estadísticamente diferente al resto de las variedades. La variedad Jamapa, con un peso de 19.63 g/100 plantas fue estadísticamente superior a las variedades N. Inifap, Rubí y Rio grande que fueron estadísticamente iguales y promediaron un peso de 18.14 g/100 granos. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la interacción Encalado x Variedades.

Conclusiones

La aplicación de cal dolomítica mejoró significativamente el rendimiento y desarrollo del frijol, con aumentos en el peso del grano y el número de vainas por planta. Las variedades de frijol respondieron de manera distinta al encalado; el genotipo Negro Inifap mostró menor sensibilidad a la acidez y menor beneficio por la cal; en cambio, la variedad Rio Grande destacó en rendimiento y supervivencia, superando a Jamapa y Verdín, que tuvieron los resultados más bajos.

Literatura citada

- Dejene, T., T. Tana y E. Urage. 2016. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to application of lime and phosphorus on acidic soil of Areka, Southern Ethiopia. Journal of Natural Sciences Research 6 (19): 90-100.
- Díaz-Padilla, G., J. A. Ruíz-Corral, M. A. Cano-García, V. Serrano-Altamirano y G. Medina-García. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. ISBN: 970-43-0020-4.

- Di Rienzo J. A., S. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. Infostat. (Software estadístico). Versión 2017. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 73 p. [Consultado el 27 de junio de 2024]. Disponible en <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- FAO-UNESCO. 1977. Soil map of the World. Mexico and Central America. UNESCO. Paris, France. Vol. 4.
- García A., G. Dueñas, G. Hernández, G. Herrero, A. Nuviola, N. Méndez *et al.* 2003. Efecto del encalado en la respuesta vegetal y fijación simbiótica del nitrógeno en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 14(2): 207-214.
- Ibarra, P. F. J.; Tosquy, V. O. H.; Rodríguez, R. J. R.; Villar, S. B.; López, S. E. y Anaya, L. J. L. 2022. Rubí: nueva variedad mejorada de frijol negro para las áreas tropicales de Veracruz y Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13(3):577-585. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2227>
- Ijara J. 2024. Effect of different rates of liming on soil ph, p and agronomic traits of common beans in eastern Uganda. Tesis. Busitema University Arapai. Campus Faculty of Agriculture and Animal Sciences. Department of Crop Production and Management. Soroti, Uganda. 20 p.
- Kyomuhendo, P., M. Tenywa, O. Semalulu y A. Lenssen. 2020. Lime requirements for bean production on two contrasting soils of Lake Victoria Crescent agro-ecological zone. *African Journal of Agricultural Research* 15(4):531-537.

- Liu C, M Jiang, M. M. Yuan, E. Wang, Y. Bai, T. W. Crowther., *et al.* 2023. Root microbiota confers rice resistance to aluminium toxicity and phosphorus deficiency in acidic soils. *Nat Food*. 4(10): 912-924.
- López, S. E., O. H. Tosquy V., y F. J. Ibarra P. 2017. Frijol. *Agenda Técnica Agrícola Veracruz*. Ciudad de México, México: Sagarpa. COFUPRO. INIFAP. 33-36.
- Morales, R. A., C. Lopez C., J. Kohasi S., S. Miranda C. y A. García C. 2015. Comparación De Los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 33 (4): 309-319.
- Moreno, L., M. Delgado y L. Cruz. 2021. Distribución y características de los suelos ácidos en México: Implicaciones para la agricultura. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas* 12(3): 451-463.
- Ofoe R, R. Thomas, S. K. Asiedu, G. Wang-Pruski, B. Fofana and L. Abbey. 2023. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Front. Plant Sci.* <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2022.1085998/full>
- Rao I. 2000. Estudio fisiológico de la tolerancia a baja fertilidad. In. *Informe Técnico Anual*. POA. Cali, Colombia. 5-23 p.
- Rodriguez, C. R. I., M. L. Porraz R., S. Hernandez G. y J. A. Gomez S. 2023. Efecto antifúngico de esporas encapsuladas de *Metarhizium anisopliae* sobre el desarrollo de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) infectadas con *Fusarium moniliforme*. *Rev. digital de la universidad autónoma de Chiapas* 12 (34).

- Ruiz, C. J. A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R. A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. 3ra. ed. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. 564 p. ISBN: 978-607-37-0188-4.
- Sori, G., B. Iticha y C. Takele. 2021. Spatial prediction of soil acidity and nutrients for site-specific soil management in Bedele district, Southwestern Ethiopia. *Agric & Food Secur* 10 (59).
- Soto, M., L. Gama y M. Gómez. 2001. Los climas cálidos subhúmedos en el estado de Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana* 3 (2): 31-40.
- Tosquy, V. O. H., R. Zetina L., E. López S., F. J. Ibarra P., B. Villar S. y J. R. Rodríguez R. 2020. Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 38(1): 91-102.
- Villar S. B., E. López S. y J Acosta G. 2003. Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26 (2): 109 – 114.
- Zetina L. R, A. Pastrana L, M., Romero J., J. A. Jiménez C. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. INIFAP-CIRGOC. Campos experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Libro Técnico Núm. 10. Veracruz, Veracruz, México. 170p.
- Zhan, X., Z. Chen y R. Chen. 2022. Environmental and Genetic Factors Involved in Plant Protection-Associated Secondary Metabolite Biosynthesis Pathways. *Frontiers in Plant Science*. [En línea]. Consultado el 27 de junio de 2024. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.877304/full>

PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Canavalia ensiformis* ESTABLECIDA COMO COBERTERA EN LIMÓN PERSA CULTIVADO EN VERACRUZ

Rigoberto Zetina Lezama^{127*}, Sergio A. Curti Díaz¹²⁷ y Alexia Sánchez Pacheco¹²⁸

Resumen

En la actualidad, se cuenta con poca información en las regiones tropicales de México sobre los beneficios de *Canavalia ensiformis* como cultivo de cobertura en huertas de frutales. Esta planta protege el suelo de la erosión, mejora su estructura, incrementa el contenido de carbono, aporta nitrógeno atmosférico al suelo y limita el desarrollo de malezas. Para evaluar la producción de biomasa de *C. ensiformis*, su porcentaje de cobertura y aporte nutrimental al suelo en el ciclo O/I de 2023 se desarrollaron tres experimentos con diseño bloques al azar en parcelas divididas, con cuatro repeticiones y tres tratamientos en las parcelas grandes: 1) *C. ensiformis* como cultivo de cobertura, 2) control mecánico de maleza y 3) sin control de maleza. En parcelas pequeñas se estudiaron diversos tratamientos de nutrición dirigidos exclusivamente a los árboles de limón por lo que, no son analizados en este trabajo. Este trabajo se centró en los resultados de las parcelas grandes durante el primer año. Se encontró que el tratamiento con *C. ensiformis* produjo una biomasa vegetativa significativamente superior (36.9 t/ha) en comparación con las parcelas con control mecánico de maleza (16.2 t/ha) y el testigo sin control de maleza (17.1 t/ha). El rendimiento de peso seco también fue mayor en las parcelas con *C. ensiformis* (10.7 t/ha) frente a los tratamientos testigo (5.8 t/ha) y control mecanizado (4.8 t/ha). La cobertura de *C. ensiformis* controló de manera significativa la presencia de malezas, con un promedio de cobertura del 88.5%.

Palabras clave: cítricos, leguminosas tropicales, malezas

Introducción

En las áreas tropicales y subtropicales de México, dentro de las actividades primarias dedicadas al ámbito agrícola, los cítricos constituyen uno de los principales pilares de la economía nacional y del bienestar, debido a que, son cultivos generalmente rentables y demandan una alta cantidad de mano de obra y servicios de diversa índole. De acuerdo con

¹²⁷ Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP. *Autor para correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx.

¹²⁸ Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan.

Maya y Javier (2017) y la FAOSTAT (2022), mundialmente se producen 183 millones de toneladas de cítricos, principalmente en países como China, Brasil, Estados Unidos e India. En 2022, México se ubicó en el "top 5" de los principales países productores de cítricos, ocupando el quinto lugar en producción de naranja, tangerinas, mandarinas y clementinas, el segundo en producción de limón y el cuarto en toronjas y pomelos. Según el SENASICA (s.f.), la producción nacional de cítricos demanda alrededor de 16 millones de jornales y genera 696,000 empleos directos e indirectos. En 2023, Veracruz produjo 446,226 toneladas de limón, convirtiéndose en el principal productor de este cítrico a nivel nacional (SIAP, 2023).

La creciente preferencia de los mercados internacionales por el consumo de fruta inocua, obtenida en sistemas de manejo de cultivo orgánico y amigables con el ambiente, ha obligado a los citricultores mexicanos a buscar alternativas viables y rentables para el establecimiento de sistemas agroecológicos de producción de cítricos en diversos tipos de ambientes. En el trópico mexicano, algunos de los principales problemas en huertas de cítricos son la degradación de la fertilidad física, química y biológica de la capa arable del suelo y el control de maleza. Este último, debido a que las condiciones ambientales favorecen el desarrollo abundante y vigoroso de diversos tipos de arvenses, y a que el mercado nacional tiene una cartera muy pobre de herbicidas orgánicos. El control de maleza se reduce al uso de maquinaria agrícola, desbrozadoras y machete; incluso en sistemas convencionales donde el uso del glifosato cada día es más cuestionado y restringido.

En estos sistemas, el uso constante de la maquinaria tiende a compactar el suelo y a reducir su fertilidad química y biológica, al impedir la infiltración del agua, favorecer la pérdida de carbono orgánico y reducir los espacios porosos y la actividad microbiológica. Además, en la época seca del año, representa un grave riesgo por la posible ocurrencia de incendios que podrían causar la pérdida total de los huertos.

Una alternativa utilizada en cítricos y otros cultivos es el uso de mulching y de leguminosas tropicales; estas últimas como coberturas vivas para evitar el desarrollo de maleza, mejorar la calidad del suelo y reducir los costos de control de arvenses.

A corto plazo, el mulching y el uso de leguminosas como coberturas vivas tienden a generar cambios significativos en los principales indicadores de la fertilidad física y biológica de la capa arable del suelo; entre ellos, temperatura, contenido de humedad, densidad aparente, abundancia de raíces, emisión de CO₂ y carbono orgánico. A mediano y largo plazo, favorecen

cambios notables en las propiedades químicas como el contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes (Tran Van *et al.*, 2022; Visconti *et al.*, 2024).

Por su fácil establecimiento, alta rusticidad, alta tolerancia a sequías prolongadas y poco potencial invasivo, *Canavalia ensiformis* es una leguminosa con mucho potencial para su uso como cobertura en huertas de cítricos que se cultivan en diversas condiciones edafoclimáticas del centro de Veracruz, México. Esta leguminosa tiene rendimientos promedios de biomasa y aportes de nitrógeno (4.6 t y 173 kg/ha por año, respectivamente) que superan a otras leguminosas como *Mucuna pruriens* (Kaizzi *et al.*, 2006) y *Crotalaria juncea* (Rotar y Joy, 1983). Trabajos realizados por Enríquez *et al.* (2021) en huertas de cítricos de Martínez de la Torre, Veracruz, demostraron que, después de un mes, el establecimiento de *Dolichos* y *Mucuna pruriens*, como monocultivo o en asociación, permitió un mejor control de la maleza en relación con el tratamiento con rastra. En huertos de papaya y plátano cultivados en un aridisol de Costa Rica, *C. ensiformis* superó a *Arachis pinto*i en el control de maleza; además, se encontraron diferencias significativas para variables como pH, contenido de materia orgánica y nitrógeno en comparación con el manejo convencional y el uso de *A. pinto*i como cultivo de cobertura (Santiago, 2016).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa aérea e identificar los beneficios potenciales de *C. ensiformis* intercalada como cultivo de cobertura en plantaciones jóvenes de limón persa, con manejo orgánico, en vertisoles del centro de Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó durante el ciclo OI de 2023 en una finca de limón persa ubicada en la localidad de Paso de los Carros, en el municipio de Cotaxtla, en el centro del estado de Veracruz. Geográficamente, el sitio experimental se encuentra en las coordenadas 18° 48' 37" N y 96° 20' 48" W, a una altitud de 61 metros sobre el nivel del mar. El suelo está clasificado como vertisol y se desarrolla en un clima tropical subhúmedo, con una temperatura media anual de 26°C y una precipitación media anual de 1300 mm (INEGI, 2010).

Especie evaluada y manejo del cultivo

La *C. ensiformis* se estableció manualmente en junio de 2023, en suelo húmedo, utilizando un esquepe. Las semillas se sembraron a 5 cm de profundidad, con una distancia de 30 cm entre plantas y 40 cm entre hileras. La primera hilera se ubicó a 50 cm del tallo de las plantas de limón. Durante el desarrollo del cultivo, no se realizaron actividades de control de maleza y, aunque aparecieron algunas plagas defoliadoras, no fue necesario implementar medidas de control, ya que, los daños no afectaron significativamente el desarrollo del cultivo. Para evitar que las plantas trepan sobre los cítricos, al inicio de la etapa de floración de la *C. ensiformis*, se eliminaron algunas guías de las plantas en los surcos más cercanos a la hilera de los árboles, utilizando machetes.

Cultivo de prueba

Se utilizaron plantas de limón persa injertadas en un patrón volkameriano como cultivo de prueba, con una altura promedio de 1.3 metros y poco más de 4 meses desde su trasplante al terreno definitivo. Las plantas de limón se establecieron en marco real a una distancia de 7 metros entre surcos y 4 metros entre plantas, para obtener una densidad de plantación de 357 árboles por hectárea.

Diseño y unidad experimental

El estudio incluye los resultados observados en tres experimentos de campo establecidos con el objetivo de evaluar la producción de biomasa aérea de *C. ensiformis* e identificar los beneficios potenciales de esta especie como cultivo de cobertura en plantaciones jóvenes de limón persa. Los tres experimentos siguieron un diseño experimental de parcelas divididas, distribuidas en un arreglo de bloques al azar con cuatro repeticiones. En las parcelas grandes se evaluaron tres tratamientos: 1) *C. ensiformis* como cultivo de cobertura, 2) Vegetación natural con control mecánico y 3) Testigo sin control de maleza. En las parcelas pequeñas se estudiaron diversos tratamientos de nutrición dirigidos exclusivamente a los árboles de limón. Este trabajo presenta los datos obtenidos durante el primer año, centrándose en los resultados de las parcelas grandes.

Variables medidas

En el momento de la floración (octubre de 2023) se midieron variables asociadas al desarrollo vegetativo de *C. ensiformis* y otras especies presentes en los espacios entre hileras de frutales. Se tomaron datos de altura de planta utilizando una regla metálica graduada en centímetros y se midieron el peso fresco y seco de tallos, hojas y órganos reproductivos con una báscula electrónica Ohaus, con precisión de 0.01 g. En cada parcela grande, se tomaron tres muestras al azar para estimar la producción de biomasa vegetativa dentro de un cuadrado de PVC de 0.5 x 0.5 m (0.25 m²). Antes de la recolección, se estimó visualmente el porcentaje del área cubierta por esta leguminosa. Posteriormente, con un machete, se cortó a ras de suelo todo el material vegetativo dentro del área delimitada. En los tratamientos que incluyeron prácticas de manejo tradicional o mecánico, se realizó el mismo procedimiento.

Después de recolectar y pesar la biomasa aérea en fresco, en cada experimento se tomaron tres muestras representativas compuestas por cinco plantas completas. Luego de separar las hojas, tallos, flores y frutos, se pesó cada uno de estos órganos para determinar el porcentaje correspondiente de cada uno en relación con el peso total de la planta. Finalmente, se tomó una muestra compuesta de tallos, hojas, frutos y flores para determinar su contenido de humedad mediante el método de secado en estufa, evaluando el cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno (Austin *et al.*, 2013).

Adicionalmente, en cada experimento se seleccionaron en zig-zag siete plantas de canavalia en diferentes puntos de cada parcela. Las hojas, tallos y flores se separaron y se almacenaron en bolsas de papel previamente identificadas. Las muestras se enviaron al laboratorio para analizar los niveles de N, P, K, Ca y Mg. Los resultados obtenidos y la producción de materia seca por hectárea se utilizaron como referencia para calcular el aporte de macronutrientes proveniente de la biomasa de canavalia incorporada al suelo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron capturados en una hoja electrónica y posteriormente analizados en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017). En los casos donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos las medias se separaron mediante método de Fisher a una probabilidad del 0.05%.

Resultados y discusión

Producción de biomasa aérea y pesos seco

La producción media de biomasa vegetativa fue de 36.9 t/ha en el tratamiento con *C. ensiformis*, 16.2 t/ha en las parcelas con control mecánico de maleza y 17.1 t/ha en el testigo sin control de maleza. Para los casos en los que se sembró *C. ensiformis* como cultivo de cobertura, el rendimiento de biomasa más alto se obtuvo en el Experimento 2 (43.4 t/ha) y el más bajo en el Experimento 3 (36.9 t/ha). En las parcelas sin cultivo de cobertura, la producción promedio de biomasa fresca fue de 16.65 t/ha, superada significativamente en un 121% por la biomasa producida en las parcelas con *C. ensiformis* (Cuadro 1). La producción de biomasa obtenida en este estudio fue ligeramente superior a la reportada por Renté *et al.* (2020) en un Fluvisol diferenciado de Santiago de Cuba, donde se obtuvo un rendimiento de 31.75 t/ha.

Cuadro 1. Producción de biomasa fresca y altura de *Canavalia ensiformis* como cultivo de cobertera en plantaciones juveniles de limón persa cultivado en sistema de producción orgánico en fluvisoles del centro de Veracruz, México.

Tratamiento	<----Experimento 1---->		<----Experimento 2---->		<---Experimento 3--->		Peso		Altura Media (cm)
	Biomasa Aérea (t/ha)	Altura (cm)	Biomasa Aérea (t/ha)	Altura (cm)	Biomasa Aérea (t/ha)	Altura (cm)	Medio t/ha		
Con cultivo de cobertura	39.1	a 120.9	a 43.4	a 121.1	a 28.2	a 120.4	36.9		120.8
Control mecánico	16.0	b 66.,75	b 20.0	b 67.0	b 12.5	b nd	16.2		66.875
Testigo sin control	18.1	b 71.5	b 17.5	b 71.5	b 15.8	b nd	17.1		71.5
Promedio	24.4	86.4	27.0	86.5	18.8				
C.V.	13.63	3.79	38.96	5.41	37.2				
Significancia	**	**	*		**				

Nota: Letras diferentes en una misma indican diferencia estadística entre tratamientos (DMS de Fisher al 0.05%). nd: datos no disponibles. C.V. coeficiente de variación.

Según se muestra en el Cuadro 2, el rendimiento de peso seco fue estadísticamente superior para el tratamiento con *C. ensiformis* (10.7 t/ha) en comparación con los tratamientos testigo (5.8 t/ha) y el control con chapeo mecanizado (4.8 t/ha). La producción de materia seca con *C.*

ensifomis fue 5.4 t/ha mayor que el promedio obtenido en los tratamientos sin canavalia, lo que representa un incremento de 101.8% de materia seca por hectárea. Este aporte de material orgánico puede resultar muy importante en el mejoramiento de la capa arable del suelo por su alto contenido de materia orgánica y macronutrientes que podrían estar disponibles para las plantas en el corto plazo.

Cuadro 2. Producción de biomasa seca de *Canavalia ensiformis* como cultivo de cobertera en plantaciones juveniles de limón persa cultivado en un sistema de producción orgánico en fluvisoles del centro de Veracruz, México.

Tratamiento	Peso seco (t/ha)						Promedio (t/ha)
	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3		
Con cultivo de cobertura	10.7	a	11.2	a	10.09	a	10.7
Control de maleza mecanizado	3.6	b	6.4	b	4.52	b	4.8
Testigo sin control de maleza	5.3	b	5.4	b	6.65	b	5.8
Promedio	6.6		7.7		7.1		
C.V.	28.68		28.68		36.41		
Significancia	*		*		*		

Nota: Letras diferentes en una misma indican diferencia estadística entre tratamientos (DMS de Fisher al 0.05%). C.V. coeficiente de variación.

Diferentes rendimientos de materia seca de *C. ensiformis* se han obtenido en ambientes tropicales con distintas condiciones edafoclimáticas; sin embargo, todos los casos muestran rendimientos similares a los obtenidos en este trabajo. Por ejemplo, en fluvisoles de Cuba, Renté *et al.* (2020) obtuvieron valores de 6.6 t/ha, mientras que, Castro (2016) obtuvo 6.4 t/ha en un vertisol colombiano, y Martín *et al.* (2007) alcanzaron un rendimiento de 9.76 t/ha en un suelo ferralítico rojo de Cuba.

En cuanto a la producción de biomasa en los tratamientos con cobertura natural (principalmente gramíneas nativas), en climas tropicales, algunos autores como Martín *et al.* (2007) han obtenido valores de 3.6 t/ha de biomasa seca, que son un poco menores a los 4.8 y 5.8 t/ha observados en este trabajo. Estos valores dependen del tipo y etapa de desarrollo de la maleza al momento de su corte o incorporación al suelo. Según Borawska, *et al.* (2014),

las gramíneas son capaces de producir de 4.19 a 7.42 toneladas de materia seca por hectárea en un año; sin embargo, a diferencia de las leguminosas, debido a su alta relación C/N, pueden reducir la disponibilidad de nitrógeno debido a la inmovilización por parte de los microorganismos (Hernández *et al.*, 2009). Además, en sistemas donde existe una fuerte diversidad de arvenses, la mezcla hojarascas de diferentes especies de plantas pueden conducir a un efecto antagónico que podría reducir aún más su velocidad de descomposición (Liu *et al.*, 2020).

En cuanto a la producción de biomasa por órgano vegetativo, al momento de la floración e incorporación de la canavalia, en promedio, los tallos constituyeron el 50.8% del total de la biomasa producida y las hojas el 43.2%. Las flores y algunas vainas solo representaron el 6% del peso total (Cuadro 3). Lo anterior sugiere que la mitad de la materia seca producida por la canavalia será rápidamente procesada por la masa microbiana; por su alto contenido de humedad y su baja relación C/N; estudios realizados por Vasconcelos *et al.* (2016) indican que, la liberación de nitrógeno de los residuos de leguminosa puede iniciar entre las 4 y 8 semanas dependiendo de diversos factores ambientales y edáficos. El otro 50%, correspondiente al tallo, posiblemente sea procesado con mayor lentitud debido a una mayor presencia de tejido rico en celulosa, lignina y hemicelulosa (Surigaoge *et al.*, 2023).

Cuadro 3. Producción de biomasa aérea, en peso fresco y seco, para cada uno de los órganos vegetativos de *C. ensiformis*, al momento de la floración, intercalada como cobertura en limón persa cultivado en un fluvisol del centro de Veracruz, México.

Órgano floral	Parte proporcional	Peso fresco (t/ha)	Peso seco (t/ha)
Tallo	50.8%	18.7	5.4
Hojas	43.5%	16.1	4.6
Flores	5.7%	2.1	0.6
Total	100%	36.9	10.7

Altura

En dos de los tres experimentos, la diferencia en altura de la canavalia fue estadísticamente significativa en comparación con los otros dos tratamientos de control. En el caso de la canavalia, la altura resultó inconveniente para el cultivo, ya que al estar muy cerca del árbol,

llegó a cubrirlo parcialmente, compitiendo por agua, nutrientes y luz. En estos casos, fue necesario despuntar la canavalia con la ayuda de un machete.

Porcentaje de cobertura

La cobertura de *C. ensiformis* controló de manera significativa la presencia de maleza en el área entre hileras. El tratamiento de *C. ensiformis* mostró un crecimiento vigoroso, con un rango de cobertura de la superficie entre hileras que varió de 78.12% a 99.5%, y un valor promedio de cobertura de 88.5% (Cuadro 4). Además, la presencia de malezas se redujo en promedio a 0.7% y la del suelo desnudo a 10.8%, lo que sugiere un efecto alelopático de la canavalia sobre las malezas. Múltiples estudios indican que compuestos como flavonoides, alcaloides, terpenos, ácidos fenólicos y ácidos carboxílicos en los extractos de *C. ensiformis* inhiben la germinación de varias especies de malezas como *Mimosa pudica*, *Cassia tora* y *Cassia occidentalis* (Santos *et al.*, 2007). El tratamiento con control mecanizado de la maleza registró un 82.1% de área cubierta por la maleza y 17.9% de área desnuda. El tratamiento testigo, sin control de maleza, presentó una superficie de 71.9% cubierta por las malezas y 28.1% de área desnuda.

Cuadro 4. Porcentaje de cobertura, entre hileras, observado en cada uno de los tratamientos evaluados, en una plantación de en limón persa cultivado en un fluvisol del centro de Veracruz, México.

Tratamiento	% de cobertura			
	<i>Canavalia ensiformis</i>	Arvenses	Suelo desnudo	Total
Cultivo de cobertura	88.5 a	0.7 c	10.8 b	100
Control de maleza mecanizado	0.0 c	82.1 a	17.9 b	100
Testigo sin control de maleza	0.0 c	71.9 a	28.1 b	100

Nota: Letras diferentes en una misma indican diferencia estadística entre tratamientos (DMS de Fisher al 0.05%).

Aporte nutrimental de la biomasa aérea

De acuerdo con autores como Martín Alonso *et al.* (2017) y Kessler (1990), dependiendo de las condiciones edáficas y la humedad, *C. enformis* puede llegar a registrar en su biomasa

seca, contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, equivalentes a 2.5-3.0, 0.2-0.3 y 2.0-3.0%, respectivamente. En las condiciones en que se condujo este trabajo y los valores obtenidos de materia seca y análisis foliar en laboratorio, es posible señalar que la canavalia como cultivo de cobertura, es capaz de aportar al suelo hasta 321, 32.1 y 321 kg de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (Cuadro 5). Además, podría llegar a aportar, por ciclo de cultivo, 357 y 77 kg/ha de calcio y magnesio, suponiendo concentraciones de 3.34 y 0.72% en la biomasa seca, como lo cita (Padilla *et al.*, 2002).

Cuadro 5. Aporte nutrimental de la biomasa aérea de *Canavalia ensiformis*, incorporada al momento de la floración, intercalada como cobertura en limón persa cultivado en un fluvisol del centro de Veracruz, México.

Tratamiento	<-----Experimento 1----->					<-----Experimento 2----->					<-----Experimento 3----->				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Cultivo cobertura	321.6	32.1	321.6	358.0	77.1	336	33.6	369.9	374.1	80.6	302.8	30.9	302.8	0.337	72.7
Control mecanizado	108.6	10.8	108.6	120.9	26.0	192	19.2	211.2	213.76	46.1	135.5	13.6	135.5	0.151	32.5
Testigo	159.3	15.9	159.3	177.3	38.2	162	16.2	178.2	180.4	38.9	199.4	19.9	199.4	0.222	47.85
Promedio	196.5	19.6	196.5	218.7	47.2	230.0	23.0	253.0	256.1	55.2	212.6	21.3	212.8	0.237	51.0

Otros beneficios de la *C. ensiformis*

Adicionalmente a los aportes de materia orgánica, nutrimentos y su beneficio en el control de arvenses, en áreas con pendiente pronunciada el cultivo de cobertera reduce la erosión hídrica, escurrimiento superficial y la fuga de la fracción coloidal del suelo junto con los nutrientes. Además, incrementa la infiltración de agua en el suelo, regula la temperatura de la capa superficial, incrementa la captura de carbono y mejora múltiples propiedades físicas y químicas del suelo.

Conclusiones

El tratamiento con *Canavalia ensiformis* como cultivo de cobertura resultó en una producción media de biomasa vegetativa significativamente superior comparada con las parcelas con

control mecánico de maleza y el testigo sin control de maleza. Este incremento en la biomasa destaca la efectividad de *C. ensiformis* para mejorar la productividad del suelo. El rendimiento de peso seco fue mayor en las parcelas con *C. ensiformis* en comparación con los tratamientos testigo y con control mecanizado. La cobertura de *C. ensiformis* controló de manera significativa la presencia de malezas en el área entre hileras, con un promedio de cobertura de 88.5%. La presencia de malezas se redujo a un promedio de 0.7% y la del suelo desnudo a 10.8, este último sugiere un fuerte efecto alelopático de la canavalia sobre las malezas. Esto no solo reduce la competencia por recursos, sino que también disminuye la necesidad de control mecánico o químico de malezas.

Literatura citada

- Austin, J., S. Rodriguez, P. Sung and M. Harris. 2013. Utilizing microwaves for the determination of moisture content independent of density. *Powder Technol.* 236:17–23.
- Borawska J. B., G. Mastalerczuk, S. Pietkiewicz and M. H. Kalaji, 2014. Low temperature and hardening effects on photosynthetic apparatus efficiency and survival of forage grass varieties. *Plant Soil Environ.* 60(4):177-183.
- Castro, E. 2016. Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 141 p.
- Di Rienzo J. A., S. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada and C. Robledo. Infostat. (Software estadístico). Versión 2017. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Enríquez, Q. J., C. M. Hernández, V. A. Esqueda E. y U. A. Díaz Z. 2021. Evaluación de leguminosas de cobertura para controlar maleza en plantaciones de cítricos en México. p. 96-103. *In*: Memoria del XLII Congreso Nacional de la ciencia de la Maleza. En línea. Sociedad Mexicana de la Ciencia de La Maleza (SOMECIMA).
- FAOSTAT (Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación). 2022. Cultivos y productos de ganadería. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> [consultado el 27 de mayo de 2024].
- Hernández, Y., E. Alfaro A., D. Medero M. y E. Rivas F. 2009. Las coberturas vivas en sistemas de cultivos agrícolas. *Temas de ciencia y tecnología* 13(38):7-16.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos mexicanos 2010. Cotaxtla. Veracruz de Ignacio de la Llave. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30049.pdf j.agsy.2005.06.003. [consultado el 29 de mayo de 2024].
- Kaizzi C. K., H. Ssali and P. L. Vlek G. 2006. Differential use and benefits of Velvet vean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agroecological zones of E. Uganda. *Agric. Syst.* 88(1):44-60.
- Kessler, C. D. J. 1990. An Agronomic Evaluation of Jackbean (*Canavalia ensiformis*) in Yucatan, Mexico. I. Plant Density. *Exp. Agric.* 26(1):11-22.
- Liu, J., X. Liu, Q. Song, N., Z. G. Compson, C. J. Leroy, F. Luan, *et al.* 2020. Synergistic effects: a common theme in mixed-species litter decomposition. *New Phytol.* 227(3):757–765.

- Martín Alonso, G. M., Y. Tamayo Aguilar, I. Hernández Forte, M. Varela Nualles y E. Silva Araujo. 2017. Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cult. Trop.* 38(1):122-130.
- Martín, G. M., J. R. Costa, R., S. Urquiaga, y R.A. Rivera. 2007. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éutrico de Cuba. *Agron. Trop.* 57(4):313 - 21.
- Maya A. y C. Javier. 2017. Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. *MyCP* 6(16):107-142.
- Padilla, C., M. Díaz F., S. Colom, F. Curbelo, y A. González. 2002. Momento de cosecha de canavalia (*Canavalia ensiformis*), gandul (*Cajanus cajan*) y dólico (*Lablab purpureus*) para determinar la calidad de la biomasa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 36(1): 75-80.
- Renté M. O., P. Pablos R., Y. Corrales V., M. Cuevas R. y M. C. Nápoles G. 2020. *Canavalia ensiformis* (L): en propiedades químicas de un suelo fluvisol diferenciado. *Rev. Amazonas* 3(6):65-75.
- Rotar, P. P. and R. J. Joy. 1983. Tropic *Sun sunn* hemp, *Crotalaria juncea* L. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. Research Extension Series 36. Honolulu, HI, USA. 7 p.
- Santos, S., M. L. L. Moraes and M. O. O. Rezende. 2007. Allelopathic potential and systematic evaluation of secondary compounds in extracts from roots of *Canavalia ensiformis* by capillary electrophoresis. *Ecl. Quím* 32(4):13-18.

Santiago F. G. 2016. Integración de leguminosas como cultivo de cobertura en papaya (*Carica papaya*) y plátanos (*Musa acuminata* x *balbisiana*) en dos agroecosistemas de Puerto Rico. Tesis de maestría. Universidad de puerto rico recinto universitario de Mayagüez. Puerto Rico, Puerto Rico. 72 p.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). S/F. Análisis de impacto económico ante un posible establecimiento y dispersión del cancro de los cítricos en México en áreas comerciales. Gobierno de México. SADER. SENASICA https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/agosto/An%C3%A1lisisdeimpactoecon%C3%B3micoanteunposibleestablecimientoydispersi%C3%B3ndelCancrodelosc%C3%ADtricosenM%C3%A9xicoen%C3%A1reascomerciales_107e4f44-49be-4b9a-8058-df20da906b1a.pdf . [consultado el 27 de mayo de 2024].

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Limón. Dirección de análisis estratégico. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817529/Limon_Marzo.pdf [consultado el 27 de mayo de 2023].

Surigaoge S., H. Yang, Y. Su, Y. Du, S. Ren, D. Fornara, *et al.* 2023. Maize/peanut intercropping has greater synergistic effects and home-field advantages than maize/soybean on straw decomposition. *Front. Plant Science* 14:1100842.

Tran Van D., N. Phuong N., L. Dang y N. Ngoc H. 2022. Impact of cover crop and mulching on soil physical properties and soil nutrients in a citrus orchard. *PeerJ*. 10:e14170. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9547584/> [consultado el 20 de junio de 2024].

Vasconcelos V. R., L. de Ávila S., R. Teixeira, R. Noguera de S. y L. Vergütz. 2016. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. P 51-84. *In*: Larramendy, M. L. and S. Soloneski. Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/50612> [consultado el 20 de junio de 2024].

Visconti F., E. Peiró, S. Pesce, E. Balugani, C. Baixauli and J. M. de Paz. 2024. Straw mulching increases soil health in the inter-row of citrus orchards from Mediterranean flat lands. *Eur. J. Agron.* 155:127115.

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) NUTRIDA ORGÁNICA Y QUÍMICAMENTE E INTERCALADA EN CHICOZAPOTE

Rosa Laura Rebolledo García¹²⁹, Andrés Rebolledo Martínez^{129*}, María Enriqueta López Vázquez¹²⁹,
Nain Peralta Antonio¹²⁹ y Raquel Ramírez García¹³⁰

Resumen

La yuca es un alimento de gran importancia en comunidades marginadas del trópico. Esta raíz almacena una gran cantidad de almidones, por lo que, complementa de manera satisfactoria la dieta de las personas. Puede consumirse en fresco, asada, hervida, frita y se genera harina, la cual puede utilizarse para hacer muchos otros productos. El objetivo fue evaluar el rendimiento y la calidad de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nutrida orgánicamente y producida en un sistema de cultivo intercalado en chicozapote. En la zona costera central del estado de Veracruz se estableció un cultivo de yuca en diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a densidades de chicozapote (156 y 312 árboles/ha) y la parcela chica a la fertilización mineral, orgánica y un testigo absoluto. Se midieron las siguientes variables fisionómicas: altura total de planta (At), biomasa aérea (BA) y radicular (BR), número de raíces por planta, color externo e interno de la raíz, diámetro promedio y longitud de raíces; también se estimó el contenido de almidón por el método de gravedad específica. Los resultados muestran que en la densidad baja se obtienen yucas de mejor calidad, y con mayores rendimientos, con una producción en promedio de 13 raíces/planta, que poseen un peso total medio de 2.914 kg y un contenido de almidón del 29.58%. Por otra parte, la fertilización orgánica y mineral mostraron comportamientos similares, con excepción del diámetro de raíces, la luminosidad, el ángulo de tono interno y el contenido de almidón, donde la fertilización orgánica mostró valores de 34.49 mm, 85.67, 87.36° y 29.71%, respectivamente. Se concluye que la densidad de plantación y la nutrición influyen en las características de calidad y rendimiento de la yuca.

Palabras clave: mandioca, bokashi, sistemas de producción

¹²⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia: rebolledo.andres@inifap.gob.mx

¹³⁰ Instituto Tecnológico Superior de México Campus Tantoyuca.

Introducción

La yuca es un alimento de gran importancia alimenticia. En el mundo se cosechan alrededor de 330 millones de toneladas anuales (FAO, 2024), siendo el cuarto producto básico en la dieta de 1000 millones de personas, principalmente de escasos recursos (Díaz y López, 2021). El cultivo ha crecido desde el año 2000 y con mayor velocidad en África y en Asia, que en América donde tuvo su origen, haciendo que para 2013, se tuviese un consumo *per cápita* anual de 60 kg (Suárez y Mederos, 2011; Howeler *et al.*, 2013; Díaz y López, 2021). En México se producen 24 mil toneladas en siete de sus estados (SIAP, 2024), de los cuales las raíces se utilizan principalmente con fines alimenticios.

La yuca se caracteriza por poseer una raíz capaz de almacenar una gran cantidad de almidones, los cuales se pueden cosechar desde los ocho meses hasta los tres años, después de su plantación, sin perder sus cualidades nutricionales (Salvador *et al.*, 2014; Díaz y López, 2021). Esta hortaliza se emplea para su consumo en fresco, asada, hervida, frita, pero principalmente se consume su harina (Salvador *et al.*, 2014); esto hace que el contenido de almidones sea un parámetro importante cuando se trata de definir la calidad de esta raíz.

El cultivo de la yuca es fácil de manejar, ya que posee tolerancia a sequía y a suelos de baja fertilidad, lo que la hace accesible a productores de subsistencia (Laranjeira *et al.*, 2023). Sin embargo, no se debe descartar que un manejo adecuado puede tener efecto en la calidad y rendimiento de la yuca, como lo son la selección del genotipo, el uso de los fertilizantes y el diseño del sistema de producción a utilizar (Laranjeira *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2024). Asimismo, se debe considerar que en el ámbito internacional se está en búsqueda continua de un manejo sustentable que implique un menor impacto ambiental, a la vez que se apoya a la seguridad alimentaria de las familias (Howeler *et al.*, 2013).

En México, la yuca se cultiva principalmente en zonas marginales y en pequeñas superficies, en el estado de Veracruz; la dosis de fertilización química regional promedio es de 146-46-60 kg de NPK/ha (Durán *et al.*, 2023). Sin embargo, se desconoce como el uso de fuentes nutrimentales alternas y asociación con frutales puede influir en su rendimiento y calidad, por lo que, el objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento y la calidad de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nutrida orgánicamente y producida en un sistema de cultivo intercalado en chicozapote.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el huerto de sistemas de producción de cultivos intercalados en chicozapote dentro del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Medellín, Veracruz, México. El huerto se localiza en las coordenadas geográficas 18° 56' 12" latitud norte y 96° 11' 32" longitud oeste a una altitud de 16 m (Google Earth, 2024). La región se caracteriza por presentar precipitaciones medias anuales de 1350 mm y temperatura anual media máxima y mínima de 31.8°C y 21.8°C (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017). El suelo del huerto es del tipo Vertisol, con textura migajón arenosa con color oscuro, pH de 6.5 y buen drenaje superficial (Aleman, 2018).

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se evaluó el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) ceiba criolla de San Andrés en un sistema de cultivo intercalado en chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) variedad Betawi.

El chicozapote se estableció en el año 2005 a dos densidades de plantación (156 y 312 árboles/ha), en arreglos espaciales de marco real a distancias de 8 x 8 m y 8 x 4 m, respectivamente. Los chicozapotes se mantienen con podas de copa de 2 m de radio y 3 m de altura, dejando un espacio para intercalado de 4 m.

En junio de 2023 en los 4 m disponibles para el cultivo intercalado se pasó una rastra y se formaron tres camas de 0.5 m de altura, con una distancia de centro a centro de 2 m. En las camas se estableció el cultivo de yuca con esquejes de 30 cm de longitud, los cuales fueron recolectados de otro huerto dentro del mismo campo experimental. Los esquejes se plantaron en ángulo de 45°, a tresbolillo y a una densidad de 6600 plantas/ha. La yuca se manejó como cultivo de temporal, sin embargo, por la dispersión de la precipitación pluvial en el ciclo, se aplicaron riegos auxiliares cada tercer día del 13 de junio hasta el 19 de julio.

La dosis 146-46-60 de NPK se cubrió con los fertilizantes minerales fosfato diamónico (DAP), urea y cloruro de potasio, aplicados al momento de la siembra o con bokashi al momento de la siembra y cinco aplicaciones de microorganismos eficientes en dosis de 50 mL por planta

cada 15 días a partir del 11 de octubre. La yuca se cosechó en enero de 2024, siete meses después de su plantación.

Elaboración de bioinsumos

Para el desarrollo del presente estudio se elaboraron los abonos orgánicos “bokashi” y “Microorganismos eficientes” (ME), los cuales se obtiene a base de procesos fermentativos; el primero se utiliza como fertilizante sólido y el segundo como fertilizante líquido.

Para la elaboración del bokashi se empleó gallinaza, estiércol vacuno, pasto pangola, tierra, y arena en proporciones volumétricas 2:2:2:1:1. Los materiales se mezclaron con una solución de melaza al 1.5% hasta alcanzar una humedad de entre el 75 y el 80%. La humedad se verificó con la prueba del puño de acuerdo con lo descrito por Méndez y Viteri (2007). El proceso se continuó de acuerdo con lo establecido por Rebolledo *et al.* (2012). Posterior a su proceso fermentativo se realizó un análisis, el cual mostró que el bokashi se caracterizó por tener pH de 6.5, relación C/N de 8.18 y una composición de: 20.04% materia orgánica, 11.62% de C, 1.42% de N_{total}, 0.23% de N_{nitrógeno}, 1.47% de P₂O₅, 1.42% de K₂O, 3.64% de CaCO₃, 0.8% de MgO, 1.02% de Fe²⁺, 0.04% de Zn²⁺, 0.00% de Cu²⁺, 0.06% de Mn²⁺ y 0.03% de B²⁺.

El bioinsumo ME es una solución que contiene varios microorganismos benéficos, por lo cual se necesitó recolectar material vegetal con cepas de hongos en áreas poco disturbadas. La elaboración de 200 L de ME se realizó siguiendo el proceso de Rebolledo *et al.* (2012); los insumos empleados fueron harina de maíz 2 kg, salvadillo 2 kg, carbón 0.5 kg y materia vegetal con cepas de 1 kg; el medio de fermentación fue una solución al 10% de melaza.

Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió al arreglo de las densidades de chicozapote con dos niveles y la parcela chica al manejo nutrimental de la yuca con tres niveles, y cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de parcelas de 20 m². Los tratamientos resultantes se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos nutrimentales evaluados en el estudio de yuca intercalada en chicozapote.

Tratamiento	Densidad de plantación de chicozapote	Manejo nutrimental de la yuca
1	156 árboles/ha	0
2	156 árboles/ha	2 kg bokashi/ planta
3	156 árboles/ha	146-46-60 kg /ha de N P K
4	312 árboles/ha	0
5	312 árboles/ha	2 kg bokashi/planta
6	312 árboles/ha	146-46-60 kg/ha de N P K

Variables evaluadas

Se midió la altura total de la planta (At, m) a los cinco meses del establecimiento, la cual se midió con un estadal desde la base hasta el ápice. La biomasa aérea (BA, kg), conformada por tallo, ramas y hojas, que se pesó en fresco con una balanza de mano con precisión al gramo. Peso de biomasa total de las raíces (BR, kg) de las plantas muestreadas, que se realizó en campo con una balanza con precisión al gramo; también se contabilizó el número de raíces comerciales por planta. Estas fueron transportadas a laboratorio de preparación de muestras de frutales tropicales del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP.

Con un colorímetro modelo WR10QC se tomó el color interno y externo de las raíces; los parámetros L a b fueron transformados a valores de hue y chroma, de acuerdo con lo establecido por McGuire (1992). Del total de raíces por planta, se tomó una submuestra de tres raíces representativas; a estas raíces se les determinó la longitud (cm) y diámetro promedio (mm); este último se determinó a partir de la medición en tres puntos por raíz, en las partes superior, media e inferior con el uso de un vernier.

El contenido de almidón se determinó mediante la gravedad específica, la cual es un método empleado para obtener los contenidos de materia seca y almidón en raíces, a través de una correlación estandarizada (Aristizábal y Sánchez, 2007). Esta variable se determinó de acuerdo con lo descrito por Aristizábal y Sánchez (2007), donde las raíces seleccionadas de forma individual son pesadas en el aire y dentro de agua. Los valores obtenidos se aplican en la Ecuación 1.

$$GE = \frac{Pfr_{ai}}{Pfr_{ai} - Pfr_{ag}} \dots\dots Ec. 1$$

donde GE es la gravedad específica; Pfr_{ai} corresponde al peso de las raíces en el aire y Pfr_{ag} es el peso de raíces en agua.

Se determinó el porcentaje de materia seca de acuerdo con la Ecuación 2.

$$\%MS = (GE \times 158.26) - 142.05\dots Ec. 2$$

Finalmente, este valor se empleó para calcular el porcentaje de almidón con la Ecuación 3.

$$\%AL = \%MS \times 0.875\dots Ec. 3$$

Donde %AL es el porcentaje de almidón, %MS es el porcentaje de materia seca (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab 19. Se verificaron los supuestos de normalidad con el estadístico Anderson Darling, autocorrelación mediante Durbin Watson y homogeneidad de varianzas con Bartlett, para las variables estudiadas. Posteriormente, se realizaron los análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y las comparaciones de media con la prueba de rango múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Las variables estudiadas cumplieron con los supuestos estadísticos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianza ($p > 0.05$). Los estadísticos descriptivos se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de los parámetros evaluados en yuca nutrida con diferentes fuentes e intercalada en chicozapote establecido a dos densidades de plantación.

Parámetro	Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Kurtosis
Biomasa aérea (kg/planta)	2.84	1.16	2.71	0.64	5.31	4.67	-0.56
Cantidad de raíces (número/planta)	10.75	4.36	10.00	4.00	23.00	19.00	-0.01
Biomasa radicular (kg/planta)	2.43	1.16	2.35	0.56	5.50	4.94	0.35
Longitud de raíz (cm)	30.85	10.87	30.10	9.50	73.00	63.5	0.94
Diámetro de raíces (mm)	32.91	5.15	33.05	16.37	43.97	27.6	0.29
Luminosidad externa	41.02	3.09	41.38	32.85	48.51	15.66	0.16
Saturación de color externa	21.91	1.89	21.45	18.10	27.24	9.14	0.16
Ángulo de tono externo (°)	56.61	1.91	56.33	53.62	64.84	11.22	7.11
Luminosidad interna	84.28	2.32	84.64	77.39	88.11	10.72	0.77
Saturación de color interna	11.72	1.32	11.97	9.05	14.23	5.17	-0.73
Ángulo de tono interno (°)	86.72	1.69	86.53	81.86	89.29	7.43	-0.01
Contenido de almidón (%)	26.85	8.09	29.57	14.18	44.58	30.4	-0.86

Los resultados por factor de las variables estudiadas contemplando la densidad de plantación del chicozapote y la nutrición, se muestran en los Cuadros 3 y 4, respectivamente.

Cuadro 3. Parámetros evaluados en yuca cultivada como intercalado en chicozapote establecido a dos densidades de plantación.

Parámetro	Densidad baja ^a		Densidad alta	
Biomasa aérea (kg/planta)	3.31	a	2.36	b
Cantidad de raíces (número/planta)	13.11	a	8.38	b
Biomasa radicular (kg/planta)	2.914	a	1.93	b
Longitud de raíz (cm)	32.54	a	29.16	a
Diámetro de raíces (mm)	34.62	a	31.20	b
Luminosidad externa	41.60	a	40.43	a

Parámetro	Densidad baja ^a		Densidad alta	
Saturación externa	22.66	a	21.15	b
Ángulo de tono externo (°)	56.85	a	56.36	a
Luminosidad interna	83.91	a	84.64	a
Saturación interna	11.51	a	11.93	a
Ángulo de tono interno (°)	85.99	b	87.44	a
Contenido de almidón (%)	29.58	a	24.11	b

^a Letras diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas significativas entre grupos. La densidad baja corresponde a 156 árboles/ha y la alta a 312 árboles/ha.

Cuadro 4. Parámetros evaluados en yuca cultivada con diferentes fuentes nutricionales.

Parámetro	Inorgánica ^a		Orgánica		Testigo	
Biomasa aérea (kg/planta)	3.55	a	2.93	a	2.02	b
Cantidad de raíces (número/planta)	11.66	a	10.75	a	9.83	a
Biomasa radicular (kg/planta)	2.63	a	2.37	a	2.26	a
Longitud de raíz (cm)	32.83	a	32.84	a	26.87	b
Diámetro de raíces (mm)	31.52	b	34.49	a	32.72	ab
Luminosidad externa	40.82	a	41.61	a	40.62	a
Saturación externa	22.41	a	21.82	a	21.50	a
Ángulo de tono externo (°)	56.95	a	56.32	a	56.54	a
Luminosidad interna	83.05	b	85.67	a	84.11	ab
Saturación interna	12.33	a	11.44	a	11.39	a
Ángulo de tono interno (°)	85.83	b	87.36	a	86.96	ab
Contenido de almidón (%)	24.90	b	29.71	a	25.94	ab

^a Letras diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas significativas entre grupos. El tratamiento de nutrición implicó la aplicación de 146-46-60 con Urea, DAP y K₂Cl para el inorgánico, y bokashi con ME para el orgánico. El testigo absoluto no tuvo fuentes nutricionales adicionales a las presentes en el suelo.

La biomasa aérea tiene su importancia en el sector ganadero, donde se ha considerado como una alternativa viable para cubrir la demanda de forraje que ha sido afectado por la variabilidad

climática (Gómez *et al.*, 2016). En el presente trabajo la variable biomasa aérea no presentó interacciones entre parcelas ($p=0.9453$); sin embargo, se observa que la densidad de plantación del chicozapote ($p=0.0041$) y la fertilización ($p=0.0027$) afectan significativamente esta variable, produciendo una mayor cantidad de biomasa cuando se intercala la yuca a una densidad menor y se aplica algún fertilizante. El cultivo de yuca intercalado en chicozapote a una densidad de 156 árboles/ha muestra una producción de biomasa aérea de 21.8 t/ha. Por otra parte, en el factor nutrición los tratamientos inorgánico y orgánico fueron estadísticamente iguales entre sí y mayores al testigo con una producción promedio de 21.38 t/ha. Los resultados obtenidos son superiores a los que reportaron Gómez *et al.* (2016), quienes evaluaron yuca a diferentes densidades y obtuvieron una producción de 11.1 t/ha a una densidad de 70 mil de biomasa aérea fresca de yuca que fue establecida en el Caribe Colombiano y cosechada en los primeros meses del año; esta diferencia probablemente se deba a que se cosecharon de los 75 a los 105 días.

La cantidad de raíces comerciales no presentó interacciones ($p=0.1127$), ni diferencias significativas por el factor nutrición ($p=0.4654$), pero si mostró significancia en cuanto a la densidad de plantación del chicozapote ($p=0.0004$). Con la densidad de 156 árboles/ha se tuvo mayor cantidad de raíces que con la densidad de 312 árboles/ha (Cuadro 3). La cantidad de raíces comerciales desarrolladas en este estudio (Cuadro 2) son similares a las reportadas por Amara *et al.* (2024) quienes caracterizaron un banco de germoplasma de yuca en Sierra Leona.

La biomasa radicular, se refiere al rendimiento total de las raíces comerciales. Esta variable no mostró interacción ($p=0.4642$), ni fue significativa en cuanto a la nutrición ($p=0.7018$), pero si en lo que respecta a su cultivo en un sistema intercalado a diferentes densidades ($p=0.0116$). El cultivo de yuca intercalado en chicozapote a una densidad de 156 árboles/ha, permite obtener 19.23 t/ha de raíces comerciales, mientras que si se intensifica la densidad de plantación del chicozapote se obtienen rendimientos significativamente menores de 12.73 t/ha (Cuadro 3). El peso por planta obtenido en el presente trabajo es menor al reportado por Amara *et al.* (2024); lo anterior se puede deber a múltiples factores como el genotipo, la densidad de plantación, el tiempo de plantación a cosecha y la época de cosecha.

La longitud de las raíces no fue afectada por la interacción de los factores estudiados ($p=0.7275$), ni por la densidad (0.0991), pero si por la nutrición aplicada ($p=0.0252$). Las raíces

de las yucas fertilizadas con fuentes orgánicas e inorgánicas fueron similares entre sí y superiores al testigo que mostró valores por abajo en un 18% (Cuadro 4).

El diámetro de raíces mostró una interacción entre factores ($p=0.0441$), donde una menor densidad y nutrición orgánica, permite obtener raíces más gruesas. Los factores densidad de plantación de chicozapote ($p=0.0002$) y nutrición ($p=0.0291$) también mostraron significancia en el modelo. Las comparaciones de medias indican que cuando la densidad es mayor se obtienen raíces 10% más delgadas que en la densidad más baja (Cuadro 3); asimismo, con una nutrición orgánica (Cuadro 4) se tienen raíces más gruesas, que las fertilizadas con fuentes inorgánicas. Esto probablemente se deba a que el fertilizante orgánico actúa como un mejorador de suelo brindando mejores condiciones para que las raíces puedan engrosar más fácilmente.

El color externo, la luminosidad y el ángulo de tono no fueron afectados por los factores estudiados ($p>0.05$). Mientras que, la saturación de color de la cáscara de la yuca fue afectada significativamente por la densidad de plantación del chicozapote ($p=0.0178$). En la densidad más baja hay una mayor saturación, es decir, el color se aprecia con mayor pureza.

En la parte interna de la raíz de yuca, el parámetro de luminosidad es afectado por la fuente nutrimental ($p=0.0199$) y el ángulo de tono por la densidad ($p=0.0052$) y la nutrición ($p=0.0397$), los demás factores no afectaron significativamente estas variables ($p>0.05$). La saturación de color fue estadísticamente igual en todas las condiciones estudiadas ($p>0.05$). Los resultados indican que las tonalidades de blanco en la pulpa son distintas, teniendo un mayor valor en la densidad más baja, mientras que, estos valores de 87° pueden alcanzarse con una nutrición orgánica. También se puede apreciar que una nutrición orgánica nos brinda una pulpa más brillante, que con las fuentes inorgánicas con tonos más opacos.

El contenido de almidón es la variable de calidad que se vincula con el uso de la yuca para obtener harinas, además de que es un carbohidrato que brinda en su mayoría las cualidades químicas y mecánicas. Los factores estudiados mostraron que su interacción afecta significativamente el almidón ($p=0.0003$) presente en la yuca, así como la densidad ($p>0.0000$) y la fuente nutrimental ($p=0.0104$). Con una baja densidad se obtiene yuca con mayor porcentaje de almidones (Cuadro 3). Por otra parte, la nutrición orgánica fue similar al testigo y sobresalió estadísticamente ante la nutrición inorgánica. Los resultados obtenidos son

congruentes con los valores reportados por Aristizábal y Sánchez (2007), quienes presentan valores de referencia del contenido de almidón de entre los 17.5 y 39.4%.

Conclusiones

La densidad de plantación y la nutrición influyen en las características de calidad y rendimiento de la yuca. La baja densidad del chicozapote permite que la yuca intercalada produzca mayor biomasa aérea, biomasa radicular y almidones. La nutrición orgánica es una buena opción para el cultivo de yuca, ya que brinda los mismos beneficios que la nutrición inorgánica en las características morfológicas de la yuca, pero con mejores cualidades en el contenido de almidón y coloración interna.

Literatura citada

- Alemán, R. E. P. 2018. Nutrición de tomate cherry, chile habanero y frijol en relevo de maíz intercalados en diferentes densidades de plantación de chicozapote. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, México. 138 p.
- Amara, V., A. E. Samura, P. E. Norman, S. A. Kanu, K. Y. Karim, F. Tiendrebeogo *et al.* 2024. Characterization of Cassava (*Manihot esculenta*) germplasm from Sierra Leone based on agro-morphological and culinary traits. *Horticulturae* 10:640.
- Aristizábal, J. y T. Sánchez. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO. Roma, Italia. 134 p.
- Díaz, T. P. A. y C. E. López C. 2021. Yuca: pan y carne, una alternativa potencial para hacer frente al hambre oculta. *Acta Biológica Colombiana* 26(2):235-246.

Durán, P. A., A. Vásquez H., I. Meneses M., M. Rodríguez C., M. A. Ramírez G. y J. Martínez H. 2023. Impacto económico del biofertilizante micorrízico INIFAP^{MR} en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Veracruz. p. 285-298. In: López, V. M. E., O.H. Tosquy V., N. Peralta A., R. L. Rebolledo G. y A. Capetillo B. (eds). Ciencia y Tecnología para un Campo Productivo y Sustentable. INIFAP. Paso del Toro, Veracruz, México.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2024. Food and agriculture data, cultivos y productos de ganadería, 2022. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [consultado el 31 de mayo de 2024].

Gómez, W. R., C. E. Cardona y S. T. Rivero. 2016. Producción y calidad del forraje de tres variedades de yuca bajo tres densidades de siembra. Temas agrarios 21(2):9-20.

Google Earth. 2024. <https://earth.google.com/web/@18.9367722,-96.19233498,15.86419775a,410.44557098d,35y,0h,0t,0r>

Howeler, R. H., N. Litaladio and G. Thomas. 2013. Save and grow: cassava: a guide to sustainable production intensification. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 129 p.

Laranjeira, P. M., I. M. Soares R., M. L. P. Corrêa R., J. Sousa C., C. I. Aguilar V., E. Gasparin, E. Freitas S., L. S. de Sousa. 2023. Green manure, a sustainable strategy to improve soil quality: a case study in an Oxisol from northern Brazil. Australian Journal of Crop Science 17(6):488-497. <http://www.doi.org/10.21475/ajcs.23.17.06.p3832>

Martínez-Ruiz, E. R, L. Tijerina-Chávez, A. E. Becerril-Román, A. Rebolledo-Martínez, C. Velasco-Cruz y A.L. del Ángel-Pérez. 2017. Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocerus undatus* Haw. Britt. & Rose). Agroproductividad 10(9):3-8.

McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27(12):1254-1255.

- Mendez, M. J. y S. E. Viteri. 2007. Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Bocayá. *Agronomía Colombiana* 25(1):168-175.
- Rebolledo, M. L., J. Nataren V., A. Rebolledo M. y A. L. Del Angel P. 2012. Elaboración de productos orgánicos: composta, bocashi, microorganismos locales, bioestimulantes, humo líquido y sulfocalcio. INIFAP. Medellín, Veracruz, México. 33 p.
- Salvador, E. M., V. Steenkamp and C. M. E. McCrindle. 2014. Production, consumption and nutritional value of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) in Mozambique: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 6(3):29-38.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Anuario estadístico de la producción agrícola por ubicación geográfica, yuca alimenticia. 2023. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 31 de mayo de 2024].
- Souza, S. N., J. M. Arcanjo A., S. C. Pereira U., J. A. Alves A., D. C. Oliveira S. y R. A. Molina A. 2024. Calidad de fruta de la piña y evaluación del consorcio del piñal, yuca y caupí. *Bioagro* 36(2):163-174. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro362.4>
- Suárez, G. L. y V. R. Mederos V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Tendencias actuales. Cultivos tropicales* 32(3):27-35.

RETENCIÓN DE FRUTOS EN VAINILLA (*Vanilla planifolia* G. Jackson) CON REGULADORES DE CRECIMIENTO

Juan Hernández Hernández^{131*}, Sergio Alberto Curti Díaz¹³² y Ángel Ríos Utrera¹³³

Resumen

La producción de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks), en México, es afectada por varios factores técnicos y socio económicos, uno de ellos, es el aborto o caída de frutos que ocurre entre los 42 y 60 días después de la polinización, que en algunos años llega al 90% de frutos abortados. El problema está asociado con el estrés que sufren las plantas por condiciones climáticas extremas. El objetivo del presente estudio fue validar el uso de los reguladores de crecimiento comerciales (RC), mezcla de 2,4-D (auxina; 32 ppm) y Forclorfenurón (citocinina; 5 mL/L de agua), para disminuir el aborto de frutos. La validación de esta tecnología generada en 2023, se está llevando a cabo en una plantación comercial de la localidad de Fuerte de Anaya, municipio de Tecolutla, Veracruz (20°18'37" LN y 96°59'29" LW, a una altitud de 7 m). Se realizaron dos aplicaciones de los RC a los 7 y 14 días después del término de floración y polinización de las flores y fueron dirigidas sólo a los racimos de frutos. Se registraron los frutos abortados en 50 matas de vainilla que fueron tratadas con RC y en 50 matas sin RC (testigo). Los avances obtenidos indican que, con la aplicación de los RC, el porcentaje de aborto por racimo fue de 28 contra 56 del testigo; es decir, que los RC redujeron a la mitad el aborto de frutos por racimo con relación al testigo. Mientras que el número de frutos caídos por mata fue de 69.56 contra 135.82 del testigo, por lo que la reducción de la caída de frutos fue de 48.8%. De acuerdo con estos avances de resultados y considerando un peso promedio de 16 g por fruto comercial, se estarían reteniendo alrededor de un kilogramo más de frutos por mata aplicando los RC. En una hectárea con 300 matas de vainilla, significa la obtención de 300 kg de frutos, lo que generaría un beneficio económico de \$150,000.00 con respecto al testigo. Esta tecnología validada representa una primera herramienta de bajo costo (\$5,000.00) para disminuir el aborto de frutos en vainilla.

Palabras clave: aborto, retención de frutos, citocininas, auxinas

¹³¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Ixtacuaco. *Autor por correspondencia: hernandezh.juan@inifap.mx.

¹³² INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla.

¹³³ Universidad Veracruzana.

Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson) es una especie que tiene su origen en el área de Mesoamérica (México y Centroamérica), y fue utilizada desde la época prehispánica. Es un producto industrial de importancia mundial, debido a que es utilizado como saborizante y aromatizante, en las industrias de alimentos, bebidas, perfumes y cosméticos. Como todo cultivo tiene varios factores que limitan su producción, uno de ellos es la caída o aborto de frutos que ocurre entre los 42 y 60 días después de la polinización manual.

En 2007, 2010 y 2011, el aborto de frutos significó pérdidas de hasta 90%, principalmente en los sistemas de cultivo “casa-sombra” y “campo abierto” con tutor de naranjo, ubicados en la zona costera, con altitudes menores a los 300 m (Hernández *et al.*, 2018). Por el contrario, en los últimos 12 años (2012-2023) el aborto de frutos varió de 10 a 50%. Este aborto de frutos se ha asociado al estrés que sufre la planta, debido a la ocurrencia de temperaturas mayores a 32°C y humedad relativa menor a 80% (Hernández *et al.*, 2019), condiciones que se han registrado en ciertos años, principalmente cuando han existido sequías prolongadas en el área productora del Totonacapan, del estado de Veracruz, México. Dicho estrés climático, aparentemente provoca un desbalance hormonal en la planta, disminuyendo las hormonas que favorecen la fijación del fruto, como las auxinas, giberelinas y citocininas e incrementando el etileno y ácido abscísico, que promueven su abscisión (Modise *et al.*, 2009; Khandaker *et al.*, 2016; Salazar *et al.*, 2016). Para compensar la disminución de estas fitohormonas, principalmente las auxinas, se han usado reguladores de crecimiento (Nawaz *et al.*, 2008; Kundu *et al.*, 2013).

Con la finalidad de buscar una solución a esta problemática de la vainilla en 2015 y 2016 se evaluaron los siguientes reguladores de crecimiento comerciales: clorhidrato de aminoetoxivinilglicina (AVG), 1-ácido naftalenacético (ANA), benciladenina (BA), ácido giberélico (AG3) y la mezcla de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) + forclorfenurón (CPPU). Estos reguladores de crecimiento tuvieron un efecto positivo en la retención de frutos de vainilla, principalmente con el 2,4-D a 32 ppm + forclorfenurón en concentración de 5 mL de producto comercial por litro de agua, con resultados promisorios en la reducción del aborto de frutos con respecto al testigo, en 30 y 36%, en 2015 y 2016, respectivamente (Hernández *et al.*, 2018; 2019). En el año 2023, se determinó que la mezcla de los reguladores de crecimiento

2,4-D (32 ppm) y forclorfenurón (5 mL L⁻¹ de agua) aplicada en dos ocasiones en la época temprana de desarrollo del fruto; la primera a los siete días después de la polinización (DDP) y la segunda a los 14 DDP o a más tardar a los 28 DDP, es la que da mejores resultados para disminuir el aborto de frutos en vainilla, sin tener un efecto negativo en el tamaño de los mismos. Pero, es necesario validar los resultados obtenidos experimentalmente para poder hacer recomendaciones técnicas a los productores sobre el uso de dichos productos químicos. El 2,4-D es una auxina que a dosis altas tiene propiedades de herbicida, pero a una baja concentración ha sido comúnmente utilizado, en muchos países, para retener los frutos de las hortalizas y frutales (Anthony y Coggins Jr. 2001; Khandaker *et al.*, 2016; Looney, 2018). Por otro lado, se señala que el forclorfenuron (CPPU) en dosis de 2 mL L⁻¹ de agua incrementa el amarre de frutos en mango Ataulfo, hasta cinco veces más que en los árboles testigo, sin aplicación (Pérez-Barraza *et al.*, 2009). Asimismo, el 2,4-D mezclado con Forclorfenuron tiene mayor amarre que cuando se aplica solo, como indicaron los resultados en la evaluación de RC en 2016 (Hernández *et al.*, 2017). Asimismo, Weijun *et al.* (2015) señalan que el 2,4-D no presenta riesgos significativos a la salud, después del consumo de frutas de cítricos tratados con esta auxina.

El objetivo del presente estudio fue validar el uso de reguladores de crecimiento comerciales, mezcla de 2,4-D y Forclorfenurón para disminuir el aborto de frutos de vainilla Cv. Mansa (*Vanilla planifolia* Jacks) ex Andrews, durante los primeros 60 días después de la polinización manual de las flores.

Materiales y métodos

Área de estudio

La validación de la tecnología generada se está realizando durante 2024 en un sistema de producción de vainilla, usando como tutores árboles de naranjo en la localidad de Fuerte de Anaya, municipio de Tecolutla, Ver. (20°18'37" LN y 96°59'29" LW), a una altitud de 7 m.

Número de plantas utilizadas

En la plantación del productor cooperante, se seleccionaron 100 matas de vainilla con características similares en cuanto a sanidad, vigor, inicio de floración y que tuvieran al menos 10 racimos de frutos, de las cuales 50 matas fueron tratadas con RC y 50 matas sin RC (testigo). En dos racimos o inflorescencias de cada mata seleccionada, se etiquetaron dos flores (una por racimo) las que abrieron y polinizaron ese día para saber a los cuantos días, después de la polinización, ocurría la caída de frutos. También, en estos dos racimos, se registró la cantidad de frutos abortados y retenidos por racimo.

Tecnología en proceso de validación

Consiste en validar el tratamiento de reguladores de crecimiento que funcionó mejor en la etapa experimental que fue la solución de 2,4-D (auxina; 32 ppm) y Forclorfenurón (citocinina; 5 mL/L de agua). Se realizaron dos aplicaciones el 15 y 22 de mayo de 2024, es decir, a los siete días y 14 días después del término de la polinización. Se aplicó con una bomba manual con capacidad de 20 L de agua, dirigidas solo a los racimos de frutos en 50 matas.

Registro de variables

Número y peso de frutos abortados por mata. Una vez que inició el aborto, se recogieron los frutos caídos en cada una de las 100 matas seleccionadas, de una a dos veces por semana durante el periodo del 27 de mayo al 19 de junio de 2024. Se registró el número y peso de frutos caídos por mata de vainilla.

Número de frutos abortados por racimo. Se registró el número de frutos abortados por racimo durante el periodo señalado. El porcentaje de frutos retenidos se obtuvo con base al número inicial y final de los frutos presentes en cada racimo. Todavía no se tiene el dato definitivo de número de frutos abortados y retenidos por racimo y mata, porque todavía se pueden seguir cayendo, dependiendo de cómo se vayan presentando las condiciones del tiempo durante el mes de julio y que todavía existan frutos tiernos (sin semillas formadas) susceptibles de abortar. Mientras que el rendimiento y tamaño de los frutos retenidos se obtendrá cuando se realice la cosecha (diciembre).

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los avances de resultados de las variables número de frutos abortados por racimo y por mata registrados hasta el 19 de junio de 2024.

Porcentaje de frutos abortados por racimo

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de aborto por racimo (promedio de 100 racimos por tratamiento) y puede observarse que en las plantas tratadas con la solución de los (RC), se obtuvo un 28% de frutos caídos o abortados por racimo contra 56% en el testigo, es decir, una caída de 50% mayor donde no se aplicaron los RC.

Cuadro 1. Porcentaje de frutos abortados por racimo en vainilla *Vanilla planifolia* Jacks Andrews en la parcela de validación de la tecnología sobre retención de frutos con reguladores de crecimiento. Ejido Fuerte de Anaya, Tecolutla, Ver. 2024.

Tratamiento	Tecnología INIFAP (con RC)	Testigo del productor (sin RC)	Diferencia
No. de frutos totales/racimo	9.02	8.64	0.38
No. de frutos abortados/racimo	2.57	4.84	2.33
Porcentaje de aborto/racimo	28.492	56.018	27.526

Estos resultados son similares a los obtenidos experimentalmente en años anteriores (Hernández *et al.*, 2018; 2019). Se esperaba mayor efecto positivo de los RC aplicados, pero posiblemente por las elevadas temperaturas y la sequía que se presentaron por casi dos meses, no fue posible obtener mayor respuesta para disminuir el aborto. También se considera que la aplicación de los RC, se debió hacer 15 días antes de la primera aplicación realizada (15 de mayo), ya que, el aborto ocurrió más temprano de lo normal (12 de mayo), cuando generalmente ocurre a finales de mayo de cada año.

Número de frutos abortados por mata

El número promedio de frutos abortados por mata fue de 69.56 en el tratamiento con RC y 135.82 en el testigo; es decir, se logró reducir la cantidad de frutos abortados en un 48.8% con los RC (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de frutos abortados en matas de vainilla tratadas con RC y en matas testigo. Fuerte de Anaya Tecolutla, Ver. 2024.

Fechas de recolección de frutos abortados	Con RC (Tecnología INIFAP)	Sin RC (testigo del productor)	Diferencia (%)
27/05/2024	181	348	47.98
30/05/2024	711	1823	61.00
04/06/2024	1866	2105	11.35
07/06/2024	291	792	63.26
11/06/2024	195	749	73.96
14/06/2024	158	607	73.97
19/06/2024	76	367	79.29
Total	3478	6791	48.80
Promedio/mata	69.56	135.82	48.80

Falta determinar el porcentaje de frutos abortados por mata, debido a que todavía no se contabiliza el número total de frutos que existen por mata.

Los frutos recogidos señalados en el Cuadro 2, se pesaron en una báscula digital y los resultados se presentan en el Cuadro 3. El peso promedio/mata de frutos caídos fue de 0.5 kg y 1.0 kg en las matas tratadas con RC y sin RC, respectivamente.

Los primero frutos en abortar fueron de la parte basal del raquis o sea de las primeras flores polinizadas de cada racimo. El aborto ocurrió en frutos que tenían una edad entre 41 y 45 días. Estos frutos por ser tiernos, no tienen ningún valor comercial.

Cuadro 3. Cantidad de frutos abortados en matas tratadas con y sin RC. Fuerte de Anaya Tecolutla, Ver. 2024.

Fechas de recolección de frutos abortados	Tecnología del INIFAP con RC (kg)	Testigo del productor sin RC (kg)	Diferencia numérica
27/05/2024	1.541	3.039	1.498
30/05/2024	6.055	15.920	9.865
04/06/2024	11.320	11.975	0.655
07/06/2024	2.095	4.435	2.340
11/06/2024	1.040	3.640	2.600
14/06/2024	0.845	3.555	2.710
19/06/2024	0.390	1.900	1.510
Total	23.286	44.464	21.178
Promedio/mata	0.46572	0.88928	0.423

El tamaño de frutos caídos fue similar en ambos tratamientos (con RC y sin RC), el mayor porcentaje de ellos fueron de tamaño medio (51 y 56%), seguido de frutos pequeños (34 y 31%) y los frutos grandes solo un 14 y 12% (Cuadro 4), ello como consecuencia de la sequía prolongada que se tuvo durante el periodo de crecimiento de frutos. Los frutos que abortan no tienen semilla formada, son flácidos y son de menor peso, (promedio de 8 g por fruto de tamaño mediano) pero éstos podrían haber alcanzado 16 g por fruto en su madurez comercial.

Cuadro 4. Porcentaje de los frutos abortados por tamaño (longitud de fruto) de vainilla *Vanilla planifolia* Jacks Andrews en la parcela de validación de la tecnología sobre retención de frutos en vainilla con reguladores de crecimiento. Ejido Fuerte de Anaya, Tecolutla, Ver.

Tamaño de fruto	Tecnología INIFAP con RC (%)	Testigo del productor sin RC (%)
Grandes (mayor de 18 cm)	14.07	12.24
Medianos (15-18 cm)	51.41	56.57
Pequeños (menor de 15 cm)	34.52	31.19
Total	100	100

Olas de calor

En mayo y junio de 2024, las olas de calor fueron más intensas y prolongadas, aunado a la sequía por casi dos meses, provocando temperaturas y humedad relativa más extremas que en otros años y justamente coincidió con el periodo de floración y crecimiento de frutos. Las temperaturas mayores de 32°C y humedad relativa mínimas se registraron desde las 10:00 am hasta las 19 horas, durante el mes de mayo y parte de junio. Estas temperaturas mayores a los 32°C provocaron el aborto de los frutos (Hernández *et al.*, 2019). En el Cuadro 5 se muestran los registros de temperatura máximas y humedad relativa mínimas que se presentaron en la localidad de Fuerte de Anaya, Tecolutla, Ver.

Cuadro 5. Temperatura máxima absoluta (TMAX), número de horas con temperatura mayor a 32°C (HTM), humedad relativa mínima (HRMIN), número de horas con humedad relativa menor a 80% (HHR) y precipitación pluvial (PP) registrada durante el periodo de aborto de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews). Fuerte de Anaya, Tecolutla, Veracruz, México. Mayo y junio de 2024.

Fecha	TMAX	HTM	HRMIN	HHR	PP (mm)
15/05/2024	34.545	4	66.687	4	0
16/05/2024	34.519	7	73.027	7	0
17/05/2024	37.042	8	64.463	8	0
18/05/2024	35.662	8	69.984	7	0
19/05/2024	35.475	7	71.88	6	0
20/05/2024	34.019	7	74.799	3	0
21/05/2024	36.119	7	67.387	7	0
22/05/2024	34.81	5	73.222	5	0
23/05/2024	36.471	8	65.701	7	0
24/05/2024	36.254	7	64.156	6	0
25/05/2024	35.555	8	67.093	7	0
26/05/2024	37.645	9	60.503	9	0
27/05/2024	36.389	9	70.909	7	0
28/05/2024	34.783	5	75.791	3	0

Fecha	TMAX	HTM	HRMIN	HHR	PP (mm)
29/05/2024	34.572	7	67.635	6	0
30/05/2024	35.475	6	64.90	6	0
31/05/2024	35.368	7	65.735	6	0
01/06/2024	34.942	7	71.66	6	0
02/06/2024	35.342	8	66.729	9	0
03/06/2024	37.425	7	57.736	8	0
04/06/2024	37.288	7	60.768	8	0
05/06/2024	38.476	9	55.85	11	0
06/06/2024	34.942	7	68.972	6	0
07/06/2024	34.81	7	63.208	7	0
08/06/2024	33.678	7	71.764	8	0
09/06/2024	34.942	7	65.905	8	0
10/06/2024	34.836	7	71.793	6	0

Pérdida potencial de la producción

De acuerdo con la cantidad de frutos abortados por mata (135 frutos en el testigo) y considerando un promedio de 16 gramos por fruto comercial, se estarían perdiendo alrededor de 2 kg de frutos por mata. En una hectárea de cultivo, con referencia a la plantación donde se está validando la tecnología, es de 300 matas, lo cual, significaría 600 kg, con un precio esperado de \$500.00/kg, lo que representaría una pérdida de \$300,000.00 por hectárea.

Beneficios de la tecnología

Con la aplicación de los reguladores de crecimiento se obtiene 1 kg más de frutos retenidos por mata (66 frutos) en comparación con el testigo, que equivaldrían a 300 kg de frutos y un ingreso económico de \$150,000.00 por hectárea.

Costo de la tecnología

La dosis que se aplica de los RC es mínima, principalmente del 2,4-D, pues en una hectárea se utilizarían 6 mL de 2,4-D y 500 mL de Forclorfenurón, ambos de productos comerciales

disueltos en 100 L de agua para asperjar en 300 matas, pero solo dirigidos a los racimos, no en toda la planta. Por lo anterior, el costo de la tecnología sería de aproximadamente \$5,000.00 por hectárea e incluye la mano de obra por las dos aplicaciones.

Transferencia de tecnología

Se impartió un curso taller de capacitación a productores y profesionistas del sector para el control del aborto de frutos en vainilla con reguladores de crecimiento.

Conclusiones

Los reguladores de crecimiento disminuyeron el aborto de frutos en 50% por racimo, porcentaje similar a los obtenidos a nivel experimental en años anteriores. También, redujeron en 48.8% el número de frutos abortados por mata con relación al testigo. Por lo cual, esta tecnología validada es viable y rentable para los productores de vainilla.

Literatura citada

- Anthony, M. F. and Ch. W. Coggins Jr. 2001. NAA and 3,5,6-TPA control mature fruit drop in California citrus. *Hortic. Sci.* 36(7):1296-1299.
- Hernández, H. J., S. A. Curti D. y A. Ríos U. 2017. Retención de frutos en *Vanilla planifolia* Jacks Ex. Andrews con reguladores de crecimiento. p. 683-691. *In:* Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., A. Ríos U., M. V. Vázquez H. y C. Perdomo M. (eds.). Memoria de la Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, 2017. III Reunión Internacional Científica y Tecnológica. III Congreso Mexicano de Investigación en Cítricos. VI Symposium Internacional Avicultura Familiar y de Traspatio. Veracruz, Ver., México.

- Hernández, H. J., S. A. Curti D. y A. Ríos U. 2018. Disminución del aborto de *Vanilla planifolia* Jacks Ex. Andrews con reguladores de crecimiento. p. 195-204. *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., *et al.* (eds.). Memoria de la Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, 2018. III Reunión Internacional Científica y Tecnológica. III Congreso Mexicano de Investigación en Cítricos. VI Symposium Internacional Avicultura Familiar y de Traspatio. Veracruz, Ver., México.
- Hernández, H. J., S. A. Curti D. y A. Ríos U. 2019. Retención de frutos en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews con reguladores de crecimiento. *Agron. Mesoam.* 30(3):695-704.
- Khandaker, M. M., N. Suhaida I., S. Zuriani I., A. Majrashi, A. Alebedi and N. Mat. 2016. Causes and prevention of fruit drop of *Syzygium samarangense* (Wax Apple): A Review. *Adv. Environ. Biol.* 10(11):112-123.
- Kundu, M., R. Joshi, P. N. Rai and L. D. Bist. 2013. Effect of plant bio-regulators on fruit growth, quality and productivity of pear [*Pyrus pyrifolia* (Brum.) Nakai] Cv Gola under Tarai condition. *J. Appl. Hortic.* 15(2):106-109.
- Looney, N. E. 2018. Growth regulator usage in apple and pear production. p. 1-26. *In*: Nickell, L. G. (ed.). Plant growth regulating chemicals. Vol 2. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Modise, D. M., A. S. Likuku., M. Thuma and R. Phuti. 2009. The influence of exogenously applied 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on fruit drop and quality of navel oranges (*Citrus sinensis* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 8 (10):2131-2137.
- Nawaz, A. M., W. Ahmad, S. Ahmad and M. Mumtazkan. 2008. Role of growth regulators on preharvest fruit drop, yield and quality in kinnow mandarin. *Pak. J. Bot.* 40(5):1971-1981.

- Pérez-Barraza, M. H., V. Vázquez-Valdivia, J. A. Osuna-García y M. A. Urías-López. 2009. Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango “Ataulfo” con reguladores de crecimiento. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15:183-188.
- Salazar, R, V. M., E. Sandoval Z., C. V. Granados H., Y. Cruz R., B. E. Herrera C. y J. E. Campos C. 2016. Descripción estructural y funcional de caída prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews. Agroproductividad 9:17-18.
- Weijun, Ch., J. Bining, S. Xuesu and Z. Qiyang. 2015. Dissipation and residue of 2,4-D in citrus under field condition. Environ. Monit. Assess 187:302.

CRECIMIENTO DE TRES VARIEDADES DE PLÁTANO EN UN MONOCULTIVO BAJO SOMBRA ESPECIALIZADA DE CAFÉ

Rolando M. Tlaxcala Méndez^{134*}, M. del Carmen Pablo Mendoza¹³⁵, Areisy Saldaña Eslava¹³⁶, Rosalío López Morgado¹³⁷, Eileen Salinas Cruz¹³⁸ y J. Antonio Hernández Moreno¹³⁴

Resumen

Los cultivos intercalados con café ofrecen ingresos adicionales al cultivo principal, sin embargo, la compresión de la dinámica de crecimiento en las variedades de plátano es aún limitado por el escaso ajuste de modelos predictivos, por lo anterior, se planteó el objetivo de cuantificar el crecimiento inicial promedio y la tasa de crecimiento mensual del diámetro base (Db) y la altura total del pseudotallo (H) de tres variedades de plátano (manzano, enano gigante y roatán) intercalados en un monocultivo bajo sombra especializada de café con *Inga vera*. Para ello, se tomaron datos de crecimiento en Db y H de forma mensual durante un periodo de ocho meses, se ajustaron dos modelos de regresión lineal simple (MRLS) los cuales se complementaron con una prueba de adicionalidad para detectar diferencias estadísticas en los parámetros del intercepto (crecimiento inicial promedio de Db o H) y de la pendiente (tasa de crecimiento mensual en Db o H) a una probabilidad de rechazo de $p \leq 0.05$. Los resultados no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el tamaño inicial y en la tasa de crecimiento mensual promedio del Db de las variedades enano gigante y roatán por adición a la variedad manzano, por el contrario, en el tamaño inicial promedio de la H se observaron diferencias estadísticas significativas de enano gigante y roatán por adición a manzano ($p \leq 0.05$), así mismo, en la tasa de crecimiento mensual promedio en H también se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), la mayor tasa de crecimiento mensual promedio en H lo registró la variedad roatán con 0.131 m/mes. Para finalizar, en cuanto a los supuestos de los MRSL los residuales presentaron normalidad, sin embargo, muestran problemas de heterocedasticidad, aun así, los MRLS muestran una aproximación sobre el comportamiento de los datos de crecimiento de cada variedad de plátano.

Palabras clave: MRLS, SAFC, variables dummy

¹³⁴ INIFAP, Campo Experimental El Palmar. *Autor para correspondencia: tlaxcala.rolando@inifap.gob.mx

¹³⁵ INIFAP, Campo Experimental Ixtacuaco.

¹³⁶ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Campus Tezonapa.

¹³⁷ INIFAP, Sitio Experimental Teocelo.

¹³⁸ INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas.

Introducción

La constante variación de los precios internacionales del grano del café y los altos costos de producción, justifican la siembra de cultivos intercalados, como complemento de los ingresos, que además de generar empleos, mejora la seguridad alimentaria de los cafeticultores (Moreno *et al.*, 2005). Los sistemas de producción de plátano proporcionan ingresos adicionales a los caficultores, una parte de la producción podría ser destinado al mercado local mientras que otra puede ser parte de los alimentos de la canasta familiar del productor, por lo que adquiere un valor de uso (Farfán, 2006; Jassogne *et al.*, 2013). Existe poca diferencia en los costos de inversión de cultivos intercalados con café y los no intercalados, además los rendimientos netos más altos se obtienen con cultivos intercalados, estudios sugieren una densidad de plantación entre 298 a 340 individuos de plátano por hectárea en cafetales, permiten obtener racimos de buen peso y calidad durante los primeros años de producción sin afectar la producción del café (Moreno *et al.*, 2013; Zapata, 2019).

Además de las ventajas socioeconómicas de intercalar café con plátanos, existen numerosas interacciones biofísicas importantes, por ejemplo, el plátano ofrece una cobertura sobre el suelo manteniendo bajas tasas de erosión en los cafetales, además, las plantas de plátano pueden proporcionar sombra a los cafetos estabilizando o aumentando el rendimiento del café y la calidad, dado que, el precio del café depende cada vez más de la calidad (Jassogne *et al.*, 2013b). Para intercalar con éxito café y plátano, es necesario gestionar la competencia por la luz, el agua y los nutrientes entre ambos cultivos, para ello es importante elegir la variedad de plátano apropiada, además de realizar buenas prácticas como la regulación de arvenses y las podas, también es importante efectuar un buen manejo agronómico mediante el aporte de materia orgánica, reciclaje de nutrientes y fertilizaciones (Jassogne *et al.*, 2013c).

La región cafetalera de Zongolica presenta las condiciones agroecológicas óptimas para intercalar el café/plátano, en este sentido los productores de la región intercalan el cultivo del café una alta diversidad de variedades de plátano en sus unidades de producción, por ejemplo, roatán, dominico, manzano, enano, bolsa, morado, entre otros. Por otro lado, a pesar que varias instituciones han generado tecnologías para el manejo del cultivo del plátano, los estudios de crecimiento de las plantas son escasos limitando la comprensión de la dinámica de desarrollo del cultivo del plátano (Aristizábal, 2008). Por lo anterior, el objetivo del presente

trabajo fue cuantificar y comparar la tasa de crecimiento mensual en diámetro y altura de tres variedades de plátanos establecidos en un sistema agroforestal de café (SAFC) en Zongolica, Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en un experimento agroforestal en la comunidad de Coapa Pinopa, Zongolica, Veracruz, ubicado en las coordenadas 18°37'35.85" latitud N y 96°55'56.15" longitud O, a una altitud es de 1,200 msnm. El clima es semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf), temperaturas de 14 a 26° C, precipitaciones de 2,400 a 3,100 mm, la fisiografía es de sierra de cumbres tendidas con suelos Luvisoles y Acrisoles (INEGI, 2009).

Establecimiento de la plantación

En julio del 2023 se intercalaron tres variedades de plátano (enano gigante, manzano y roatán) en un monocultivo de café bajo sombra especializada con *Inga vera*, la superficie empleada fue de 7,000 m², de los cuales 2,333 m² fueron usadas para cada variedad de plátano. En total se plantaron 144 plátanos, 48 individuos por variedad. Los cormos de plátano fueron desinfectados y recortados a 30 cm (Figura 1 A) para ser sembrados en hoyos de 40 cm de diámetro y 40 cm profundidad, el marco de plantación fue de 6 x 6 m, al momento de la siembra se aplicó 50 g de fosfato diamónico (DAP, 18-46-0) (Figura 1 B) y cada 3 meses se aplicó 80 g de fertilizante 19-4-19 +3 (MgO) +1.8 (S) + 0.1 (B) + 0.1 (Zn) por individuo.



Figura 1. A) desinfección y B) siembra de los cormos de plátano.

Toma de datos de crecimiento

Los datos de crecimiento fueron tomados de manera mensual a partir del día 48 después de haber establecido los plátanos, las variables registradas fueron, diámetro base en cm (Db a 5 cm arriba del suelo) con una cinta diamétrica, altura total del pseudotallo en m (H desde la base hasta la punta del pseudotallo) con un flexómetro y la edad de la plantación en meses (M), el registro de los datos se realizó durante un periodo de ocho meses.

Análisis de las tasas de crecimiento mediante el modelo de regresión lineal simple

Los datos de crecimiento de las tres variedades de plátano se ajustaron a un modelo de regresión lineal simple (MRLS) (Ec. 1), este MRLS también fue empleado por Rodríguez *et al.* (2006) para analizar el crecimiento de plátano de la variedad enano gigante. Adicionalmente, para cuantificar las tasas de crecimiento se aplicó la metodología propuesta por Montero *et al.* (2011), en el que a través del modelo del MRLS y su ajuste por el método de mínimos cuadrados ordinarios, se estimaron los parámetros de los tamaños iniciales promedio y de los parámetros de las tasas de crecimiento mensual promedio de las variables de Db y H (Ec. 1), así mismo, para detectar la existencia de diferencias significativas entre las variedades en el MRLS, este se complementó con una prueba de adicionalidad incorporando variables Dummy al factor variedad (Ec.2 y Ec. 3). La variedad base fue manzano por presentar mayor número

de observaciones. Los datos se procesaron en el software R Studio con el paquete estadístico lm.

$$Y = \alpha + \beta \times (X) + \varepsilon \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\beta = \beta_0 + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde, Y es la variable respuesta (Db o H); X es la variable regresora de la edad (M); α_0 es el tamaño inicial promedio de la variedad base (manzano); $\alpha_i Z_i$ adicionalidad al tamaño inicial promedio de la variedad a la referencia, que representan la condición inicial de la i-ésima variedad que puede ser enano gigante o roatán; β_0 es la tasa de crecimiento mensual promedio de la variedad base (manzano); $\beta_i Z_i$ es la adicionalidad a la tasa de crecimiento mensual promedio a la variedad de referencia, que también puede ser la i-ésima variedad de enano gigante o roatán, respectivamente (pendiente de la recta).

Resultados y discusión

Tasa de crecimiento en el diámetro base

La prueba de adicionalidad por variedad de plátano en el MRLS a una probabilidad de rechazo de $p \leq 0.05$, indica que el parámetro del intercepto de la variedad base (manzano) registró un tamaño inicial promedio en el diámetro base (Db) de 2.857 cm y no se observaron diferencias significativas con las variedades enano gigante y roatán que alcanzaron valores de 2.652 cm y 2.661 cm, respectivamente. Por otro lado, durante los ocho meses el análisis sugiere una tasa de crecimiento en Db de 0.748 cm/mes para la variedad manzano y también no se observan diferencias significativas con las variedades enano gigante con 0.799 cm/mes ($p > 0.05$) y roatán con 0.803 cm/mes ($p > 0.05$) (Cuadro1). Los datos de diámetro base en función del tiempo se visualizan en la Figura 2. El MRLS obtuvo un valor en el coeficiente de determinación ajustado de 0.634.

Cuadro 1. Resultados de la prueba de adicionalidad del diámetro base (Db) en función del tiempo (M) en el modelo de regresión lineal simple con variables Dummy.

Variedad de plátano	Parámetro	Estimador	Adicionalidad (Db en cm)	Error estándar	Valor de t	Valor de rechazo $Pr> t $
Manzano	α_0	2.858	2.858	0.17215	16.605	$< 2e-16$
Enano gigante	α_1	-0.205	2.652	0.24387	-0.842	0.400
Roatán	α_2	-0.197	2.661	0.24448	-0.805	0.421
Manzano	β_0	0.748	0.748	0.03061	24.449	$< 2e-16$
Enano gigante	β_1	0.051	0.799	0.04277	1.186	0.236
Roatán	β_2	0.055	0.803	0.04282	1.284	0.200

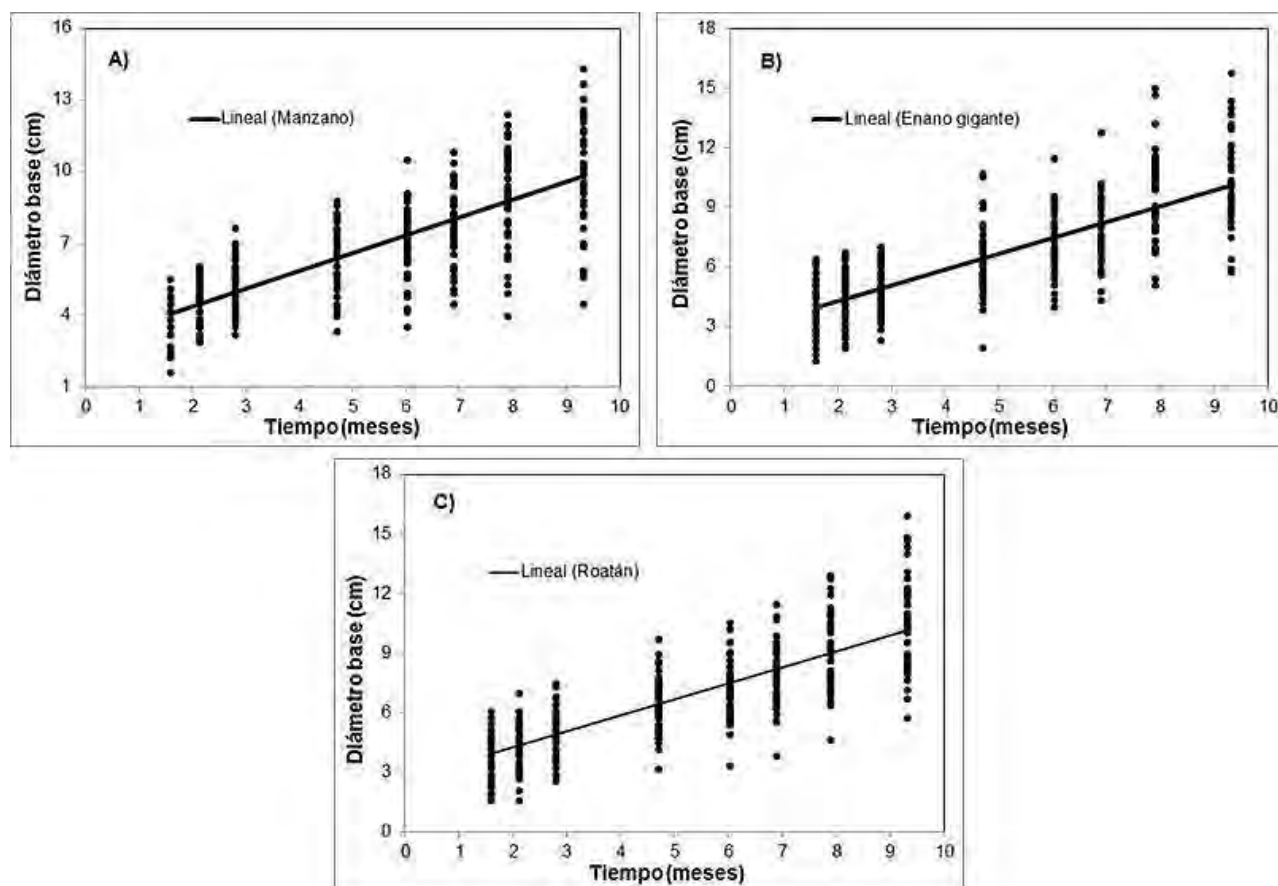


Figura 2. Líneas de regresión lineal del diámetro base (DB) en función del tiempo (M) por variedad de plátano.

Tasa de crecimiento en altura del pseudotallo

Para la variable altura total del pseudotallo (H), el valor inicial en el intercepto de la variedad base (manzano) fue de 0.365 m, la variedad enano gigante presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con un valor inicial de 0.154 m, la variedad roatán también presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con un valor inicial de 0.167 m, todos por adición a la variedad manzano (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de la prueba de adicionalidad de la altura (H) en función del tiempo (M) en el modelo de regresión lineal simple con variables Dummy.

Variedad de plátano	Parámetro	Estimador	Adicionalidad (H en m)	Error estándar	Valor de t	Valor de rechazo $Pr > t $
Manzano	α_0	0.365	0.365	0.024	15.173	$< 2e-16$
Enano gigante	α_1	-0.211	0.154	0.034	-6.195	8.06E-10
Roatán	α_2	-0.197	0.167	0.034	-5.782	9.49E-09
Manzano	β_0	0.118	0.118	0.004	27.604	$< 2e-16$
Enano gigante	β_1	-0.021	0.097	0.006	-3.496	0.000491
Roatán	β_2	0.013	0.131	0.006	2.208	0.027428

Por otra parte, la tasa de crecimiento en H para manzano fue de 0.118 m/mes, para enano gigante fue de 0.097 m/mes y roatán con 0.131 m/mes, ambas con diferencias significativas ($p < 0.05$) por adición a la variedad manzano. Los valores de las tasas de crecimiento en altura en las tres variedades son similares a los estimados por Rodríguez *et al.* (2006b) con 0.123 m/mes, 0.162 m/mes y 0.174 m/mes en un sistema intercalado de café-plátano variedad enano gigante. Cabe señalar, que el plátano roatán es una variedad de porte alto, por lo tanto, la tasa de crecimiento es significativamente mayor al resto de las variedades evaluadas (Figura 3). El MRLS obtuvo un valor de 0.694.

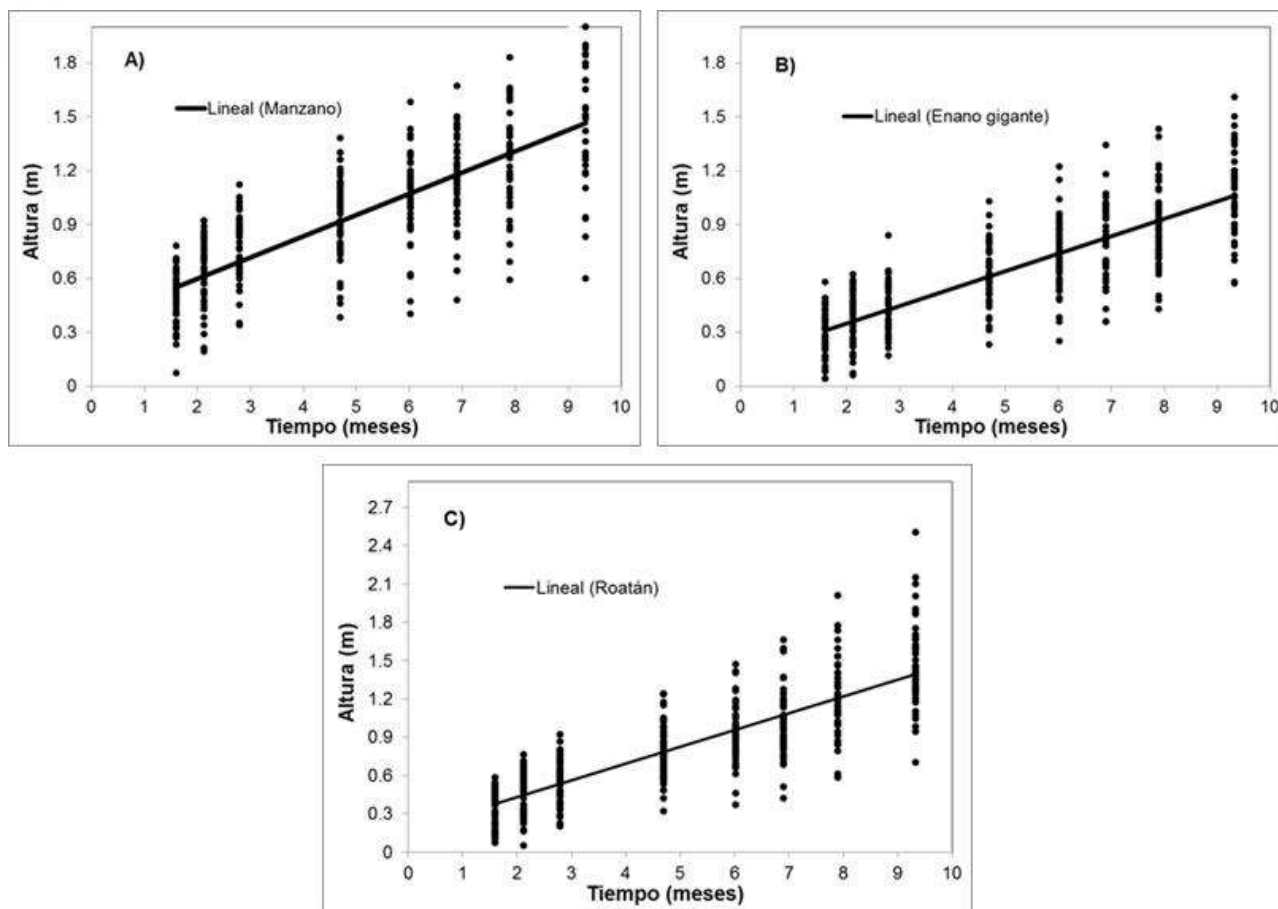


Figura 3. Líneas de regresión lineal de la altura del pseudotallo (H) en función del tiempo (M) por variedad de plátano.

En cuanto a los supuestos de la regresión, los histogramas de residuos de los modelos muestran una distribución normal. Sin embargo, al graficar los residuos frente a los valores ajustados por los modelos, estos tienden a distribuirse de forma cónica sobre el eje cero, por lo tanto, se asume problemas de heterocedasticidad (Figura 4). Este supuesto se puede corregir realizando una transformación a los datos, por ejemplo, una ponderación o una transformación logarítmica haciendo más sensible las pruebas de hipótesis en los parámetros del intercepto (crecimiento inicial) y la pendiente (tasa de crecimiento mensual) (Montgomery *et al.*, 2004). No obstante, este primer análisis muestra una aproximación de los valores iniciales promedios y las tasas de crecimiento del diámetro base (Db) y la altura total del pseudotallo (H) en función del tiempo (M) por variedad de plátano. En este sentido, para las variables Db no se observaron diferencias significativas en los parámetros del intercepto y la

pendiente, por el contrario, para la H la variedad manzano sobresalió con un crecimiento inicial promedio de 0.365 m, pero la mayor tasa de crecimiento en H lo presenta la variedad roatán con 0.131 m/mes.

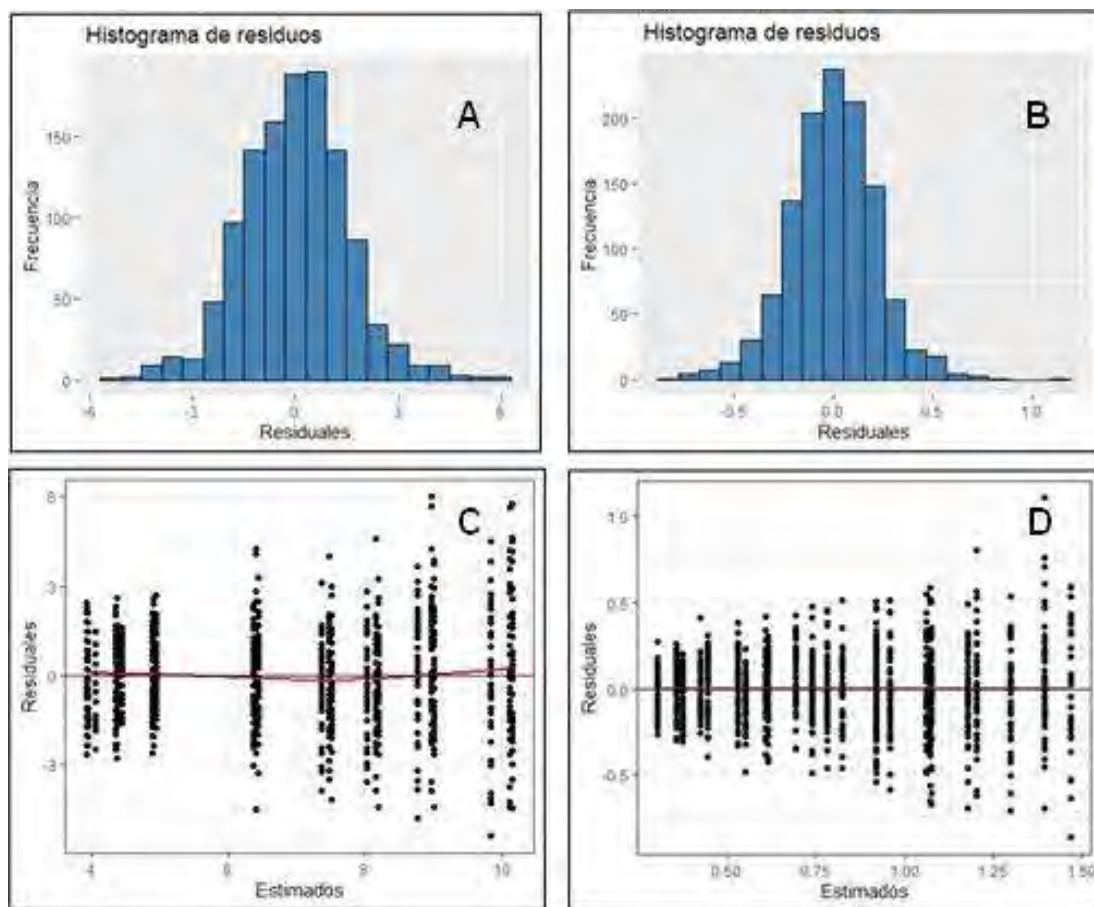


Figura 4. Histograma y variabilidad de residuos del MRLS en el diámetro base (A y C) y de la altura total (H) del pseudotallo (B y D).

Conclusiones

1. La prueba de adición en el MRLS de la variable diámetro base (Db) en función del tiempo (M) no mostró diferencias estadísticas significativas en los parámetros del intercepto y de la pendiente de las variedades enano gigante y roatán por adición a la variedad manzano.
2. Por el contrario, con la variable altura total del pseudotallo (H) en función del tiempo (M) la

prueba reveló diferencias significativas en las variedades enano gigante y roatán por adición a la variedad manzano. 3. La variedad de plátano roatán fue estadísticamente superior en su tasa de crecimiento en altura, con 0.131 m/mes, pues esta es una variedad de porte alto en comparación al resto de las variedades empleadas; la desventaja de los plátanos de porte alto es que dificultan su manejo agronómico como por ejemplo en la aplicación de fertilizantes foliares o funguicidas, así como en las podas de saneamiento, de formación y de mantenimiento; contrariamente a los individuos de porte medio y bajo donde es más fácil realizar diversas actividades de manejo en el follaje. 4. Para finalizar, la asociación de plátano en las unidades de producción de café representa un ingreso adicional para el productor y para el autoconsumo familiar.

Agradecimientos

Proyecto: “Evaluación de la producción y rentabilidad financiera de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L.-*Musa* sp. con barreras vivas en la región de Zongolica, Veracruz” (No. de proyecto SIGI -1-1.6-13405036178-M-M.2-2).

Literatura citada

- Aristizábal, M. 2008. Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano hondureño enano (*Musa* AAB) en una región cafetera colombiana. *Agronomía*, 16(2):23-30.
- Farfan, F. 2006. Producción de café en un sistema intercalado con plátano Dominico Hartón con y sin fertilización química. *Cenicafé* 56 (3): 269-280.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Zongolica, Veracruz de Ignacio de la Llave. 9 p.

- Jassogne, L., van Asten, P. J., Wanyama, I., & Baret, P. V. 2013. Perceptions and outlook on intercropping coffee with banana as an opportunity for smallholder coffee farmers in Uganda. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(2): 144-158.
- Jassogne, L., Nibasumba, A., Wairegi, L., Baret, P. V., Deraeck, J., Mukasa, D. *et al.*. 2013. Coffee/banana intercropping as an opportunity for smallholder coffee farmers in Uganda, Rwanda and Burundi. In *Banana Systems in the Humid Highlands of Sub-Saharan Africa: enhancing resilience and productivity* (pp. 144-149). Wallingford UK: CABI.
- Montero S., F. M., Valdez H., J. I., De Los Santos P., H. M., Cetina A., V. M., & Sánchez V.L. R. 2011. Crecimiento inicial de especies arbóreas multipropósito en un terreno ganadero del norte de Veracruz. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3): 53-68.
- Montgomery D. C., E. A. Peck, and G. G. Vining, 2004. *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*. Editorial CECSA, México, D. F. 588 p.
- Moreno, A., Hernández, E., & Grisales, F. 2005. Productividad del sistema: Café intercalado con plátano en barreras. *Productividad del Sistema: Café Intercalado con Plátano en Barreras*. Cenicafé, 56(1): 79-85.
- Moreno, A., Hernández, E., & Grisales, F. 2013. Plátano Dominic Hartón intercalado con café: Más ingresos para los caficultores. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). 4 p. Caldas, Colombia.
- Rodríguez, C., Cayón, G., & Mira, J. J. 2006. Influencia delseudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (*Musa* AAA Simmonds). *Agronomía colombiana*, 24(2), 274-279.
- Zapata Arango, P. C. 2019. Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Florestal*, 29: 685-697.

DESARROLLO VEGETATIVO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES, ÁCIDOS HÚMICOS Y SUPERMAGRO

Sergio Martínez Ortiz¹³⁹, Sergio Alberto Curti Díaz^{140*}, Rigoberto Zetina Lezama¹⁴⁰, Luis Alfonso Aguilar Pérez¹⁴¹, Jaime Rangel Quintos¹⁴², Alexia Sánchez Pacheco¹⁴¹, Nely Benítez Tejeda¹⁴¹ y Lorena Jacqueline Gómez Godínez¹⁴³

Resumen

Las prácticas de la “Revolución Verde” realizadas por más de 60 años, como el monocultivo, el uso irracional de agroquímicos y maquinaria con inversión total de suelo (suelo desnudo), y otras más; han venido degradando al suelo y disminuyendo su fertilidad. Para coadyuvar a contrarrestar los efectos de dicho manejo, se estableció un experimento de junio de 2023 a mayo del año 2024, con árboles de un año de edad, en un suelo franco-arcilloso con un pH 6.9, materia orgánica con 2.9% y precipitación pluvial anual de 750 mm en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, México. El objetivo fue determinar el efecto de las coberteras vegetales (*Canavalia* y *Arvenses*), utilizando un enraizador con base en ácidos húmicos y un multimineral, y el Supermagro en el desarrollo vegetativo de plantas juveniles y en el tiempo de inicio para su primera floración en limón Persa. Se registraron las dimensiones del árbol y del tallo y la intensidad de brotación vegetativa y floral. Se utilizó un diseño factorial con arreglo en campo en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a las coberteras y las parcelas chicas a la aplicación de los ácidos húmicos y el supermagro. Debido a que no se encontraron diferencias estadísticas entre los factores estudiados, la información fue analizada como un diseño en bloques al azar, para incluir al testigo. Los resultados obtenidos muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas: en el diámetro del tallo del patrón se incrementó de 1.73 cm a 4.01 cm, mientras que el tallo del limón Persa lo hizo de 1.89 cm a 3.82 cm; la altura y diámetro de la copa crecieron de 65.18 cm a 112.47 cm y de 77.4 cm a 144 cm, respectivamente; hubo brotaciones vegetativas en noviembre y diciembre del 2023 y en enero, febrero y marzo del 2024; cuyos valores promedio de los registros fueron incrementado por cada época en 7.6, 10.2, 15.4, 24.7 y 21.7 brotes/árbol, respectivamente, con un total de 110.98 brotes/árbol; hubo floraciones en febrero y marzo de 2024, pero fueron muy incipientes y heterogéneas, promediando 3.22 brotes florales y 6.79 flores por árbol, respectivamente.

Palabras clave: manejo orgánico, desarrollo vegetativo y floral

¹³⁹ Instituto Tecnológico Úrsulo Galván. Veracruz, México.

¹⁴⁰ Campo Experimental Cotaxtla. CIR Golfo Centro, Veracruz. INIFAP. *Autor por correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

¹⁴¹ Profesionista independiente.

¹⁴² Campo Experimental La Posta. CIR Golfo Centro, Veracruz. INIFAP.

¹⁴³ Centro Nacional de Recursos Genéticos, Jalisco. INIFAP.

Introducción

Como consecuencia del manejo de los cultivos por más de 60 años, acorde a la “Revolución Verde”, esto es, cambiando el policultivo por una sola especie, usando constante e irracionalmente los agroquímicos, maquinaria para la preparación de suelo y para eliminar arvenses que dejan el suelo desnudo, entre otras prácticas de manejo, el suelo se ha venido degradando y disminuyendo en su fertilidad. La noble misión de la agricultura de producir frutos sanos para alimentar a la humanidad ha cambiado sustancialmente, pues ahora se busca producir mayor cantidad de frutos y semillas de excelente apariencia para ser comercializadas como mercancía, buscando el mejor precio en el mercado, sin que sea importante que dichos productos sean inocuos y, menos aún, que tengan propiedades nutraceuticas.

Está documentado que los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo son afectados a causa de herbicidas (Mera *et al.*, 2019; Zaller *et al.*, 2014), de fungicidas (Zaller *et al.*, 2014b; Chen *et al.*, 2001; Cernohlávková *et al.*, 2009; Cycon *et al.*, 2010), de insecticidas (El-Ghamry *et al.*, 2002), de fertilizantes (Lekberg *et al.*, 2021), por eliminación de residuos de cosecha (Blanco y Lal, 2009). Todo ello, ha ido degradando y disminuyendo la fertilidad del suelo, a consecuencia, en gran parte, de la disminución en cantidad y diversidad de los microorganismos del mismo (Meena *et al.*, 2020; Revillini *et al.*, 2016; Lekberg *et al.*, 2021b). Obviamente, también estas prácticas y su abuso dañan la salud humana (Salas *et al.*, 2000; Mahmood *et al.*, 2016); que, vista de otro ángulo, puede definirse como una necesidad del consumidor para alimentarse con frutas orgánicas e inocuas para la salud.

Afortunadamente, cada vez es más importante la demanda de los consumidores por contar con productos orgánicos e inocuos para su alimentación. Un manejo alternativo consiste en abandonar totalmente el uso de agroquímicos y regresar o cambiar a un manejo orgánico del cultivo, dando énfasis a toda práctica o componente que aporte a incrementar la materia orgánica, los minerales y microorganismos del suelo (Restrepo y Algreto, 2020 y Simón, 2019).

La situación del limón Persa, no escapa a la tendencia ya citada, pues es un cultivo muy redituable y que se exporta más del 60% de su producción, lo que ha favorecido un crecimiento acelerado en el uso de los agroquímicos, cada vez con mayor diversidad de productos y especificidad para cada plaga y enfermedad en particular. Algunas consecuencias del uso de

estos productos son: elevación de los costos de producción (\$50 - \$80 mil pesos por hectárea), resistencia de plagas a los agroquímicos (Flores, 2022) y seguramente, la presencia de nuevas plagas y enfermedades, como la *Diaphorina*, vector del Huang Long Bing (HLB), picudo verde azul, o regreso de otras como la mosca prieta (Peralta *et al.*, 2011) y alga roja (Domínguez *et al.*, 2024).

El presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de varios componentes orgánicos en el desarrollo vegetativo o juvenil del limón Persa, etapa en la cual se realiza menor investigación en comparación con la etapa adulta del árbol, cuando ya produce frutos. La etapa juvenil es de gran importancia puesto que de ella depende el futuro del árbol, y será mejor si se cuidan los aspectos siguientes: volumen y sanidad de follaje, altura, diámetro y vigor de copa, su estructura que da la resistencia mecánica, la distribución de las ramas que es muy importante para mejorar la intercepción de la luz solar, entre otros. El periodo juvenil se define como la incapacidad de inducir floración utilizando cualquier medio (Zimmerman, 1972) y el criterio más sólido que define su terminación, es la presencia de flores y su capacidad de continuar floreciendo (Hackett, 2011). Este último autor señala que la juvenilidad es un fenómeno inherente a la genética, cuya longitud de periodo puede reducirse mediante el injerto de una yema ontogénicamente madura (Furr, 1961); el patrón no solo reduce el periodo juvenil, sino que le infiere vigor a la variedad injertada (Castle, 2010).

El manejo orgánico, aunque incipiente en Veracruz, no es nuevo, pues ya existen citricultores que han certificado sus huertas con manejo orgánico; sin embargo, se ha hecho poca investigación para medir los beneficios de los componentes orgánicos que se usan actualmente. Evaluar dichos componentes es muy importante, para validar aquellos que realmente aportan en la mejora del rendimiento y calidad de la fruta producida y, al mismo tiempo, identificar aquellos que no lo hacen, por lo que el productor pierde recurso invertido en la adquisición del producto y el costo de su aplicación. Al respecto, existe información sobre el uso de coberteras vegetales para desplazar los arvenses y también como fuente de aportación de nitrógeno. Algunos estudios han generado información sobre cambios que la Canavalia provoca en la biología del suelo a nivel macro fauna (escarabajos, lombrices y otros) y macro flora (hongos) del suelo, con resultados alentadores (Rebolledo *et al.*, 2011), en incremento a la fertilidad del suelo (da Silva, 2012), relativos a microorganismos adversos a los cultivos y al desarrollo y rendimiento de los mismos (Arim *et al.*, 2006). Los últimos autores, determinaron

que *Canavalia ensiformis* incrementó el rendimiento de tres variedades de maíz en un promedio de 80.3% y disminuyó la pudrición de raíz y la población del nematodo *Pratylenchus zae*, en 50 y 30%, respectivamente. Con relación a los bioles como el supermagro, ácidos húmicos y otros, está documentado su forma de elaboración (Restrepo y Algredeb, 2020; Simón, 2019; Oliveira, 2022; Gómez y Gómez, 2017), pero no sobre su eficiencia ni rentabilidad lograda. Es por ello, que el objetivo de esta investigación, que se desarrolló durante un año, fue determinar el efecto de las coberteras vegetales, ácidos húmicos y “Supermagro” en el desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa, así como determinar el tiempo en que ocurra su primera floración.

Materiales y métodos

Periodo y descripción del estudio

El estudio se llevó a cabo durante el periodo de junio de 2023 a mayo del año 2024 en la localidad Paso de los Carros, municipio de Cotaxtla, Veracruz, México. Las plantas de limón Persa, injertadas en patrón limón Volkameriana, fueron establecidas el 30 de marzo de 2023, en arreglo topológico rectangular de 7m x 4 m, presentando una densidad de 357 árboles por hectárea. El sitio cuenta con un suelo franco arcilloso con pH 6.9, con 2.9% de materia orgánica y con precipitación pluvial promedio anual de 750 mm.

Factores de estudio

Se estudiaron tres componentes que fueron: a) Aportación de materia orgánica con dos coberteras vegetales: *Canavalia* sp. y plantas arvenses; la *Canavalia* se sembró en julio, una vez que se presentaron las lluvias, a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, dejando un espacio de 50 cm de la planta de limón, b) Un enraizador de ácidos húmicos (4 L/100 L de agua) + un multimineral (200 mL/100 L de agua) preparados ambos artesanalmente; con dosis de 500 mL pegado a la planta, cada 45 y 90 días, c) Aportación de minerales con “Supermagro”, hecho artesanalmente con agua, estiércol fresco de vaca, leche, melaza, roca fosfatada, ceniza y sulfatos de Zn, Ca, Mg, Mn, Co, Mo, Bo, Cu y Fe (Restrepo y Algredeb,

2020c), el cual se asperjó al árbol hasta punto de goteo, con soluciones hechas con 5 L y 10 L de supermagro en 100 L de agua, cada 30 d.

Diseño experimental

Se usó un diseño factorial 2^3 , con arreglo en campo de parcelas divididas, donde la parcela grande corresponde a las coberteras (factor 1) y las parcelas chicas a los intervalos de aplicación de ácidos húmicos (factor 2) y dos dosis de aplicación de supermagro (factor 3), lo que hacen ocho tratamientos más uno adicional, que correspondió al testigo del productor. Se tuvieron cuatro repeticiones, con dos árboles como unidad experimental. Los datos se analizaron con SAS (Programa Statistical Analysis System) versión 9.1. Por otra parte, al no encontrar diferencias estadísticas entre factores en el análisis factorial, se incluyó un testigo en los tratamientos y se modificó el análisis con un diseño en bloques al azar y con una probabilidad del error al 0.05%.

Variables de respuesta

- Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa. Con un vernier plástico de aproximación de 0.1 mm, se midió el diámetro del tallo de limón Persa y del tallo del patrón a los 10 centímetros de la unión patrón/injerto. Esta actividad se realizó en noviembre de 2023 y en junio de 2024.
- Altura real y total de la copa. Con un estadal se midió la altura total del árbol y la altura inferior, donde iniciaban las primeras ramas, partiendo en ambos casos desde el suelo y por diferencia se obtuvo la altura real de la copa. Las mediciones se realizaron en noviembre de 2023 y en junio de 2024, a los ocho y 15 meses después de plantados los árboles.
- Diámetro de copa. Con una cinta flexible de 5 m, se registró el diámetro de la copa en el sentido Este-Oeste a 1 m de altura del suelo y siguiendo la forma normal de la copa; es decir, sin considerar las ramas largas, si las hubo, que sobresalían de la misma.
- Intensidad de brotación vegetativa. Se contaron todos los brotes vegetativos por árbol que ocurrieron en noviembre y diciembre de 2023 y enero, febrero y marzo de 2024.
- Intensidad de floración. Se contaron todos los brotes florales y las flores por árbol que ocurrieron en febrero y marzo de 2024.

Resultados y discusión

a) Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa. Las dimensiones del tallo y copa se realizaron en noviembre de 2023 y seis meses después, en junio de 2024. Con relación al diámetro del tallo, tanto del patrón como del limón Persa, los datos se presentan en el Cuadro 1, donde se aprecia que en ambas especies se duplicó el diámetro en esos seis meses. Se observa que sólo hubo diferencia estadística en el diámetro del limón Persa registrado en noviembre de 2023; sin embargo, es muy probable que dicha diferencia haya sido aleatoria, pues por una parte, la planta estaba muy heterogénea en tamaño y forma, no así después de seis meses cuando ya no existió diferencia. Por otra parte, apenas tenía cuatro meses de haberse aplicado la primera dosis de los ácidos húmicos y del supermagro, por lo que difícilmente pudo haber algún efecto debido a los tratamientos.

Cuadro 1. Diámetro del tronco del patrón y del limón Persa en etapa juvenil, establecido con dos coberteras vegetales, ácidos húmicos y nutrición mineral con supermagro. Noviembre 2023 a marzo 2024.

T	Coberteras	AH (Frecuencia de aplicación en meses)	SM (L /100 L de agua)	Diámetro del tronco (cm)							
				Patrón		Limón Persa		Patrón		Limón Persa	
				Nov 2023		Nov 2023		Jun 2024		Jun 2024	
1	Canavalia	1.5	5	1.91	a ^z	2.13	a	4.22	a	4.15	a
2	Canavalia	1.5	10	1.57	a	1.65	b	3.80	a	3.57	a
3	Canavalia	3.0	5	1.81	a	1.96	ab	3.70	a	3.55	a
4	Canavalia	3.0	10	1.63	a	1.78	ab	3.76	a	3.58	a
5	Arvenses	1.5	5	1.80	a	2.05	a	4.58	a	4.27	a
6	Arvenses	1.5	10	1.57	a	1.80	ab	3.83	a	3.55	a
7	Arvenses	3.0	5	1.73	a	1.76	ab	4.12	a	3.90	a
8	Arvenses	3.0	10	1.83	a	1.86	ab	4.20	a	4.08	a
9	Testigo	---	---	1.72	a	2.00	ab	3.86	a	3.67	a
Promedio				1.734		1.890		4.011		3.818	

T	Coberteras	AH (Frecuencia de aplicación en meses)	SM (L /100 L de agua)	Diámetro del tronco (cm)			
				Patrón Nov 2023	Limón Persa Nov 2023	Patrón Jun 2024	Limón Persa Jun 2024
	DMS			0.427	0.376	0.975	1.030
	CV (%)			15.260	12.335	15.077	16.727

^z AH = Ácidos Húmicos (4 L x 100 L de agua), SM = Supermagro (aplicado mensualmente); DMS = Diferencia Mínima Significativa, CV = Coeficiente de Variación.

b) Altura y diámetro de la copa. La altura real de la copa (una vez disminuido la altura inferior a la superior del árbol), así como su diámetro tuvieron incrementos de 72.6% y 86.9%, respectivamente en seis meses, considerando sus valores promedio (Cuadro 2), desarrollo que es aceptable y que fue debido a que la huerta cuenta con riegos por aspersión de auxilio, pues de otra manera no habría sido posible este crecimiento, considerando que en 2024 hubo una lluvia en febrero y otra en marzo, que en conjunto no sobrepasaron los 40 mm. No hubo diferencia entre los tratamientos y el testigo, con excepción de la altura del árbol, donde el tratamiento 5, con arvenses, dosis baja de supermagro y la aplicación de ácidos húmicos cada mes y medio, superó estadísticamente a la altura lograda con la dosis alta de supermagro y con la misma frecuencia de aplicación de los ácidos húmicos (45 días) y baja de supermagro; resultado que en esta etapa de desarrollo del experimento es difícil explicar.

Cuadro 2. Altura y diámetro de copa de limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras, ácidos húmicos y supermagro. 2023 - 2024.

T	Coberteras	AH (Frecuencia de aplicación en meses)	SM (L /100 L de agua)	Altura de copa (cm)		Diámetro de copa (cm)	
				Nov 23	Jun 24	Nov 23	Jun 24
1	Canavalia	1.5	5 L	69.50 a ^z	122.50 ab	71.62 a	156.38 a
2	Canavalia	1.5	10 L	62.75 a	122.75 ab	71.50 a	136.25 a
3	Canavalia	3.0	5 L	73.75 a	103.00 ab	73.00 a	140.88 a
4	Canavalia	3.0	10 L	68.12 a	108.88 ab	82.00 a	138.13 a

T	Coberteras	AH	SM	Altura de copa (cm)				Diámetro de copa (cm)			
		(Frecuencia de aplicación en meses)	(L /100 L de agua)	Nov 23		Jun 24		Nov 23		Jun 24	
5	Arvenses	1.5	5 L	64.50	a	129.88	a	80.12	a	156.63	a
6	Arvenses	1.5	10 L	62.25	a	97.00	b	75.37	a	132.13	a
7	Arvenses	3.0	5 L	55.25	a	111.75	ab	79.12	a	152.88	a
8	Arvenses	3.0	10 L	66.25	a	115.88	ab	85.00	a	152.38	a
9	Testigo	---	---	64.25	a	100.63	ab	79.12	a	136.50	a
Promedio				65.180		112.472		77.430		144.680	
DMS				19.527		31.63		22.997		46.537	
CV (%)				18.572		17.434		18.412		19.940	

² AH = Ácidos Húmicos (4 L x 100 L de agua), SM = Supermagro (aplicado mensualmente); DMS = Diferencia Mínima Significativa, CV = Coeficiente de Variación.

d) Intensidad de brotación vegetativa. En el Cuadro 3 se presentan las brotaciones vegetativas ocurridas en noviembre y diciembre de 2023 y enero, febrero y marzo de 2024. Se observa, en forma general, que la cantidad de brotes por árbol fue creciendo cada mes, como lo demuestran los valores promedios por fecha de registro, de tal manera que la intensidad de brotación, durante el mes de marzo de 2024, fue tres veces mayor que la de noviembre de 2023. No hubo diferencia estadística entre tratamientos, con excepción del mes de enero, donde hay una tendencia a una mayor intensidad de brotación en los arbolitos correspondientes a la cobertera con *Canavalia*, lo que sugiere que se debió a una mayor humedad en el suelo, pues para ese entonces la *Canavalia* tenía cubierto el 100% del suelo. Cabe hacer notar que tres de los valores más altos en el número total de brotes, coinciden con la aplicación más corta de los ácidos húmicos (Tratamientos 1, 2 y 5, aplicación cada 45 días), sin llegar a diferir estadísticamente.

En general, la ausencia de diferenciación estadística entre tratamientos, probablemente se debió a que el experimento inicio a finales de junio y los tratamientos empezaron a aplicarse a finales de julio de 2023 y también, a que las plantas de limón Persa cuando están chicas,

generalmente son muy heterogéneas en su brotación cuando aún no han formado una copa sólida; razón que explica los altos coeficientes de variación.

Cuadro 3. Brotación vegetativa del limón Persa en etapa juvenil, establecido con dos coberteras vegetales, ácidos húmicos y nutrición mineral con supermagro. Noviembre 2023 a marzo 2024.

T	Coberteras	AH	SM	Número de brotes vegetativos por árbol											
		(Frecuencia de aplicación en meses)	(L /100 L de agua)	Nov 23	Dic 21	Enero 18	Feb 7	Mar 22	Total						
1	Canavalia	1.5	5	13.0	a ^z	5.8	a	36.8	a	42.3	a	29.6	a	167.8	a
2	Canavalia	1.5	10	6.9	a	6.1	a	24.8	ab	21.4	a	20.3	a	115.5	a
3	Canavalia	3.0	5	4.9	a	15.8	a	17.5	ab	28.0	a	18.5	a	95.0	a
4	Canavalia	3.0	10	11.0	a	9.3	a	16.4	ab	25.3	a	15.1	a	99.1	a
5	Arvenses	1.5	5	4.5	a	5.8	a	12.6	ab	31.0	a	20.1	a	106.8	a
6	Arvenses	1.5	10	3.1	a	11.8	a	7.3	b	16.5	a	13.1	a	94.6	a
7	Arvenses	3.0	5	8.8	a	13.5	a	6.8	b	15.3	a	23.0	a	95.4	a
8	Arvenses	3.0	10	6.4	a	13.1	a	4.9	b	16.6	a	23.4	a	102.4	a
9	Testigo	---	---	9.6	a	10.5	a	11.8	ab	26.4	a	31.9	a	121.4	a
Promedio				7.569		10.181		15.403		24.736		21.666		110.875	
DMS				10.819		17.848		28.106		25.493		32.619		79.043	
CV (%)				88.610		108.688		113.125		63.892		93.332		44.196	

^z AH = Ácidos Húmicos (4 L x 100 L de agua), SM = Supermagro (aplicado mensualmente); DMS = Diferencia Mínima Significativa, CV = Coeficiente de Variación.

e) Intensidad de floración. Normalmente el limón Persa logra una floración con una intensidad homogénea en toda su copa, alrededor de 18 meses después de haberse plantado en el terreno definitivo; sin embargo, si ocurren floraciones incipientes, aunque muy heterogéneas entre árboles, durante el primer año de su desarrollo. En el Cuadro 4, se muestra el total de brotes florales y de flores registrados de dos brotaciones, ocurridas en el 7 de febrero y 22 de marzo de 2024, un poco antes de cumplir un año de edad. Las floraciones fueron muy

heterogéneas dentro del árbol y, en general, dentro de la huerta, pues la mayoría de los arbolitos aún no habían florecido y, la intensidad de floración fue muy baja, lo que explica los coeficientes de variación tan altos. Un interés particular de este estudio fue conocer si alguno de los tratamientos sería capaz de adelantar la primera floración, con una intensidad aceptable, la que corresponda a la producción conocida por los productores como “ensayo”; sin embargo, en este estudio y con plantas de apenas un año de edad, no se obtuvo diferencia estadística entre tratamientos para brotes florales, ni flores por árbol, por lo que habrá que seguir evaluando el efecto de los tratamientos durante un segundo año de desarrollo.

Cuadro 4. Brotación floral de invierno de limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras, ácidos húmicos y supermagro. 2024.

T	Coberteras	AH (Frecuencia de aplicación en meses)	SM (L /100 L de agua)	Floración total por árbol (Suma de Febrero 7 y Marzo 22 de 2024)			
				Brotes florales		Flores	
1	Canavalia	1.5	5	4.25	a ^z	12.38	a
2	Canavalia	1.5	10	5.13	a	9.00	a
3	Canavalia	3.0	5	1.38	a	3.00	a
4	Canavalia	3.0	10	1.88	a	2.75	a
5	Arvenses	1.5	5	5.75	a	13.75	a
6	Arvenses	1.5	10	2.00	a	3.78	a
7	Arvenses	3.0	5	1.63	a	1.63	a
8	Arvenses	3.0	10	2.25	a	4.00	a
9	Testigo	---	---	4.75	a	8.38	a
Promedio				3.222		6.792	
DMS				8.627		20.906	
CV (%)				165.976		190.829	

^z AH = Ácidos Húmicos (4 L x 100 L de agua), SM = Supermagro (aplicado mensualmente); DMS = Diferencia Mínima Significativa, CV = Coeficiente de Variación.

Conclusiones

A un año de iniciado el estudio se concluye lo siguiente:

1. Se conoció el efecto de dos coberteras vegetales (*Canavalia* y arvenses) en la aplicación al suelo de los ácidos húmicos y del supermagro en las siguientes variables: dimensiones del tallo del patrón e injerto, altura y diámetro de copa, intensidad de brotación vegetativa y floración del limón Persa. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos para ninguna de las variables señaladas. 2. La floración ocurrida fue muy incipiente en el primer año de vida de los árboles, por lo que no se pudo determinar si algún tratamiento adelantó la primera floración con respecto a los otros tratamientos.

Literatura citada

- Arim, O. J., J. W. Waceke, S. W. Waudu, and J. W. Kimenju. 2006. Effects of *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* intercrops on *Pratylenchus zeae* damage and yield of maize in subsistence agriculture. *Plant and Soil*, 284(1), 243-251.
- Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical reviews in plant science*, 28(3), 139-163.
- Cernohlávková, J., J. Jarkovský and J. Hofman. 2009. Effects of fungicides mancozeb and dinocap on carbon and nitrogen mineralization in soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72: 80-85.
- Chen S., K., C. A. Edwards and S. Subler. 2001. Effects of the fungicides benomyl, captan and chlorothalonil on soil microbial activity and nitrogen dynamics in laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1971-1980.

- Cycon, M., Z. Piotrowska S., and J. Kozdrój. 2010. Responses of indigenous microorganisms to a fungicidal mixture of mancozeb and dimethomorph added to sandy soils. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 64: 316-323.
- Castle, W. S. 2010. A career perspective on citrus rootstocks, their development, and commercialization. *HortScience*, 45(1), 11-15.
- da Silva-López, R. E. 2012. *Canavalia ensiformis* (L.) DC (*Fabaceae*). *Revista Fitos*, 7(03).
- Dominguez-Monge S., J. D. Mendoza G., S. Ortiz S., R. Sarmiento T. y S. A. Curti-Diaz. 2024. Incidencia del alga (*Cephaleuros virescens*) en limón Persa (*Citrus latifolia*) en Tlapacoyan, Veracruz. Resumen 198. *In: Revista Mexicana de Fitopatología*. Vol. 42. Suplemento 2024
- El-Ghamry., A. M., J. M. Xu., C. Y. Huang and J. Gan. 2002. Microbial response to bensulfuron-methyl treatment in soil. *J. Agric. Food Chem.* 50: 136-139.
- Flores D., C. J. 2022. Estado del arte en relación a la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile.
- Furr, J. R. 1961. Earliness of flowering and fruiting of trees propagated from top and basal shopots of young fruiting seedlings. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19620303664>
- Gómez-Tovar, L. y M. A. Gómez-Cruz. 2017. *Agricultura Orgánica: Bases técnicas*. Universidad Autónoma Chapingo. 92 p.
- Hackett, W. P. 2011. Juvenility, maturation, and rejuvenation in woody plants. *Horticultural reviews*, 7: 109-154.

- Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy and J. A. Henning. 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nature communications*, 12(1): 1-8.
- Mahmood, I., S. R. Imadi, K. Shazadi, A. Gul, and K. R.Hakeem. 2016. Effects of pesticides on environment. In *Plant, soil and microbes* (pp. 253-269). Springer, Cham.
- Meena, R. S., S. Kumar, R. Datta, R. Lal, V. Vijayakumar, M. Brtnicky, et al. 2020. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land*, 9(2): 34.
- Mera-Andrade R., C. Bejarano-Rivera, J. Sanchez-Espin J. Artieda-Rojas, P. Pomboza-Tamaquiza, C. Alban-Yañez, *et al.* 2019. Application of ancestral bio-knowledge in agricultural production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(3).
- Oliveira, Vagner A. B. de. 2022. *Princípios agroecológicos: manejo de pragas e doenças (métodos alternativos de controle)* / Vagner Amado Belo de Oliveira. Adamantina: Gráfica Atual. 104 p.
- Peralta-Gamas, M., J. A. Villanueva J., y S. Nikolaevna M. 2011. Nuevos registros de Aleyrodidae y Diaspididae (Hemiptera: Sternorrhyncha) en plantaciones de Naranja (*Citrus sinensis* L.) de la Chontalpa, Tabasco, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 10 (1): 42-44.
- Rebolledo-Martínez A., A. L. del Ángel-Pérez, J. V. Megchún-García, J. A. García, J. Nataren-Velazquez and Á. Capetillo-Burela 2011. Coberteras vivas para el manejo de malezas en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 13(3): 327-338.
- Revillini, D., C. A. Gehring. and N. C. Johnson. 2016. The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant–soil feedback systems. *Funct. Ecol.* 30, 1086–1098.

- Restrepo R., J. and D. Algreto E. 2020. Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Santiago de Cali, Colombia. 482 p.
- Salas, B. V., E. G. Duran and M. S. Wiener. 2000. Impact of pesticides use on human health in Mexico: a review. Reviews on environmental health, 15(4): 399-412.
- Simón-Zamora, J. I. 2019. Microbiótica y remineralización de los suelos en manos campesinas. Uruapan, Michoacán, México, 146 p.
- Zaller, J. G., F. Heigl, L. Ruess and A. Grabmaier. 2014. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. Scientific reports, 4(1): 1-8.
- Zimmerman, R. H. 1972. Juvenility and Flowering in Woody Plants: A Review¹. HortScience 7(5): 447-455.

DESARROLLO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES Y ORMUS

Sergio Alberto Curti Díaz^{144*}, Rigoberto Zetina Lezama¹⁴⁴, Luis Alfonso Aguilar Pérez¹⁴⁵,
Jaime Rangel Quintos¹⁴⁶, Sergio Martínez Ortiz¹⁴⁵, Alexia Sánchez Pacheco¹⁴⁵,
Nely Benítez Tejeda¹⁴⁵ y Lorena Jacqueline Gómez Godínez¹⁴⁷

Resumen

En 2021 Veracruz tenía 51,752 ha de limón Persa, 802,000 t de fruta con un valor de 4,945.7 millones de pesos. Sin embargo, a pesar de ser una fortaleza económica en el país, se ha venido cultivando como monocultivo, usando irracionalmente agroquímicos y maquinaria (suelo desnudo), que junto con otras prácticas han venido degradando al suelo. Para generar información que contrarreste los efectos de dicho manejo, se estableció un experimento durante un año, con árboles de un año de edad, en Cotaxtla, Veracruz, México, en un suelo franco-arcilloso pH 6.9, 2.9% de materia orgánica y precipitación pluvial anual de 750 mm. El objetivo fue determinar el efecto de Canavalia y Arvenses y de Ormus aplicado en dos dosis (70 y 140 mL por planta), cada 15 y 30 d, en el desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa y en el tiempo para iniciar su floración. Para ello, se registraron las dimensiones del tallo y del árbol y la intensidad de brotación vegetativa y floral. Se utilizó el diseño factorial, con arreglo de tratamientos en campo en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a las coberteras y las chicas a la aplicación del Ormus y, dado que no hubo diferencia entre los factores estudiados, la información se analizó como bloques al azar para incluir el testigo. Los resultados, que no mostraron diferencias estadísticas relevantes, fueron: el diámetro del tallo del patrón, que se incrementó de 1.94 cm a 5.26 cm en seis meses, mientras que, el tallo del limón Persa lo hizo de 2.03 cm a 5.10 cm; la altura y diámetro de la copa crecieron de 75.07 cm a 148.24 cm y de 85.56 cm a 191.25 cm, respectivamente; hubo brotaciones vegetativas en noviembre y diciembre de 2023 y enero, febrero y marzo de 2024, cuyos valores promedio fueron incrementando (9.4, 23.7, 16.8, 31.4 y 43.5 brotes por árbol, respectivamente), hasta un total de 170.85 brotes por árbol y se registraron floraciones en febrero y marzo de 2024, pero fueron muy incipientes y heterogéneas, promediando 3.72 y 5.11 brotes florales y flores por árbol, respectivamente.

Palabras clave: dimensiones del árbol, brotes vegetativos, flores, agua de mar

¹⁴⁴ INIFAP. CIR Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor para correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

¹⁴⁵ Profesionista independiente.

¹⁴⁶ INIFAP. CIR Golfo Centro. Campo Experimental La Posta.

¹⁴⁷ INIFAP. Centro Nacional de Recursos Genéticos.

Introducción

El limón Persa en México se ha convertido en una agroindustria de importancia mundial; en 2021 Veracruz contaba con 51,752 ha que aportaron 4,945.7 millones de pesos, lo que representó el 48.5% y 53.1% de la superficie y valor de la producción nacional, respectivamente. Sin embargo, a pesar de ser una fortaleza económica, se ha venido cultivando acorde a la “Revolución Verde” como monocultivo, usando constante e irracionalmente agroquímicos, con maquinaria para eliminar la maleza y manteniendo el suelo desnudo, que junto con otras prácticas, propician la degradación y disminución de la fertilidad de los suelos (Chen *et al.*, 2001; Blanco-Canqui y Lal, 2009; Cycon *et al.*, 2010; Mera-Andrade *et al.*, 2019; Meena *et al.*, 2020). La noble misión de la agricultura de producir frutos sanos para alimentar a la humanidad ha cambiado sustancialmente, pues ahora se busca producir cada vez más frutos, hojas, raíces, semillas de excelente apariencia para ser comercializada como mercancía, buscando el mejor precio en el mercado, sin que sea importante que dichos productos sean inocuos y, menos aún, que tengan propiedades nutraceuticas.

Está documentado que los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo son afectados a causa de herbicidas (Zaller *et al.*, 2014; Mera-Andrade *et al.*, 2019), fungicidas (Chen *et al.*, 2001; Cernohlávková *et al.*, 2009; Cycon *et al.*, 2010; Zaller *et al.*, 2014), insecticidas (El-Ghamry *et al.*, 2002), fertilizantes (Lekberg *et al.*, 2021) y por la eliminación de residuos de cosecha (Blanco-Canqui y Lal, 2009). Todo ello, ha ido degradando y disminuyendo la fertilidad del suelo, en gran parte, a consecuencia de la disminución en cantidad y diversidad de los microorganismos del mismo (Revillini *et al.*, 2016; Simón-Zamora, 2019; Meena *et al.*, 2020; Lekberg *et al.*, 2021). Obviamente, también estas prácticas y su abuso dañan la salud humana (Salas *et al.*, 2000; Mahmood *et al.*, 2016) que, vista de otro ángulo, puede definirse como una necesidad del consumidor de alimentarse con frutas orgánicas e inocuas para su salud.

Afortunadamente, es cada vez más importante la demanda de los consumidores por contar con productos orgánicos e inocuos para su alimentación. Un manejo alternativo para lograrlo, consiste en abandonar totalmente el uso de agroquímicos y regresar o cambiar a un manejo orgánico del cultivo, dando énfasis a toda práctica o componente que aporte a incrementar la materia orgánica, los minerales y microorganismos (Simón-Zamora, 2019 Restrepo y Algreto, 2020).

La situación del limón Persa no escapa a la tendencia citada, pues es un cultivo muy redituable y que se exporta más del 60% de su producción. Esta situación lo ha llevado a un crecimiento acelerado en el uso de los agroquímicos, cada vez con mayor diversidad de productos y especificidad para cada plaga y enfermedad en particular. Algunas consecuencias del uso de estos productos son: elevación de sus costos de producción (50-80 mil pesos por hectárea), resistencia de plagas a los agroquímicos (Flores, 2022) y seguramente, la presencia de nuevas plagas y enfermedades, como la *Diaphorina*, vector del HLB, picudo verde azul, o regreso de otras como la mosca prieta (Peralta-Gamas *et al.*, 2011) y el alga roja (Domínguez-Monge *et al.*, 2024).

El presente estudio se enfocó a estudiar el manejo orgánico del cultivo durante su fase vegetativa, que generalmente se le da menor importancia que la etapa productiva. Cabe indicar que la etapa juvenil es de gran importancia puesto que de ella depende el futuro del árbol, y será mejor si se cuidan los aspectos siguientes: volumen y sanidad de follaje, altura, diámetro y vigor de copa, la estructura del árbol que le da la resistencia mecánica, la distribución de las ramas que es muy importante para mejorar la intercepción de la luz solar, entre otros. El periodo juvenil se define como la incapacidad de inducir floración utilizando cualquier medio (Zimmerman, 1972) y el criterio que define la terminación de esta etapa es la presencia de flores y su capacidad de continuar floreciendo (Hackett, 2011); este último autor señala que la juvenilidad es un fenómeno inherente a la genética, cuya longitud de periodo puede reducirse mediante el injerto de una yema ontogénicamente madura (Furr, 1961). Se debe considerar que el patrón no solo reduce el periodo juvenil, sino que le infiere vigor a la variedad injertada (Castle, 2010).

Cabe mencionar que existen citricultores en el estado de Veracruz que han certificado sus huertas como orgánicas; sin embargo, poca investigación se ha hecho para medir los beneficios que se generan con este tipo de manejo. Este tipo de evaluación es importante para conocer cuáles son los componentes mayormente asociados a buenos rendimientos y alta calidad de la fruta producida e identificar cuáles otros, no aportan lo necesario para incrementar la rentabilidad de la huerta, lo que impacta en la economía del productor.

Las coberteras vegetales, como la *Canavalia* que se evaluó en este ensayo, se han utilizado para desplazar la maleza y como fuente de aportación de nitrógeno, y algunos estudios, han generado información sobre cambios que la *Canavalia* provoca en la biología del suelo a nivel

macrofauna (escarabajos, lombrices y otros) y microflora (hongos) del suelo, con resultados alentadores (Rebolledo-Martínez *et al.*, 2011), en incremento a la fertilidad del suelo (da Silva-López, 2012). Arim *et al.* (2006) determinaron que *Canavalia ensiformis* incrementó en promedio en 80.3% el rendimiento de tres variedades de maíz y disminuyó la pudrición de raíz y la población del nematodo *Pratylenchus zaeae*, en 50 y 30%, respectivamente.

Otro componente que se evaluó en el presente estudio fue el Ormus, término que se refiere a los minerales que contiene el agua de mar, una vez floculados y precipitados al adicionar hidróxido de sodio hasta elevar el pH del agua a 10.7. El hidróxido captura el cloro y sodio del agua, de tal manera que el Ormus puede usarse en la agricultura (Restrepo y Algreto, 2020). El Ormus se usa foliarmente en árboles en dosis de 15 a 20 L/ha y en hortalizas en proporción de 250 mL y hasta 500 mL de Ormus por cada 100 m² de suelo cultivable (Restrepo y Algreto, 2020). Bravo-Freire (2021) lo aplicó foliarmente a plátano en dosis de 100, 200 y 300 mL por planta, cada 15, 45 y 90 d, y encontró que la dosis más alta tuvo mejor emisión foliar, diámetro de fuste y peso de racimo. Mientras que, Quillahuaman y Condori (2019) lo usaron para remojar semillas de cebada y de vicia y regó la cama de siembra a la dosis recomendada (Restrepo y Algreto, 2020); sin embargo, no encontraron resultados contundentes; en cambio Yamada *et al.* (2015) aplicaron agua de mar al suelo de maceta, sin diluir y diluida al 50%, a dos mandarinas, encontrando que ambas dosis aumentaron la conductividad eléctrica del suelo y disminuyeron el potencial hídrico de la hoja, en comparación con el control. En el municipio de Cotaxtla, Veracruz hay un productor que aplica regularmente el Ormus al limón Persa a la dosis recomendada (5 L/ha), lo que corresponde 14 mL por planta, drenada en la base del tronco; a su apreciación las plantas pequeñas desarrollan mejor, pero no ha registrado sus resultados. Es por ello que el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la Canavalia y las Arvenses y la aplicación al suelo de Ormus, en dos dosis y dos intervalos de aplicación, en el desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa y en el tiempo para iniciar su floración.

Materiales y métodos

Duración y descripción del área de estudio

El estudio se realizó durante el periodo de junio de 2023 a mayo de 2024 en la localidad Paso de los Carros, municipio de Cotaxtla, Veracruz, México. Las plantas de limón Persa injertadas en patrón limón Volkameriana se establecieron el 30 de marzo de 2023, en arreglo topológico rectangular de 7 m x 4 m, lo que correspondió a una densidad de 357 árboles por hectárea. En el sitio experimental, la precipitación pluvial promedio anual es de 750 mm y. el suelo es de textura franco arcilloso, con pH de 6.9 y 2.9% de materia orgánica.

Factores de estudio

Se estudiaron tres componentes: factor a) Aportación de materia orgánica con dos coberteras vegetales: *Canavalia* sp y plantas arvenses; la *Canavalia* se sembró en julio a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, dejando un espacio de 50 cm de la planta de limón; factor b) El Ormus se aplicó drenado al suelo, en un radio de 30 cm, a partir del tronco de la planta, usando 70 y 140 mL por planta y factor c) Intervalos de aplicación, cada 15 y 30 d.

Diseño experimental

Se utilizó el diseño factorial 2^3 , con arreglo de tratamiento en campo de parcelas divididas, donde la parcela grande corresponde a las coberteras y las parcelas chicas a las dosis e intervalos de aplicación de Ormus, lo que en total hacen ocho tratamientos más uno adicional, que correspondió al testigo del productor, se tuvieron cuatro repeticiones, con dos árboles como unidad experimental. Los datos se analizaron con SAS (Programa Statistical Analysis System) versión 9.1, como bloques al azar para incluir el testigo, ya que no hubo diferencia estadística entre factores, y la separación de medias se hizo con la Prueba de Tukey al 0.05% de probabilidad de error.

Variables de respuesta

a) **Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa.** Con un vernier plástico con precisión 0.1 mm, se midió el diámetro del tallo del injerto limón Persa y del patrón

Volkameriana, a los 10 cm arriba y abajo de la unión patrón/injerto. Esta medición se realizó a los ocho y 15 meses después del trasplante.

b) Altura de la copa. Con un estadal se midió la altura total del árbol y la altura inferior; es decir, donde iniciaban las primeras ramas y por diferencia se obtuvo la altura real de la copa. Las mediciones se realizaron a los ocho y 15 meses después del trasplante.

c) Diámetro de copa. Con una cinta flexible de 5 m, se registró el diámetro de la copa en el sentido Este-Oeste a 1 m de altura del suelo y siguiendo la forma normal de la copa; es decir, sin considerar las ramas largas que sobresalían de la misma, si fuera el caso. Las mediciones se realizaron a los ocho y 15 meses después del trasplante.

d) Intensidad de brotación vegetativa. Se contaron todos los brotes vegetativos por árbol que ocurrieron en noviembre y diciembre de 2023 y en enero, febrero y marzo de 2024; es decir, durante los 8 a 12 meses después del trasplante.

e) Intensidad de floración. Se contaron todos los brotes florales y las flores por árbol presentes a los 11 y 12 meses después del trasplante.

Resultados y discusión

Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa

Los diámetros del tallo del patrón y del injerto se presentan en el Cuadro 1. Sólo hubo diferencia estadística en el diámetro del limón Persa registrado en noviembre de 2023, cuando los valores más altos correspondieron a los tratamientos 1, 4 y 9 (testigo), lo cual no muestra tendencia alguna que sugiera una respuesta de la aplicación de un tratamiento en particular y, considerando que sólo habían pasado cuatro meses de haberse aplicado la primera dosis de Ormus, sugiere que esta diferencia haya sido aleatoria. Numéricamente la diferencia entre el diámetro promedio de todos los tratamientos en junio de 2024 (5.095 cm), supera en 154.4% al diámetro promedio del limón Persa logrado en noviembre de 2023.

Cuadro 1. Diámetro del patrón y del limón Persa en etapa juvenil establecido con dos coberteras vegetales y Ormus en dos dosis y dos frecuencias de aplicación. Noviembre 2023 a marzo 2024

T	Cobertera	Ormus		Diámetro de tronco (cm)							
		Dosis (mL/árbol)	Frecuencia de aplicación (d)	Patrón Nov 2023		Limón Persa Nov 2023		Patrón Jun 2024		Limón Persa (Jun 2024)	
1	Canavalia	70	15	1.98	a ^z	2.14	a	5.04	a	4.98	a
2	Canavalia	70	30	2.04	a	2.13	ab	5.49	a	5.15	a
3	Canavalia	140	15	1.86	a	1.96	abc	5.20	a	4.89	a
4	Canavalia	140	30	2.03	a	2.18	a	5.41	a	5.36	a
5	Arvenses	70	15	1.80	a	1.83	c	5.26	a	5.38	a
6	Arvenses	70	30	1.94	a	1.89	bc	5.16	a	4.90	a
7	Arvenses	140	15	1.93	a	1.99	abc	5.39	a	5.16	a
8	Arvenses	140	30	1.81	a	2.00	abc	5.19	a	5.00	a
9	Testigo	---	---	2.06	a	2.20	a	5.23	a	5.05	a
Promedio				1.939		2.033		5.264		5.096	
DMS				0.296		0.238		0.96.2		1.023	
CV (%)				9.476		7.259		11.326		12.448	

T = Tratamiento. ^z DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Medias con la misma letra dentro de columnas difieren estadísticamente (Tukey al 0.5% de probabilidad de error).

Altura y diámetro de la copa

No existió diferencia estadística entre los tratamientos en la altura y diámetro de copa (Cuadro 2). La altura real de la copa (una vez disminuido la altura inferior a la superior del árbol), se incrementó numéricamente en un 97.5%, al pasar de 75.1 cm en noviembre de 2023 a 148.2 cm en junio de 2024 (seis meses después); mientras que, el diámetro de la copa lo hizo en 123.5% en el mismo intervalo. Dicho desarrollo es muy bueno y fue debido principalmente a que la huerta cuenta con riego por aspersión, pues de otra manera no habría sido posible este crecimiento, considerando que, en el primer semestre de 2024, sólo hubo una lluvia en febrero y otra en marzo en el área de estudio, que en conjunto no sobrepasaron los 40 mm.

Cuadro 2. Altura y diámetro de copa de limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras y Ormus en dos dosis y dos frecuencias de aplicación. Noviembre 2023 a marzo 2024

T	Cobertera	Ormus		Altura de copa (cm)				Diámetro de copa (cm)			
		Dosis (mL/árbol)	Frecuencia de aplicación (d)	Nov 23		Jun 24		Nov 23		Jun 24	
1	Canavalia	70	15	78.13	a ^z	139.25	a	80.63	a	188.13	a
2	Canavalia	70	30	80.00	a	139.88	a	91.88	a	187.38	a
3	Canavalia	140	15	60.00	a	146.75	a	83.13	a	188.50	a
4	Canavalia	140	30	79.38	a	163.50	a	95.00	a	193.13	a
5	Arvenses	70	15	74.38	a	142.75	a	71.88	a	190.63	a
6	Arvenses	70	30	73.75	a	132.63	a	84.38	a	193.50	a
7	Arvenses	140	15	76.88	a	168.25	a	92.50	a	206.13	a
8	Arvenses	140	30	78.75	a	155.75	a	81.88	a	196.25	a
9	Testigo	---	---	74.38	a	145.38	a	88.75	a	177.63	a
Promedio				75.069		148.236		85.556		191.250	
DMS				24.183		49.49		23.582		51.623	
CV (%)				19.972		20.698		17.088		16.734	

T = Tratamiento. ^z DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Medias con la misma letra dentro de columnas difieren estadísticamente (Tukey al 0.5% de probabilidad de error)

Intensidad de brotación vegetativa

En el Cuadro 3 se presentan las brotaciones vegetativas ocurridas en noviembre y diciembre de 2023 y enero, febrero y marzo de 2024. Se observa, en forma general, que la intensidad de brotación del árbol, prácticamente fue creciendo cada mes, como lo demuestran los valores promedios por fecha de registro, de tal manera que la intensidad de brotación, durante el mes de marzo de 2024 (43.5 brotes por árbol), superó en 362% la intensidad de brotación ocurrida en noviembre de 2023 (9.4 brotes por árbol). No hubo diferencia estadística entre tratamientos en alguna de las cinco brotaciones ocurridas durante el periodo de estudio. Los coeficientes de variación son altos, debido a la gran heterogeneidad de tamaños, vigor e intensidad de

brotación que comúnmente ocurren en las plantas juveniles cuando su copa apenas se está formando.

Cuadro 3. Brotación vegetativa del limón Persa en etapa juvenil establecido con dos coberteras vegetales y Ormus en dos dosis y dos frecuencias de aplicación. Noviembre 2023 a marzo 2024.

T	Cobertera	Ormus		Número de brotes vegetativos por árbol					
		Dosis (mL/árbol)	Frecuencia de aplicación (d)	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
1	Canavalia	70	15	6.9 a ^z	22.3 a	8.8 a	24.4 a	50.4 a	155.6 a
2	Canavalia	70	30	10.8 a	19.8 a	15.8 a	26.9 a	27.8 a	146.0 a
3	Canavalia	140	15	14.0 a	21.4 a	7.6 a	44.5 a	35.5 a	170.0 a
4	Canavalia	140	30	8.9 a	25.6 a	9.6 a	29.9 a	43.4 a	166.3 a
5	Arvenses	70	15	8.3 a	15.1 a	15.6 a	32.8 a	29.9 a	143.6 a
6	Arvenses	70	30	3.3 a	29.3 a	10.0 a	24.3 a	61.3 a	172.0 a
7	Arvenses	140	15	7.8 a	24.1 a	28.8 a	36.4 a	53.9 a	200.3 a
8	Arvenses	140	30	8.8 a	24.6 a	37.3 a	34.8 a	45.2 a	198.0 a
9	Testigo	-	-	16.1 a	28.3 a	18.1 a	28.9 a	44.5 a	185.9 a
	Promedio			9.417	23.681	16.833	31.403	43.514	170.847
	DMS			15.063	41.618	40.896	51.667	56.097	90.97
	CV (%)			99.167	108.956	150.615	102.002	79.923	33.010

T = Tratamiento. ^z DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Medias con la misma letra dentro de columnas difieren estadísticamente (Tukey al 0.5% de probabilidad de error).

Intensidad de floración

Normalmente el limón Persa inicia su floración con una intensidad homogénea en toda su copa, alrededor de 1.5 años después de haberse plantado en el terreno definitivo; sin embargo, si ocurren floraciones incipientes, aunque muy heterogéneas entre árboles, durante el primer año de su desarrollo. En el Cuadro 4 se muestra el total de brotes florales y de flores de dos floraciones, registrados el 7 de febrero y 22 de marzo de 2024, un poco antes de cumplir un

año de edad. Las floraciones fueron muy heterogéneas dentro del árbol y, en general, dentro de la huerta, pues la mayoría de los arbolitos aún no habían florecido y, la intensidad de floración de los que la hicieron fue muy baja, lo que explica los coeficientes de variación tan altos. Un interés particular de este estudio es que alguno de los tratamientos sea capaz de lograr una floración con una intensidad aceptable, anticipándose a lo logrado con el resto de los tratamientos; es decir, acortando el periodo juvenil de la planta. En este estudio y con plantas de apenas un año de edad, no se obtuvo diferencia entre tratamientos para brotes florales, ni flores por árbol, por lo que habrá que seguir evaluando el efecto de los tratamientos durante un segundo año de desarrollo.

Cuadro 4. Brotación floral de invierno de limón Persa en etapa vegetativa establecido con dos coberteras y Ormus en dos dosis y dos frecuencias de aplicación. Noviembre 2023 a marzo 2024.

T	Cobertera	Ormus		Floración total por árbol (febrero 7 y marzo 22 de 2024)			
		Dosis (mL/árbol)	Frecuencia de aplicación (d)	Brotes florales		Flores	
1	Canavalia	70	15	0.40	a ^z	1.25	a
2	Canavalia	70	30	1.00	a	1.88	a
3	Canavalia	140	15	0.88	a	0.88	a
4	Canavalia	140	30	3.75	a	2.88	a
5	Arvenses	70	15	0.88	a	3.88	a
6	Arvenses	70	30	0.50	a	3.00	a
7	Arvenses	140	15	1.00	a	2.25	a
8	Arvenses	140	30	1.13	a	3.34	a
9	Testigo	---	---	2.75	a	3.38	a
Promedio				3.722		5.111	
DMS				3.580		6.657	
CV (%)				125.677		194.107	

T = Tratamiento. ^z DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Medias con la misma letra dentro de columnas difieren estadísticamente (Tukey al 0.5% de probabilidad de error).

Conclusiones

A un año de iniciado el estudio se concluye lo siguiente:

1. Se conoció el efecto de dos coberteras vegetales (*Canavalia* y arvenses) y de la aplicación al suelo de Ormus, en dos dosis y dos intervalos de aplicación, en las dimensiones del tallo del patrón e injerto, de la altura y diámetro de copa, de la intensidad de brotación vegetativa y de floración del limón Persa; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. 2. La floración ocurrida fue muy incipiente en este primer año de vida de los árboles, por lo que no se pudo determinarse si algún tratamiento adelantó la primera floración con respecto a los otros tratamientos.

Literatura citada

- Arim, O. J., J. W. Waceke, S. W. Waudu and J. W. Kimenju. 2006. Effects of *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* intercrops on *Pratylenchus zae* damage and yield of maize in subsistence agriculture. *Plant and Soil* 284(1):243-251.
- Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science* 28(3):139-163.
- Bravo-Freire, E. A. 2021. Fertilización edáfica en drench con ormus marino en el cultivo de banano (*Musa acuminata* AAA). Tesis de Doctorado. Universidad Agraria del Ecuador.
- Cernohlávková, J., J. Jarkovský and J. Hofman. 2009. Effects of fungicides mancozeb and dinocap on carbon and nitrogen mineralization in soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72:80-85.
- Chen, S. K., C. A. Edwards and S. Subler. 2001. Effects of the fungicides benomyl, captan and chlorothalonil on soil microbial activity and nitrogen dynamics in laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 33:1971-1980.

- Cycon, M., Z. Piotrowska-Seget and J. Kozdrój. 2010. Responses of indigenous microorganisms to a fungicidal mixture of mancozeb and dimethomorph added to sandy soils. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64(4):316-323.
- Castle, W. S. 2010. A career perspective on citrus rootstocks, their development, and commercialization. *HortScience* 45(1):11-15.
- da Silva-López, R. E. 2012. *Canavalia ensiformis* (L.) DC (*Fabaceae*). *Revista Fitos* 7(03):146-154.
- Dominguez-Monge, S., J. D. Mendoza G., S. Ortiz S., R. Sarmiento T. y S. A. Curti-Diaz. 2024. Incidencia del alga (*Cephaleuros virescens*) en limón Persa (*Citrus latifolia*) en Tlapacoyan, Veracruz. *Rev. Mex. Fitopatol.* 42:198.
- El-Ghamry, A. M., J. M. Xu, C. Y. Huang and J. Gan. 2002. Microbial response to bensulfuron-methyl treatment in soil. *J. Agric. Food Chem.* 50:136-139.
- Flores, D. C. J. 2022. Estado del arte en relación a la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile. Tesis de Licenciatura. Universidad de Chile.
- Furr, J. R. 1961. Earliness of flowering and fruiting of trees propagated from top and basal shopots of young fruiting seedlings. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19620303664>
- Hackett, W. P. 2011. Juvenility, maturation and rejuvenation in woody plants. *Horticultural Reviews* 7:109-154.
- Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy *et al.* 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nature Communications* 12(1):1-8.

- Mahmood, I., S. R. Imadi, K. Shazadi, A. Gul and K. R. Hakeem. 2016. Effects of pesticides on environment. p. 253-269. *In*: Plant, Soil and Microbes. Springer, Cham.
- Meena, R. S., S. Kumar, R. Datta, R. Lal, V. Vijayakumar, M. Brtnicky *et al.* 2020. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: a review. *Land* 9(2):34.
- Mera-Andrade, R., C. Bejarano-Rivera, J. Sanchez-Espin, J. Artieda-Rojas, P. Pomboza-Tamaquiza, C. Alban-Yañez *et al.* 2019. Application of ancestral bio-knowledge in agricultural production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22(3):837-843.
- Peralta-Gamas, M., J. A. Villanueva J. y S. Nikolaevna M. 2011. Nuevos registros de Aleyrodidae y Diaspididae (Hemiptera: Sternorrhyncha) en plantaciones de Naranja (*Citrus sinensis* L.) de la Chontalpa, Tabasco, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 10(1):42-44.
- Quillahuaman, P. A. F. and M. R. Condori J. 2019. Producción del forraje verde hidropónico con la utilización de tres tipos de ORMUS - en el Centro Agronómico Kayra-Cusco. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Rebolledo-Martínez, A., A. L. del Ángel-Pérez, J. V. Megchún-García, J. A. García, J. Nataren-Velázquez and A. Capetillo-Burela. 2011. Coberturas vivas para el manejo de malezas en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. *Tropical and subtropical agroecosystems* 13(3):327-338.
- Revillini, D., C. A. Gehring and N. C. Johnson. 2016. The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant–soil feedback systems. *Funct. Ecol.* 30:1086-1098.
- Restrepo, R. J. y D. Algreto E. 2020. Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Santiago de Cali, Colombia. 482 p.

- Salas, B. V., E. G. Duran and M. S. Wiener. 2000. Impact of pesticides use on human health in Mexico: a review. *Reviews on Environmental Health* 15(4):399-412.
- Simón-Zamora, J. I. 2019. Microbiótica y remineralización de los suelos en manos campesinas. Uruapan, Michoacán, México. 146 p.
- Yamada, H., S. Takimoto, D. Toshinari, K. Kataoka and T. Habu. 2015. Effect of seawater irrigation on water relations and fruit quality in potted citrus trees. *The Horticulture Journal* 84(3):195-201.
- Zaller, J. G., F. Heigl, L. Ruess and A. Grabmaier. 2014. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Scientific reports* 4(1):1-8.
- Zimmerman, R. H. 1972. Juvenility and flowering in woody plants: A Review 1. *HortScience* 7(5):447-455.

TORVIC: VARIEDAD DE GIRASOL ALTO OLEICO DE CICLO INTERMEDIO PARA GUANAJUATO

Miguel Hernández Martínez¹⁴⁸

Resumen

En México, la superficie sembrada de girasol (*Helianthus annuus*) es de 2,779 ha en el año 2020 y una producción de 4,950 t de grano, con un rendimiento promedio de 1.79 t/ha. La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México, no se ha generado variedades alto-oleicas mexicanas, por lo que, las empresas trasnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. Ante la problemática, el INIFAP se propuso como objetivo el desarrollo de variedades alto oleico a partir de generaciones avanzadas de híbridos comerciales alto oleico, con previa revisión de que no estuvieran patentados los híbridos por la empresa distribuidora. La generación de variedades alto oleico se desarrollaron dentro del proceso del método de mejoramiento Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas y el método Selección Genealógica Combinada, auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares, la cual, permite identificar los segregantes tipo alto oleico a los 30 días de nacidos y al llegar a floración los segregantes se autofecundan durante varias generaciones, evaluando en cada generación el rendimiento, contenido y tipo de aceite, seleccionando las progenies promisorias precoces en tres ambientes de temporal y riego, en comparación con los testigos comerciales. Se seleccionó para su caracterización varietal y registro ante el SNICS a la variedad GIR-AO-20 de ciclo intermedio, para su liberación con el nombre TORVIC, cuyo registro de inscripción ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) es GIR-002-180424, que se recomienda para siembra bajo condiciones de temporal, principalmente para el estado de Guanajuato o bien, zonas similares en tipo de suelo y precipitación.

Palabras clave: *Helianthus annuus*, temporal, calidad de aceite

Introducción

A nivel mundial, los principales países que destacan por la superficie sembrada y cosechada de girasol son: Rusia con el 29%, Ucrania 29%, Argentina 9%, Rumania 9% y China 8% (Bye

¹⁴⁸ INIFAP Campo Experimental Bajío. *Autor de correspondencia: inifapmiguel@gmail.com

et al., 2009), Derivado del conflicto de guerra entre Ucrania y Rusia el costo del aceite ha subido en por lo menos un 60%.

México es parte del centro de origen del girasol (*Helianthus annuus*) (Lentz *et al.*, 2001). Se considera que el girasol fue llevado de América a Europa (Heiser, 1998) por colonizadores españoles, ingleses y franceses. Todas las subespecies son naturales de América (Harter, 2004), sin embargo, se le ha dado poca o nula importancia al cultivo en México (Rieseberg y Seiler, 1990).

El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) considera que, en México, a pesar de ser centro de origen del girasol, solo se ha colectado el 25% de la diversidad genética del girasol silvestre. Actualmente, en el país la superficie sembrada es de 2,779 ha con una producción de 4,950 t de grano, con un rendimiento promedio de 1.79 t/ha. Los principales estados productores son: Guanajuato 30%, Zacatecas 22%, Sonora 20%, Jalisco 18% y Tamaulipas 10%. Desde el 2013 se ha promovido la siembra de girasol en el estado de Guanajuato, a través de la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR, 2020) y a partir del 2015, se ofrece agricultura por contrato (AC) para la siembra de girasol alto oleico. Las empresas que ofrecen AC son las siguientes: Aceites Especiales Tron Hermanos de Morelia, AK de Jalisco; PepsiCo y Aceites el Mayo. En 2018-19 se sembró y cosecho 1,300 hectáreas de girasol Alto Oleico en AC, en Guanajuato (INEGI, 2022).

La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México (Hernández, 2011), no se ha generado variedades alto-oleicas mexicanas, por lo que, las empresas trasnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. El objetivo fue: desarrollar variedades de girasol mexicanas alto oleico, que demanda la industria aceitera y que el costo de la semilla sea más económico.

Materiales y métodos

En el Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato, se realizó el proceso de mejoramiento y el manejo agronómico en las parcelas experimentales bajo riego y temporal, en todos los ciclos se realizó control de maleza de hoja ancha y angosta con la aplicación del herbicida Premerlin 600C en dosis de 2.0 L/ha en preemergencia; la fórmula de fertilización

aplicada fue 80-40-00 kg/ha de N-P-K en la siembra; para control de la diabrotica y el chapulín se aplicó Cypermethrina 1.0 L/ha.

Para la generación de variedades con alto contenido de aceite del tipo alto oleico, se derivaron a partir de generaciones avanzadas F₂ de híbridos comerciales (Syngenta) alto oleico sobresalientes, dentro del proceso del método de mejoramiento denominado Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas (SREPA) (Benítez-Riquelme, 2002) y el método Selección Genealógica Combinada (SGC) (Márquez, 1988), auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SMM), la cual permite identificar los segregantes tipo alto oleico usando el marcador FAD-2.

Ciclo 1. Se estableció la generación proveniente del híbrido comercial (Syngenta) y a los 30 días de nacida, se identifican las plántulas de las cuales se colectó tejido foliar y en laboratorio se aplicó la SMM para identificar 40 plantas alto oleicos, las cuales al iniciar la floración se autofecundan (S₀), se tomó las variables de días a flor, altura de planta, fitosanidad, diámetro de cada capítulo; al cosechar se pesó el rendimiento de grano de cada capítulo, se midió el contenido de aceite, posteriormente se aplicó una presión de selección (PS) del 50%, para seleccionar los 20 S₀ más sobresalientes.

Ciclo 2. Se sembraron los 20 segregantes, a los 30 días se colectó y se aplicó SMM para identificar 300 alto oleicos en el laboratorio con la muestra foliar de cada segregante, en floración se autofecundan S₁, clasificándolos por ciclo precoz (P), intermedio (I) y tardío (T) y al cosechar se midió el rendimiento y contenido de aceite, se aplicó PS 60% para seleccionar las mejores 60 P, 60I y 60T, todas S₁.

Ciclo 3. Se establecieron tres Ensayos Preliminares de Rendimiento (EPR) de las 60 P, 60 I y 60 T; a los 30 días se aplicó SMM para confirmar el carácter alto oleico, en floración se autofecundan S₂ y se cosechan, se midió el rendimiento y contenido de aceite y se aplicó PS 60%, para seleccionar las mejores S₂ 18P, 18I y 18T.

Ciclo 4. Se establecieron tres lotes aislados para recombinar los segregantes P, I y T, además de avanzar en forma separada el proceso de autofecundación S₃ los 18 (P + I + T) y al cosechar por separado los lotes aislados, se formaron tres poblaciones sintéticas acorde al ciclo de los recombinantes. A todos los segregantes se aplicó SMM para verificar que poseían el carácter alto oleico.

Ciclo 5. A partir de este ciclo, se estableció el Ensayo Uniforme de Rendimiento (EUR) de los genotipos intermedios, en tres ambientes de Celaya bajo riego y temporal, en el municipio de Apaseo el Alto y en el municipio de Acámbaro, ambos bajo condiciones de temporal, evaluando por rendimiento los 18 segregantes de ciclo intermedio y los dos testigos híbridos, a los 30 días de nacidos, se volvió a verificar que todos los genotipos sean alto oleico, al cosechar y medir el rendimiento, se aplicó una PS del 40% para seleccionar e identificar solo los mejores genotipos Intermedios por rendimiento y sanidad, los cuales en forma separada se autofecundan para obtener la S₄.

Ciclo 6. Se estableció en un segundo año el Ensayo Uniforme de Rendimiento (EUR) de los genotipos intermedios (18 genotipos y los dos testigos híbridos de ciclo intermedio) y se realizó la Caracterización Varietal (EURC) en tres ambientes de Celaya, bajo condiciones de riego y temporal, en el municipio de Apaseo El Alto y en el municipio de Acámbaro. A los 30 días de nacidos, se volvió a verificar que todos los genotipos sean alto oleico, al cosechar y medir el rendimiento, se aplicó una PS del 40% para seleccionar e identificar solo los mejores genotipos intermedios (7 genotipos) por rendimiento y sanidad, cabe señalar que fueron los mismos del ciclo anterior (Ciclo 5), los cuales en forma separada se autofecundan para obtener la S₅.

Diseño experimental. En los ensayos uniformes del ciclo 5 y 6, fue bloques al azar con tres repeticiones, el tamaño de parcela fue de un surco de 4 metros, el ancho de surco fue de 0.80 m. Se realizó el análisis de varianza y para la separación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 5%.

En el Cuadro 1 se resume todo el proceso de actividades del mejoramiento a través de los seis ciclos que se detalla en materiales y métodos, en donde destaca que, para cada actividad se aplicó la SAMM para identificar y/o verificar el carácter alto oleico usando el marcador FAD-2 en etapa temprana y en floración se autofecundan para obtener líneas homocigotas y al cosechar se va aplicando diversos porcentajes de presión de selección (PS) para seleccionar los mejores segregantes.

En los dos últimos ciclos se evaluaron ensayos uniformes de rendimiento y caracterización varietal para definir cual o cuales son las mejores variedades dentro del grupo de las precoces, de las de ciclo intermedio y de las tardías, por rendimiento de grano, fitosanidad, porcentaje de contenido de aceite y dentro de este, el porcentaje de aceite del tipo alto oleico.

Cuadro 1. Proceso de mejoramiento de las variedades sobresalientes GIR-AO-10, GIR-AO-20 (TORVIC) y GIR-AO-30 en el Campo Experimental Bajío.

Ciclo	Actividad	SAMM + Autofecundación	Presión de Selección	Segregantes Seleccionados
1	Generación F ₂	40 S ₀	50%	20 S ₀
2	Siembra 20 S ₀	300 S ₁	60%	60(P+I+T) S ₁
3	3 EPR: P, I, T	180 S ₂	30%	18(P,+I+T) S ₂
4	3 LAR: P, I, T	54 S ₃	-	18(P+I+T)S ₃ +3PS
5	3 EUR: I (3A)	18 S ₄	40%	7(I) S ₄
6	3 EURC (3A)	18 S ₅	-	7(I) S ₅

SAMM = Selección Asistida por Marcadores Moleculares; * = Autofecundación; P = Precoces; I = Intermedios; T = Tardíos; 3PS = Tres poblaciones sintéticas; EPRB = Ensayo Preliminar de Rendimiento; EUR = Ensayo Uniforme de Rendimiento; 3A = Tres ambientes de evaluación; EURC = Ensayo Uniforme de Rendimiento y Caracterización.

Resultados y discusión

Identificación de segregantes alto oleico. El marcador que se usó desde el ciclo 1 al 6 y que mejor discrimina el carácter no oleico del oleico, fue FAD-2, que amplifica un fragmento de aproximadamente 600 pares de bases y que identifica la mutación de Pervenet, ligada con la síntesis preferente de ácido oleico, el cual, permitió el escrutinio y la certeza de avanzar solo segregantes oleicos.

Presión de selección (PS). La PS que se aplicó del ciclo 1 al 3, fue de forma individual, para seleccionar los mejores segregantes por rendimiento, porcentaje de contenido de aceite y fitosanidad dentro de cada grupo de precoces, intermedios y tardíos.

Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR). En el ciclo 3, se realizó el Ensayo Preliminar de Rendimiento con testigos comerciales acordes al ciclo, aplicando una PS del 30%, para seleccionar los 18 mejores con rendimientos comparables, o bien, dentro del rango de rendimiento obtenido por los testigos híbridos acorde al ciclo de estos. Como resultado, se

agrupó los mejores segregantes en: 18 precoces con rendimientos de 2.1 a 2.7 t/ha; 18 intermedios con rendimientos de 2.7 a 3.2 t/ha; y 18 tardíos de 2.9 a 3.5 t/ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. En el Ciclo 3, número de segregantes seleccionados precoces intermedios y tardíos, del ensayo preliminar con rangos de rendimientos menores y un poco mayores del rendimiento obtenido por los testigos híbridos.

Testigo	Ciclo 3	Días flor	Rendimiento (kg/ha)	Segregantes seleccionados dentro del rendimiento de los testigos
P-64 HC-133	Precoz	72	2,550	18 segregantes precoces con rendimientos de 2.1 a 2.7 t/ha y en el rango de floración
P-64 HC-118	Precoz	68	2,320	
Cobalto	Intermedio	78	3,090	18 segregantes intermedios con rendimientos de 2.7 a 3.2 t/ha y en el rango de floración
Hornet	Intermedio	73	2,930	
Syngenta 3950	Tardío	84	3,420	18 segregantes tardíos con rendimientos de 2.9 a 3.5 t/ha y en el rango de floración
Syngenta 3965	Tardío	80	3,340	

En los Cuadros 3 y 4 se muestran los resultados de rendimiento de los genotipos de girasol alto oleico, solo los de ciclo intermedio evaluados en dos ciclos (Ciclo 5 y 6), en las localidades de temporal en Acámbaro, Apaseo el Alto y Celaya, además, en esta última, el ensayo bajo riego; también, se muestran las precipitaciones que se presentaron en dichas localidades, destaca que, un buen grupo de genotipos supera a la media de los testigos intermedios comerciales que se recomiendan en la región, sin embargo, sobresale la variedad GIR-AO-20 (TORVIC) con un promedio de rendimiento de 2,436 kg/ha en el ciclo 5 y en el ciclo 6 con 2,524 kg/ha (Cuadro 4), seleccionando esta variedad para su registro y liberación con la denominación de TORVIC.

Cuadro 3. Rendimientos obtenidos en kg/ha por girasoles de tipo intermedios, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 5 y en riego en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro	A. El Alto	Celaya	Media	Celaya R
6	Gir AO-20	2745	2345	2220	2436 a	3,120 a
5	Gir AO-72-1	2700	2316	2139	2385 ab	3,056 ab
7	Gir AO-117-2	2640	2243	2100	2327 ab	3,080 ab
13	Gir AO-156-1	2500	2221	2099	2273 abc	3,015 ab
18	Gir AO-214-2	2508	2257	2000	2255 abc	3,025 ab
16	Gir AO-180-1	2420	2244	1990	2218 abc	3,050 ab
1	Gir AO-22-2	2402	2109	1950	2153 abcd	3,000 ab
4	Gir AO-66-1	2287	1977	2140	2134 abcde	3,066 ab
9	Gir AO-138-2	2408	2000	1960	2122 abcdef	3,021 ab
12	Gir AO-151-2	1995	2176	1995	2055 abcdef	3,009 ab
10	Gir AO-145-1	2351	1768	1954	2024 bcdef	2,990 ab
20	Tes. P 63H-148	2310	2115	1625	2016 bcdef	3,120 a
19	Tes. Hornet	2210	2057	1628	1965 cdef	3,080 ab
14	Gir AO-157-1	2384	1755	1750	1963 cdef	2,984 ab
3	Gir AO-34-2	2301	1920	1520	1913 cdef	2,991 ab
11	Gir AO-150-2	2220	1745	1510	1825 def	2,720 ab
2	Gir AO-33-3	2261	1654	1518	1811 def	2,700 b
15	Gir AO-179-1	2157	1810	1410	1792 def	2,675 b
8	Gir AO-137-1	2189	1634	1510	1777 ef	2,686 b
17	Gir AO-202-1	2128	1721	1405	1751 f	2,690 b
	Media Test.	2260	2086	1626.5	1990	3,100
	Tukey 5%	401	380	346	375	410
	Precipitación mm	495	460	412		421

Cuadro 4. Rendimientos obtenidos en kg/ha por girasoles de tipo intermedios, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 6 y en riego en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro	A. El Alto	Celaya	Media	Celaya Riego
6	Gir AO-20	2680	2520	2372	2524 a	3,300 ab
5	Gir AO-72-1	2705	2610	2137	2484 ab	3,129 ab
7	Gir AO-117-2	2700	2522	2179	2467 ab	3,140 ab
13	Gir AO-156-1	2672	2501	2087	2420 abcd	3,200 ab
18	Gir AO-214-2	2684	2480	2210	2458 abc	3,154 ab
16	Gir AO-180-1	2510	2192	2000	2234 abcdf	3,142 ab
1	Gir AO-22-2	2514	2120	1996	2210 abcdf	3,133 ab
4	Gir AO-66-1	2484	2001	1935	2140 bcdf	3,110 ab
9	Gir AO-138-2	2486	2000	1781	2089 def	2,984 ab
12	Gir AO-151-2	2354	2015	1901	2090 cdef	2,940 ab
10	Gir AO-145-1	2366	1990	1860	2072 def	2,840 b
20	Tes. P 63H-148	2750	2550	2296	2532 a	3,350 a
19	Tes. Hornet	2575	2350	2080	2335 abcde	3,200 ab
14	Gir AO-157-1	2482	1900	1693	2025 ef	2,985 ab
3	Gir AO-34-2	2466	1824	1800	2030 ef	2,994 ab
11	Gir AO-150-2	2433	1890	1800	2041 def	2,880 b
2	Gir AO-33-3	2341	1919	1752	2004 ef	2,984 ab
15	Gir AO-179-1	2344	1850	1680	1958 f	2,880 b
8	Gir AO-137-1	2299	1810	1780	1963 f	2,851 b
17	Gir AO-202-1	2124	1801	1691	1872 f	2,850 b
	Media Test.	2662.5	2450	2188	2433.5	3,275
	Tukey 5%	388	372	350	370	455
	Precipitación mm	478	464	460		412

Variedad GIR-AO-20 (TORVIC). En el Cuadro 5 se muestra los rendimientos obtenidos de la variedad TORVIC y los testigos comerciales bajo condiciones de riego en los ciclos 5 y 6 de la localidad de Celaya; asimismo, los rendimientos promedio bajo temporal en los ciclos 5 y 6 de

las localidades de Apaseo el Alto, Acámbaro y Celaya. La calidad del aceite de la variedad GIR-AO-20 (TORVIC) es de tipo alto oleico y su ciclo es de tipo intermedio, con 79 días a floración y 140 días a madurez de cosecha, con una altura promedio de planta de 1.88 m y un diámetro de capítulo de 26 cm.

Cuadro 5. Rendimientos obtenidos en t/ha bajo riego de la variedad GIR-AO-20 (TORVIC) y los testigos en los ciclos 5 y 6 de la localidad de Celaya y los obtenidos bajo temporal en los ciclos 5 y 6, promedio de las localidades de Apaseo el Alto, Acámbaro y Celaya.

Variedad	Riego C5	Riego C6	Temporal C5	Temporal C6	Media Riego	Media Temporal
TORVIC	3,120	3,300	2,436	2,524	3,210	2,480
P63H-148	3,120	3,350	2,016	2,532	3,235	2,274
Hornet	3,080	3,200	1,965	2,335	3,140	2,150

El rendimiento promedio de grano en dos años en tres localidades bajo condiciones de temporal fue de 2,400 kg/ha, que comparado al mejor testigo P 63H-148 con un rendimiento de 2,274 kg/ha lo supera con un 9% más y bajo condiciones de riego es de 3,200 kg/ha prácticamente son iguales, con un porcentaje de aceite del 41% y de este porcentaje el 90% es aceite del tipo alto oleico (Cuadro 6), es tolerante a las enfermedades foliares causadas por *Verticillium dahliae* y *Alternaria helianthi*, estas enfermedades cuando llegan aparecen en la planta de girasol lo hacen cerca de la madurez fisiológica del cultivo por lo que su daño no es severo.

Las zonas de adaptación de la variedad TORVIC de ciclo intermedio, se recomienda principalmente para condiciones de temporal o riego en el Centro, Sur, Este y Oeste de Guanajuato, donde predomina los suelos tipo vertisol con buena profundidad. También se recomienda la variedad TORVIC para la Zona Norte de Guanajuato, donde predomina el suelo tipo Feozem, de textura migajón arenoso, con profundidad 40 a 60 cm, poco permeable, clima semiárido templado y altitud de 2,200 a 2,600 m, con precipitación de 280 a 380 mm, con estaciones de crecimiento de 135 días.

Cuadro 6. Resumen del comportamiento de la variedad intermedia TORVIC (GIR-AO-20) y los testigos respecto al rendimiento y sus características agronómicas, contenido de aceite y porcentaje de aceite oleico en riego y temporal.

Variedad	Riego kg/ha	Temporal kg /ha	D.F.	A.P. cm	D.C. cm	% Ace	% Ole
TORVIC	3,210	2,480	79	188	26	41.5	90.0
P 63H-148 T	3,235	2,274	80	182	28	40.5	90.8
Hornet T	3,140	2,150	78	191	26	42.5	88.8

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capitulo; T= Testigos. % Ace= Porcentaje de aceite; % O= % de aceite oleico.

La disponibilidad de semilla de la variedad de girasol TORVIC registrada con el número de inscripción GIR-002-180424, en el CNVV del Sistema Nacional de Inscripción y Certificación de Semillas (SNICS), se puede obtener en el Campo Experimental Bajío del INIFAP, ubicado en Celaya, Guanajuato, para su venta a productores o compañías productoras de semilla que lo soliciten.

Conclusiones

Con base en el método de mejoramiento, los resultados en las evaluaciones de rendimiento, el análisis del porcentaje y tipo de aceite, aunado a la comparación con los testigos comerciales empleados, se seleccionó la variedad intermedia GIR-AO-20 registrada ante el SNICS con el nombre de TORVIC, ante el Catálogo Nacional de Variedades de Vegetales (CNVV) para su recomendación bajo temporal en el estado de Guanajuato.

Literatura citada

- Benítez-Riquelme, R. I. 2002. Selección recurrente con progenies endogámicas de especies autógamas: Eficiencia de Campo. *Agrociencia* 36(1):55-65.
- Bye, R., E. Linares y D. L. Lentz. 2009. México: Centro de origen de la domesticación del Girasol. *TIP Rev.Esp.Cienc.Quím.Biol.* 12(1):5-12.
- Harter A. V., K. A. Gardner, D. Falush, D. L. Lentz, R. A. Bye and L. H. Rieseberg. 2004. Origin of extant domesticated sunflowers in eastern North America. *Nature* 430:201-205.
- Heiser, B. C. 1998. The domesticated sunflowers in old Mexico? *Genet. Resour. Crop Evol.* 45:447-449.
- Hernández, M. M. 2011. Cultivos Alternativos para Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. Libro Técnico No. 4.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2022. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de México. Gobierno de la República de México. 158p.
- Lentz D. L., M. E. D. Pohl, K. O. Pope and A. R. Wyatt. 2001. Preshistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. *Econ. Bot.* 55:370-376.
- Márquez. S. F, 1988. Genotecnia Vegetal II. Métodos, Teoría, Resultados, AGT Editor, S.A. México. 665 p.
- Rieseberg L. H. and G. J. Seiler. 1990. Molecular evidence and the origin and development of the domesticated sunflower (*Helianthus annuus*). *Econ. Bot.* 44:79-91.

SDAyR (Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural). 2020. Análisis de la productividad y rentabilidad de las unidades de producción agroalimentarias del estado de Guanajuato. SDAyR-Gobierno del Estado de Guanajuato. 156p. <https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/wp-content/uploads/30-SDAyR-2021-Rentabilidad-Inf.pdf> [consultado el 26 de septiembre de 2024].

CALIDAD ORGANOLÉPTICA Y VIDA POSTCOSECHA EN LIMÓN MEXICANO (*Citrus aurantifolia* Christm) INFECTADOS CON HUANGLONGBING

Aideé Hernández Rivera¹⁴⁹, Eucario Mancilla Álvarez¹⁵⁰, María Alejandra Gutiérrez Espinosa¹⁵¹, Rigoberto González Mancilla¹⁵², Apolinar González Mancilla¹⁵³ y María de Jesús Martínez Hernández^{149*}

Resumen

La citricultura en México, particularmente en limón (*Citrus aurantifolia* Christm.), es afectada desde el 2010 por la presencia del huanglongbing (HLB). Los estudios sobre los efectos de esta enfermedad en la calidad postcosecha en frutos de cítricos son escasos. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad y tiempo de almacenamiento en frutos de limón mexicano (*C. aurantifolia*) de árboles con síntomas de HLB y frutos de árboles sanos. Para ello, se colectaron 600 frutos y se clasificaron de acuerdo a su origen: árboles con HLB (300 frutos) y árboles sanos (300 frutos), se evaluaron dos temperaturas de almacenamiento: ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) durante 4 y 8 días y refrigeración ($9 \pm 1^\circ\text{C}$) por 2 semanas. Transcurridos los tiempos se evaluaron: acidez titulable, ácido ascórbico, pérdida de peso, sólidos solubles totales e índice de color. Los resultados presentaron una acelerada pérdida de peso, indicativo de ser sensibles a daños por frío, la acidez titulable se incrementó un 40% en los frutos enfermos con HLB, el índice de color se vio afectado en los frutos enfermos con HLB después de cuatro y ocho días de almacenamiento en temperatura ambiente y de refrigeración, presentando el fenómeno de senescencia comparados con los frutos que provenían de árboles sin HLB, con disminución de ácido ascórbico afectando su calidad nutritiva, lo cual es una limitante para su almacenamiento. Este estudio nos ayudará en la postcosecha a considerar el uso de ceras como una alternativa para controlar la calidad, desórdenes fisiológicos y patológicos.

Palabras clave: *Diaphorina citri*, pérdida de peso, ácido ascórbico, color externo, HLB

¹⁴⁹ Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad Veracruzana, Xalapa Enríquez, Xalapa, Veracruz, México. C. P.91090.

¹⁵⁰ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

¹⁵¹ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo Carretera México Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

¹⁵² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan (ITCP). Av. Tecnológico No. 21, CP. 68446. San Bartolo, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca.

¹⁵³ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo Km. 32. Venecia, Gómez Palacio, Durango. México. *Autor de correspondencia: mhernandezmj@gmail.com

Introducción

El huanglongbing (HLB) es una enfermedad devastadora que afecta a la citricultura a nivel mundial. El psílido asiático de los cítricos (ACP) *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) es el principal vector que transmite la enfermedad durante su alimentación con las hojas de los cítricos (Hall *et al.*, 2012). Las especies bacterianas asociadas al HLB son: 1) *Candidatus Liberibacter asiaticus* (C. Las), distribuido en Asia, África y América. 2) *Candidatus Liberibacter africanus* (C. Laf) encontrado en África (Jagoueix *et al.* 1994). 3) *Candidatus Liberibacter americanus* (C. Lam) presente en Brasil y Asia (Teixeira *et al.*, 2005; Antunes *et al.*, 2010), y 4) *Candidatus Liberibacter caribbeanus* (C. Lca) en Colombia (Folimonova *et al.*, 2010; Beloti *et al.*, 2013). Las cuales son transmitidas por al menos dos vectores. El psílido asiático de cítricos (*Diaphorina citri*), transmite a: C. Las, C. Lam y C. Lca (Da Graca y Kornsten, 2004; Antunes *et al.*, 2010), mientras que, *Trioza erytreae* (triozida de cítricos africanos) transmite a C. Laf (Da Graca y Kornsten, 2004).

El psílido asiático de los cítricos invadió muchos países de América Central y del Norte a partir de la década de 1990 y posteriormente, se detectó HLB en los Estados Unidos, el este y el oeste de México, Belice, Puerto Rico y Cuba (Hijaz *et al.*, 2016; Killiny *et al.*, 2017). Este patógeno causó la muerte de más de 63 millones de árboles de cítricos en Asia, Sudáfrica y Brasil (Halbert y Manjunath, 2004). La producción de cítricos en los Estados Unidos (EE.UU.) ha disminuido significativamente. Florida, el segundo mayor productor de cítricos de la nación, ha registrado la mayor reducción de más del 80%, de 13,5 millones de toneladas en 1998 a alrededor de 2,6 millones de toneladas en 2021 (USDA-NASS, 2022).

México ocupa el cuarto lugar en producción de cítricos a nivel mundial (García-Ávila *et al.*, 2021). Es una actividad agrícola importante para el país, sin embargo, la producción está siendo amenazada por *C. Liberibacter asiaticus*. Los primeros casos reportados de HLB en México fueron en árboles de limón mexicano (Folimonova y Achor, 2010; Trujillo, 2010a; Trujillo, 2010b). Salcedo *et al.*, (2010) señalan que puede causar una reducción en el rendimiento de limón mexicano del 20 hasta 48% en los primeros tres años, dependiendo el nivel de intensidad de daño causado por la enfermedad. Para el año de 2010 a 2014, en el estado de Colima provocó el cambio de más de 5 000 ha de plantaciones de cítricos,

ocasionando una reducción de 84 721 toneladas de limón (Granados-Ramírez y Hernández - Hernández, 2018).

Esta enfermedad es causada por la bacteria gramnegativa *Candidatus Liberibacter* (α -proteobacterias) restringidas al floema que evitan la translocación de fotoasimilados, por lo tanto, el obstáculo al movimiento de nutrimentos y azúcares en los tejidos internos (Bendix y Lewis, 2018; Hasan *et al.*, 2021). Ocasiona la pérdida de las hojas, afecta los rasgos de la fruta, forma, tamaño, la maduración, la calidad, el rendimiento, el sabor, textura, la caída de los frutos y finalmente la muerte de la planta (Bojórquez-Orozco *et al.*, 2023; Thakuria *et al.*, 2023). Los síntomas en los árboles pueden confundirse con deficiencias nutricionales, o incluso con el daño de plagas y otras enfermedades (Gottwald *et al.*, 2007). Por lo anterior, este trabajo tiene por objetivo evaluar la calidad y tiempo de almacenamiento en frutos de limón mexicano (*C. aurantifolia*) de árboles con síntomas de HLB y frutos sanos.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Oriente 6, Rafael Alvarado, Orizaba, Ver., México. Localizado geográficamente a 18.85794694719527, -97.0729141336223.

Material vegetal

Se utilizó frutos del limón (*Citrus aurantifolia*), se cosecharon 300 frutos sanos y 300 frutos con HLB; de los 300 frutos sanos y enfermos se seleccionaron 150 y fueron almacenados durante 4 y 8 días a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$; $55 \pm 5\%$ HR), los 150 restantes de frutos sanos y enfermos fueron expuestos a refrigeración ($9 \pm 1^\circ\text{C}$; $85 \pm 5\%$ HR) durante dos semanas más 4 y 8 días a temperatura ambiente, con la finalidad de tener las condiciones de comercialización.

Los frutos se seleccionaron por tamaño, color verde (homogéneo) y apariencia (libre de daños). Se evaluaron los cambios en la calidad de los frutos: a) sólidos solubles totales, mediante un refractómetro digital (ATAGO PR-100, U.S.A., inc. Bellevue, EE.UU.), los datos se expresaron

como °Brix; b) acidez titulable (ácido cítrico); c) contenido de ácido ascórbico, en 5 mL de jugo de limón realizando la extracción con ácido oxálico y la valoración con 2, 6-diclorofenol-indofenol, reportando los datos como mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo, metodologías descritas por la A.O.A.C. (1990); d) color externo, se midió en la zona ecuatorial de todos los frutos con un colorímetro de reflexión (Hunder Lab D-25 Reston, Virginia, EE.UU.) con escala CIELab que calcula el índice de color (IC) parámetros L, a, b obtenidos (1000 a/bL) propuesto por Jiménez-Cuesta *et al.* (1981) y, e) pérdida de peso. que se calculó mediante la fórmula: % PP = ((Peso inicial–Peso final) /Peso final).

Análisis estadístico y diseño experimental

El diseño experimental utilizado en todos los experimentos fue completamente al azar, cada uno de los frutos se consideró como unidad experimental, se tomaron 15 frutos por tratamiento, todo el experimento se realizó por triplicado. Realizando análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software IBM SPSS Estadísticas (Versión 22 para Windows). La normalidad y la homogeneidad de la varianza se verificaron con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente. Cuando las variables no mostraron estos parámetros, se transformaron en logaritmo natural (ln). Los datos porcentuales se transformaron con la formula $Y = \arccos(\sqrt{x/100})$, donde x es el valor porcentual.

Resultados y discusión

Almacenamiento a temperatura ambiente

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en la calidad de frutos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Calidad postcosecha en frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) con síntomas de HLB y sanos, almacenados a condiciones de comercialización ($20 \pm 2^\circ\text{C}$; $55 \pm 5\%$ HR)

Tratamiento	Almacenamiento (días)	Pérdida de peso (%)	Acidez titulable (% ácido cítrico)	Sólidos Solubles totales (%)	Índice de color IC = (1000 a/bL)	Ácido ascórbico (mg/100 mL)
Con síntomas de HLB	0	0.0±0.00 ^c	9.24±0.08 ^a	7.83±0.08 ^a	-17.19±0.12 ^b	31.24±0.48 ^a
	4	6.7±0.48 ^b	4.40±0.09 ^d	7.46±0.14 ^a	-14.04±0.45 ^c	28.84±0.50 ^b
	8	13.2±0.26 ^a	7.53±0.13 ^{b^c}	7.83±0.36 ^a	-8.46±0.27 ^e	25.10±0.33 ^c
Sanos (sin HLB)	0	0.0±0.00 ^c	8.36±0.36 ^b	7.60±0.10 ^a	-20.06±0.35 ^a	31.37±0.71 ^a
	4	6.2±0.97 ^b	4.44±0.10 ^d	7.40±0.10 ^a	-13.18±42 ^{cd}	27.85±0.42 ^b
	8	11.7±0.37 ^a	7.47±0.17 ^c	7.93±0.06 ^a	-11.75±0.23 ^d	24.00±0.18 ^c

Los valores representan la media $\pm$ error estándar. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Las mayores pérdidas de peso se observaron en los frutos enfermos con HLB a partir de los cuatro días equivalente al 6.7%, observándose una drástica pérdida de peso a los 8 días de almacenamiento con 13.2%. Mientras que las menores pérdidas de peso se observaron en los frutos sanos sin HLB con 6.2% a los cuatro días de almacenamiento y ocho días con 11.7%. Respecto a la calidad interna y contenido de ácido cítrico, entre los tratamientos; frutos con HLB y frutos sin HLB, los frutos enfermos mostraron un incremento de acidez al momento de cosecha con 9.24%, disminuyendo a los cuatro días con 7.53% y finalmente a los ocho días con 7.53%. El contenido de ácido cítrico en los frutos fue inestable debido a un efecto de la enfermedad del HLB, sin embargo, se observó que su porcentaje de contenido de ácido cítrico fue más elevado en los frutos sanos al momento de cosecha con 8.36% disminuyendo a los cuatro días 4.44%, en el octavo día incrementado 7.47%. Para el parámetro de sólidos solubles totales, no fueron significativamente para ambos tratamientos. En cuanto al índice de color, se observó una drástica disminución de color para los frutos con HLB al inicio de cosecha con -17.9 presentando una coloración heterogénea color verde-amarillo ligero. A partir del cuarto

día de almacenamiento, hubo disminución de color verde de -14.04 predominando la tonalidad amarilla a los frutos. En el octavo día de almacenamiento los frutos perdieron el color verde característico alcanzando un valor de -8.46 de índice de color, lo que demeritó su apariencia y vida postcosecha por efecto del proceso de senescencia en los frutos. Mientras que los frutos sanos sin HLB en el día de cosecha presentan un color verde intenso de -20.06 de índice de color, al transcurso de los cuatro días, la degradación de clorofila y la tonalidad de color verde característico mostró una disminución de índice de color de -13.18. Para el octavo día de almacenamiento, los frutos presentaban un color verde con un valor -11.75 sin presencia de tonalidad amarilla en los frutos, mostrando un retraso en el proceso de senescencia de los frutos y prolongando su vida postcosecha. Para la calidad nutritiva, la concentración de ácido ascórbico se observó menor concentración en los frutos enfermos con HLB de 31.24 mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo al momento de cosecha. Los niveles de concentración disminuyeron a los cuatro días de almacenamiento con 28.84 mg ácido ascórbico. A los ocho días presentaron una baja concentración y pérdida de ácido ascórbico con 25.10 mg ácido ascórbico, indicando una degradación continua del compuesto. Mientras que para los frutos sanos sin HLB la pérdida de ácido ascórbico fue menor en el transcurso de los días de almacenamiento, en el día de cosecha con 31.37 mg, con 27.85 mg a los cuatro días y 24 mg a los ocho días siendo más evidente la pérdida de ácido ascórbico en los frutos enfermos con HLB.

En nuestro estudio se observó que los frutos con síntomas de HLB no difieren drásticamente con frutos sanos, en cuanto a su acidez, color, peso, y ácido ascórbico. Este estudio podría ser útil en el aprovechamiento de los frutos con HLB por la agroindustria. Los efectos del HLB en los frutos enfermos para el parámetro de pérdida de peso se vieron significativamente afectados acortando su vida de anaquel. De acuerdo a Robles *et al.* (2013), los frutos provenientes de sectores o ramas sintomáticas en árboles de limón mexicano que tuvieron entre 50 y 80% de su copa afectada por HLB presentaron el menor tamaño y peso. Muñoz *et al.* (2011) señala que los frutos de limón mexicano debido a tener una cáscara delgada y un tamaño pequeño favorece a la pérdida de agua por transpiración. Los frutos empezaron a deshidratarse con el transcurso de los días en que se conservaban, teniendo así, una pérdida de peso.

En el presente estudio se observó inestabilidad para ambos frutos en el parámetro de porcentaje de ácido cítrico (acidez) a temperatura ambiente, sin embargo, los que presentaron mayor porcentaje de ácido cítrico durante los días de almacenamiento fueron los frutos con síntomas de HLB. Esto concuerda con lo reportado por Bassanezi *et al.* (2009) en naranjas dulces “Hamlin”, “Westin”, “Pera”, Valencia americana los frutos cosechados de árboles con síntomas de HLB presentaron mayor acidez. Con respecto a las variables de sólidos solubles totales no hubo un efecto diferente en ambos grupos de frutos evaluados lo que coincide con lo reportado por Robles *et al.* (2013) informaron que la enfermedad no afecta significativamente los valores de °Brix. Además, el limón al ser un fruto no climatérico, los cambios metabólicos relacionados con esta variable se presentan cuando los frutos se encuentran en el árbol y alcanzan su madurez fisiológica (Franco *et al.*, 2012). Por otra parte, Bassanezi *et al.* (2009) señala que los frutos de naranja con síntomas de HLB de diferentes variedades mostraron un bajo incremento en °Brix.

Por otra parte, se observó que los frutos enfermos con HLB tuvieron una disminución de color verde mayor que los frutos sanos sin HLB. Hernández *et al.* (2018) reportaron en limón mexicano que frutos de árboles enfermos con HLB disminuyeron el índice de color significativamente a mayor tiempo de almacenamiento. Goldschmidt, (1997) señala que en limón mexicano se manifiesta como un efecto desfavorable (amarillamiento) dando lugar a pérdida de la calidad, en postcosecha de los cítricos presentan una biosíntesis de pequeñas cantidades de etileno (C_2H_4), lo que favorece el proceso de senescencia, provocando un aumento en la actividad respiratoria y favoreciendo la pérdida de clorofila.

Almacenamiento a condiciones de refrigeración

Se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos evaluados en la calidad de frutos almacenados a temperatura de refrigeración ($9\pm 1^\circ C$; $85\pm 5\%$ HR) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calidad postcosecha en frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) con síntomas de HLB y sanos almacenados en refrigeración ($9\pm1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $85\pm5\%$ HR) durante dos semanas y posterior exposición a condiciones de comercialización ($20\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $55\pm5\%$ HR).

Tratamiento	Almacenamiento (días)	Pérdida de peso (%)	Acidez titulable (% ácido cítrico)	Sólidos Solubles totales (%)	Índice de color IC = (1000 a/bL)	Ácido ascórbico (mg/100 mL)
Con síntomas de HLB	0	0.0 ± 0.00^c	7.26 ± 0.23^a	7.53 ± 0.37^a	-12.85 ± 0.45^a	40.48 ± 0.36^b
	4	10 ± 0.53^b	6.97 ± 0.38^a	7.30 ± 0.25^a	-7.70 ± 0.39^c	31.17 ± 0.55^d
	8	15.3 ± 0.44^a	7.90 ± 0.22^a	7.80 ± 0.17^a	-7.50 ± 0.48^c	37.67 ± 0.68^c
Sanos (sin HLB)	0	0.0 ± 0.00^c	6.73 ± 0.38^a	7.73 ± 0.08^a	-14.14 ± 0.42^a	47.34 ± 0.42^a
	4	9.6 ± 0.51^b	7.86 ± 0.02^a	7.76 ± 0.12^a	-9.96 ± 0.31^b	46.26 ± 0.63^a
	8	11.9 ± 0.56^b	7.60 ± 0.25^a	8.03 ± 0.24^a	-10.79 ± 0.38^b	31.82 ± 0.15^d

Los valores representan la media $\pm$ error estándar. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Las mayores pérdidas de peso se observaron en los frutos enfermos con HLB a partir de los cuatro días con el 9.8%, a los 8 días de almacenamiento con una pérdida de peso de 14.3%. Mientras que el menor porcentaje de pérdida de peso se observó en los frutos sanos sin HLB con 9.6% a los cuatro días de almacenamiento y ocho días con un porcentaje de pérdida de 12.9%. Respecto al contenido de ácido cítrico y sólidos solubles totales no se encontraron diferencias significativas para ambos tratamientos. Para el índice de color, se observó una disminución de color para los frutos con HLB al inicio de cosecha con -12.85 presentando una coloración verde-amarillo. A partir del cuarto día de almacenamiento, hubo una disminución de color verde con -8.70 y a los ocho días la tonalidad de los frutos era de color amarillo con un valor de -7.50 un color no comercial. Mientras que los frutos sanos sin HLB en el día de cosecha presentan un color verde intenso con -14.14 de índice de color, al transcurso de los cuatro con un valor de -9.96 con tonalidad verde característico olivo, a los ocho días con -10.79 sin presencia de tonalidad amarilla en los frutos por lo que la enfermedad del Huanglongbing afecta el índice de color. Para la variable de ácido ascórbico, la menor concentración se

observó en los frutos enfermos con HLB con 40.48 mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo al momento de cosecha. Los niveles de concentración disminuyeron a los cuatro días de almacenamiento con 31.17 mg, a los ocho días mostraron más baja concentración y pérdida de ácido ascórbico con 37.67 mg, indicando una pérdida continua del compuesto. En los frutos sanos sin HLB la pérdida de ácido ascórbico es menor en el transcurso de los días de almacenamiento, en el día de cosecha tienen 47.34 mg, a los cuatro días muestran 46.26 mg y 24 mg a los ocho días. Es más evidente la pérdida de este compuesto en frutos enfermos con HLB.

Por otra parte, Saucedo Veloz y Medina Urrieta, (2008) mencionan que las alteraciones fisiológicas, como el ataque de microorganismos causantes de putrefacción, ocasionan elevadas pérdidas de peso. Los frutos de limón provenientes de árboles con síntomas de HLB a temperatura de refrigeración, presentaron ablandamiento en el fruto, así como, deshidratación y se presentó más rápido el fenómeno de senescencia. Tal como describen Cohen *et al.* (1994) la pérdida de peso es un indicativo para los frutos que presenten daños por frío y disminuya su vida de anaquel. En el estudio, los afectados fueron los frutos con síntomas de HLB presentando manchas de color café, y algunos frutos estaban en estado de putrefacción, acortando así, la vida de anaquel de cada uno de los frutos.

En los frutos con síntomas de HLB se observó una pérdida de color verde durante los días de almacenamiento. De acuerdo con Alférez *et al.* (2006) la pérdida de color verde en cítricos es un cambio relacionado con la degradación de clorofila asociado al avance de senescencia, lo cual explica la disminución de la tonalidad verde, evaluada por el índice de color durante los periodos establecidos. Muñoz *et al.* (2011) reporta en frutos de limón mexicano sanos sin HLB durante un periodo de conservación a condiciones de refrigeración, tanto por 2 como 4 semanas; situación que significó una importante pérdida del color verde inicial.

El contenido de Vitamina C en ambos grupos de frutos evaluados presentó una tendencia de pérdida de este compuesto nutraceutico, conforme aumentaron los días de almacenamiento, esto coincide con lo reportado en cultivo de limón mexicano, en donde los ataques de algunos microorganismos causantes de la descomposición, hacen que haya una pérdida de valor nutrimental por disminución del contenido de ácido ascórbico y vida corta de anaquel (Franco *et al.*, 2012; Saucedo Veloz y Medina Urrieta, 2008). La disminución de este compuesto es el producto de la oxidación del ácido ascórbico por efecto del avance de la senescencia y el

estrés por las pérdidas de agua (Lee y Kader, 2000). Belitz, (1997) señala que la disminución del contenido de vitamina C se debe a la oxidación del ácido ascórbico para formar ácido monodehidroascórbico, este cambio provoca pérdidas en la actividad biológica de la vitamina C; los principales factores de este cambio son: la concentración de oxígeno en el ambiente, pH y la temperatura.

Conclusiones

El comportamiento postcosecha de los frutos de limón mexicano se ve significativamente afectado cuando provienen de árboles infectados con Huanglongbing. Esta enfermedad altera la calidad nutracéutica (contenido de ácido ascórbico), la calidad externa (índice de color, pérdida de peso) y la calidad interna (porcentaje de ácido cítrico) de los frutos, tanto durante el almacenamiento a temperatura ambiente como bajo refrigeración. Los hallazgos de este estudio podrían ser valiosos para la agroindustria, al identificar estrategias para aprovechar los frutos afectados por Huanglongbing.

Literatura citada

- Achor, D. S., Etxeberria, E., Wang, N., Folimonova, S. Y., Chung, K. R., and Albrigo, L. G. 2010. Citrus affected with huanglongbing disease. *Plant Pathology Journal*, 9(2): 56-64. <https://doi.org/10.3923/ppj.2010.56.64>
- Alferez, F., Pozo, L., and Burns, J. K. 2006. Physiological changes associated with senescence and abscission in mature citrus fruit induced by 5-chloro-3-methyl-4-nitro-1H-pyrazole and ethephon application. *Physiologia Plantarum*, 127(1): 66-73. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00642.x>

- Antunes, L. C. M., Ferreira, R. B., Buckner, M. M., and Finlay, B. B. 2010. Quorum sensing in bacterial virulence. *Microbiology*, 156(8): 2271-2282. <https://doi.org/10.1099/mic.0.038794-0>
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. Officials' methods of analysis. p: In: Helrich, K. (Ed). 15th Ed. Virginia. USA. II: 1298 p.
- Bassanezi, R. B., Montesino, L. H., and Stuchi, E. S. 2009. Effects of Huanglongbing on fruit quality of sweet orange cultivars in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 125(4): 565. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9506-3>
- Belasque Jr, J., Bassanezi, R. B., Yamamoto, P. T., Ayres, A. J., Tachibana, A., Violante, A. R., and Dragone, J. 2010. Lessons from Huanglongbing management in Sao Paulo State, Brazil. *Journal of Plant Pathology*, 92(2): 285-302.
- Belitz, W. G. 1997. Química de los alimentos. Edt. ACRIBIA, Zaragoza, España. 567 p.
- Beloti, V.H., G.R. Rugno, G. R., Felipe, M. R., Do Carmo-Uehara, A., Garbim, L. F., Godoy, W. A., and Yamamoto, P. T. 2013. Population dynamics of *Diaphorina Citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in orchards of Valence orange, Ponkan mandarin and Murcott Tangor trees. *Florida Entomologist*, 96(1): 173-179. <https://doi.org/10.1653/024.096.0123>
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1), 7-37.
- Cohen, E., Shapiro, B., Shalom, Y., and Klein, J. D. 1994. Water Loss: Nondestructive indicator of enhanced cell membrane permeability of chilling injured citrus fruit. *Journal of the American Society Horticultural Science*, 119(5): 983-986. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.5.983>

- Da Graca, J. V., and Korsten, L. 2004. Citrus huanglongbing: Review, present status and future strategies. In Diseases of fruits and vegetables I: 229-245). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-2606-4_4
- Floyd, J., and Krass, C. 2006. New Pest Response Guidelines: Huanglongbing Disease of Citrus. USDA/APHIS/PPQ-Emergency and Domestic Programs, Riverdale, Maryland [http://aphis.usda.gov/import_export/plants/ppq_manuales.shtml]
- Folimonova, S. Y., and Achor, D. S. 2010. Early Events of Citrus Greening (Huanglongbing) disease development at the ultrastructural level. *Phytopathology*, 100(9): 949-958. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-9-0949>
- Folimonova, S. Y., Robertson, C. J., Garnsey, S. M., Gowda, S., and Dawson, W. O. 2009. Examination of the responses of different genotypes of citrus to Huanglongbing (*Citrus greening*) under different conditions. *Phytopathology*, 99 (12): 1346-1354. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-12-1346>
- Gaytán, I. F., Veloz, C. S., Franci, S. H. C., León, M. T. C., and Espinoza, J. S. 2012. Efectividad del encerado y metil jasmonato en el control de daños por frío asociados al tratamiento de cuarentena por fríos en pomelos "Rio Red". *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 13(2), 146-152.
- Goldschmidt, E.E. 1997. Ripening of citrus and other non-climateric fruits: A role for ethylene. In VIII international Symposium on Plant Bioregulation in Fruit Production *Acta Horticulturae*, 463: 33-340. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.463.42>.
- Gottwald, T. R., Graca, J. V. D., and Bassanezi, R. B. 2007. Citrus Huanglongbing: The pathogen and its impact. *Plant Health Progress*, 8(1): 31. <https://doi.org/10.1094/PHP-2007-0906-01-RV>

- Halbert, S. E; Manjunath, K. L. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. Florida Entomologist, 87(3): 330-353. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2004\)087](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087)
- Hernández-Rivera, A., Arellano- Ostoia, G., Robles-González, M. M., Jaén-Contreras, D., Contreras-Oliva, A., Y Saucedo- Veloz, C. 2018. Calidad y vida postcosecha de frutos de limones mexicanos provenientes de árboles con síntomas de HLB y asintomáticos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(8): 1801-1807. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1724>
- Jiménez-Cuesta, M., Cuquerella, J., and Martínez-Jávega, J. M. 1981. Determination of color index for fruit degreening. Proc. Int. Soc. Citriculture, 2(3): 750-753.
- Lee, S. K. and Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology, 20(3),207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Magomere, T. O., Obukosia, S. D., Mutitu, E.; Ngichabe, C., Olubayo, F., and Shibairo, S. 2009. Molecular characterization of '*Candidatus Liberibacter*' species/strains causing huanglongbing disease of citrus in Kenya. Electronic Journal of Biotechnology, 12(2): 5-6. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-34582009000200005>
- Maya Ambía, C. J. 2017. Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. México y la cuenca del pacífico, 6(16): 107-142.
- McClean, R. E. 1970. Greening or blotchy-mottle disease of citrus. Phytophylactica, 2(3): 177–194.
- Muñoz-Lazcano A., C. Saucedo-Veloz, C. Garcia-Osorio y M. Robles-González. 2011. Evaluación de la calidad y tiempo de almacenamiento del fruto en tres variedades de limón mexicano. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 12(2):,156-163.

- Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., Orozco-Santos, M., Medina. Urrutia, V. M., López-Arroyo, J. I., and Flores-Virgen, R. 2013. Síntomas del huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de colima, México. Revista. Chapingo Serie Horticultura, 19(1): 15-31. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.005>
- Sagaram, U.S., De Angelis, K. M., Trivedi, P., Andersen, G. L., Lu, S. E., and Wang, N. 2009. Bacterial diversity analysis of Huanglongbing Pathogen-Infected Citrus, Using PhyloChip Arrays and 16S rRNA gene clone library sequencing. Applied and Environmental Microbiology, 75(6): 1566-1574. <https://doi.org/10.1128/AEM.02404-08>
- Salcedo, D. 2010. Evaluación del impacto económico de Huanglonbing (HLB) en la cadena citrícola mexicana (No. IICA H20-50). IICA, México DF (México).
- Saucedo-Veloz, C., and Medina-Urrutia, V. 2008. Problemas del manejo postcosecha y comercialización de limas ácidas en México. Tópicos en calidad y postcosecha de frutos. Editores: Nascimento. Campinas (Brasil). Cap, 7:93-109.
- SIAP (Sistema de información Agroalimentaria y Pesquera) 2016. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.mx/59>. [consultado en 9 de mayo de 2019].
- Teixeira, D. C., Danet, J. L., Eveillard, S., Martins, E. C., De Jesus, W. C. JR., Yamamoto, P. T., and Bové, J. M. 2005. Citrus huanglongbing in Sao Paulo State, Brazil: PCR detection of the *Candidatus Liberibacter* species associated with the disease. Molecular and cellular probes, 19(3): 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2004.11.002>
- Trujillo-Arriaga, J. 2010a. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Dirección General de Sanidad Vegetal. Oficio B00.01,01,01.03.-02788. Circular No. 056. 16 de abril de 2010.

Trujillo-Arriaga, J. 2010b. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Dirección General de Sanidad Vegetal. Oficio B00.01,01,01.03.-02788. Circular No. 056. 16 de abril de 2010.

ELONGACIÓN DEL HIPOCÓTILO-EPICÓTILO DE FRIJOL CON ESTRÉS HÍDRICO, CAMPECHE, MÉXICO

Antonio Villalobos González¹⁵⁴, Mónica Beatriz López Hernández^{155*},
Yaritza Yolanda Quintal Vargas¹⁵⁵ y Enrique Arcocha Gómez¹⁵⁵

Resumen

Las condiciones climáticas, tales como la temperatura del aire y suelo, el déficit hídrico y la profundidad de siembra en etapa temprana de frijol desempeña un papel importante en la elongación del hipocótilo-epicótilo y emergencia de plántulas. Por lo que, en el ciclo de verano-otoño del 2023 en el Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México, se estudió la respuesta del tamaño de semilla y el déficit hídrico en plántulas de frijol en condiciones de cielo abierto en camas de suelo Luvisoles férricos. Se analizó la elongación del hipocótilo e epicótilo y otros caracteres de plántulas provenientes de tres tamaños de semilla (chica, mediana y grande). El tamaño de semilla y la combinación entre el déficit hídrico, la alta temperatura del aire y suelo, y la profundidad de siembra afectaron ($p \leq 0.05$) el porcentaje y velocidad de emergencia, elongación y ancho de hipocótilo y elongación y ancho de epicótilo. A través de los genotipos Sangre Maya y Michigan provenientes de semilla grande presentaron mayor ($p \leq 0.05$) capacidad de emergencia, elongación de hipocótilo y epicótilo para ambas condiciones de humedad. El frijol Peruano obtuvo la menor respuesta al riego y al déficit hídrico.

Palabras clave: tamaño semilla, temperatura, suelo

Introducción

En el estado de Campeche, el frijol negro se siembra principalmente en condiciones de temporal y humedad residual con temperaturas del aire de alrededor de 34.2°C y precipitaciones de 122.6 mm (CONAGUA, 2023). Sin embargo, es común que la producción agrícola en Campeche este en constante riesgo por las altas temperaturas y la distribución de las precipitaciones, haciéndolas altamente vulnerables a causa de la variabilidad del clima y al cambio climático; limitando el porcentaje de germinación de la semilla y emergencia de las

¹⁵⁴ Campo Experimental Edzná, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campeche, México.

¹⁵⁵ Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico de Chiná, Tecnológico Nacional de México, Campeche, México. *Autor de correspondencia: monica.lh@china.tecnm.mx

plántulas lo que trae como consecuencia un menor establecimiento en campo (Medina *et al.*, 2016).

El proceso de germinación de la semilla de frijol depende de los factores abióticos, como la temperatura, el agua, el oxígeno y la luz, comenzando con diferentes actividades anabólicas y catabólicas, como la respiración, la síntesis de proteínas y el flujo de las reservas, posterior a la absorción de agua (Caroca *et al.*, 2016). Mientras que la emergencia depende de las características fisiológicas y bioquímicas de las semillas, de su comportamiento a las condiciones externas y de la eficiencia al implementar sus reservas durante la etapa de germinación (Morales *et al.*, 2017).

La profundidad de la siembra es importante para maximizar el potencial de emergencia de las plántulas y el crecimiento del cultivo. Una siembra demasiado superficial da como resultado una germinación deficiente debido a la humedad inadecuada en la capa superior del suelo. Por otro lado, la siembra profunda también puede reducir significativamente la emergencia y el crecimiento del cultivo (Baye *et al.*, 2020). Rosabal *et al.* (2014) afirma que el crecimiento del hipocótilo y el epicótilo tiene un papel importante en la emergencia de la planta, lo cual está influenciado por las condiciones ambientales. En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto del déficit hídrico, alta temperatura y profundidad de siembra en etapa temprana de variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* L. en Campeche.

Materiales y métodos

Descripción del sitio. El experimento se realizó a un costado del área de invernaderos del Tecnológico Nacional de México campus Chiná, localizado en Calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México (19° 46' 15" N, 91° 29' 41" W y 20 msnm) en el ciclo de verano-otoño 2023.

Material genético

Se utilizaron semillas de cuatro genotipos de frijol, que agrupo a tres variedades comerciales: frijol Peruano, Michigan y Bayo y una nativa denominada en la región como Sangre Maya,

proveniente del Laboratorio de Agricultura Agroecológica Orgánica Sustentable (LAAOS) del TECNM Campus Chiná.

Establecimiento y condiciones del experimento

Antes del establecimiento del experimento, se seleccionaron y se clasificaron 250 semillas de cada genotipo en tres tipos de tamaño de semilla. En este sentido, el tamaño de semilla pequeña tuvo una dimensión de 167-277 mg, la mediana 287-337 mg y la grande fue de 347-487 mg. El experimento se realizó a cielo abierto y se emplearon dos camas de cultivos con una medida de 1.05 m de largo x 0.70 m de ancho con dos factores hídricos (riego y sequía). Para ello, se utilizó suelos Luvisoles férricos y conocido localmente como K'an Kab lu'um. Se aplicó un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones. Cada unidad experimental consistió en 10 plántulas para cada tamaño de semilla y genotipo. Donde las plántulas tuvieron un arreglo entre hileras y semilla de 5 cm. Todas las semillas se sembraron a una profundidad de 15 cm.

Para establecer los factores de humedad, se aplicó un riego inicial de saturación en las dos camas de cultivo para mantenerlas a capacidad de campo (CC). Posteriormente la cama de cultivo con el factor de sequía se mantuvo sin riego durante todo el experimento (nueve días). Asimismo, este se cubrió con plástico transparente todas las noches para evitar las precipitaciones de la lluvia. Mientras que el factor riego se mantuvo con humedad constante.

Variables y análisis estadístico

Para la obtención de los datos de temperatura del suelo (TS, °C) a cuatro profundidades: 5, 10, 15 y 20 cm se empleó un termómetro de suelo KC-300B (Green Tech Instruments, Veracruz, México). La temperatura máxima y mínima del aire (TA, °C) se determinó con un termómetro digital marca TER-150 (Electrónica Steren, S.A. de C.V., Ciudad de México, México), durante un lapso de nueve días a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas, para ambos factores. A los nueve días después de la siembra (dds) se registró la altura de la planta (ALP, cm) y se contabilizó el total de plántulas emergidas calculándose el porcentaje de emergencia (PE) (Campo y Burgos, 2023) y la velocidad de emergencia (VE). Las unidades de medición fueron de plántulas/día (pd^{-1}) (Maguire, 1962).

Porcentaje de emergencia (PE) = $[(\text{Número de plántulas emergidas}) / 25] \times 100$ (1)

$$\text{Velocidad de emergencia (VE)} = \sum_{i=1}^n \frac{ei}{i} \quad (2)$$

Dónde: ei = Número de plántulas emergidas al i -ésimo día; i = Número de días después de la siembra.

Posterior a la colecta de las plántulas emergidas, en el laboratorio de Ecofisiología se determinó con una regla milimétrica y un vernier la longitud y ancho del hipocótilo (LONH, cm y ANH, mm) y longitud y ancho del epicótilo (LONE, cm y ANE, mm).

Se realizó un análisis de varianza e interacción, mediante el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.0 para Windows (SAS, 2002). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (Tukey) a un nivel de probabilidad de error de 0.05.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas: temperatura del aire y suelo durante el experimento

La temperatura del aire fue más elevada durante el mediodía (13:00 horas), desde 32 a 38°C con respecto a las temperaturas al amanecer (7:00 am) y tarde (7:00 pm). Al amanecer se presentaron temperaturas de entre 29 a 32°C. Mientras que, durante la tarde, se obtuvo una variación de 26 a 30°C (Figura 1).

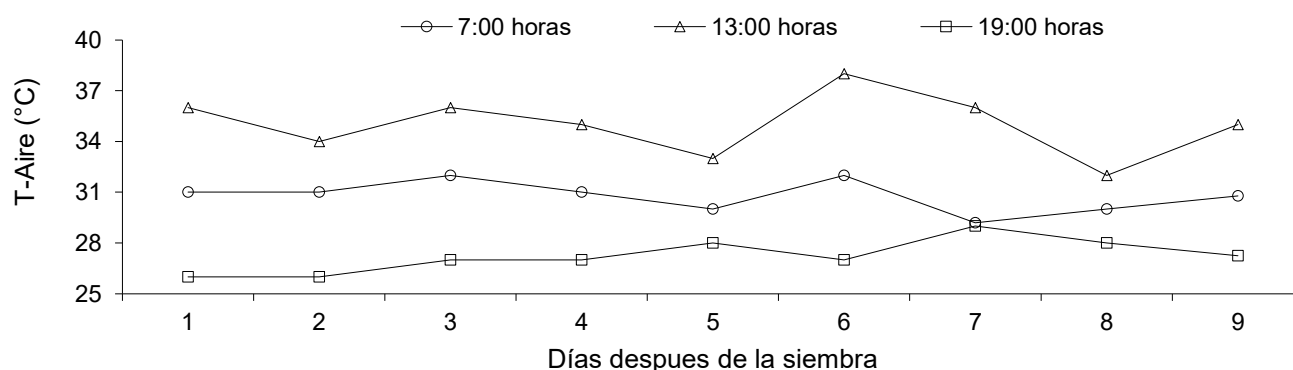


Figura 1. Temperaturas máximas del aire (T-Aire) en tres horas del día (7:00, 13:00 y 19:00 horas) después de la siembra, hasta la emergencia de las plántulas de frijol, durante el ciclo V-O 2023.

Las altas temperaturas presentadas en este estudio superan a las temperaturas óptimas (25°C) para el desarrollo y crecimiento del frijol (Barrios, *et al.*, 2011). Sin embargo, se ha observado que algunas variedades de frijol pueden ser viables en temperaturas máximas de 30°C (Maqueira *et al.*, 2021).

La temperatura del suelo fue variada con base a la profundidad del suelo, la condición de humedad y la hora del día (Figura 2).

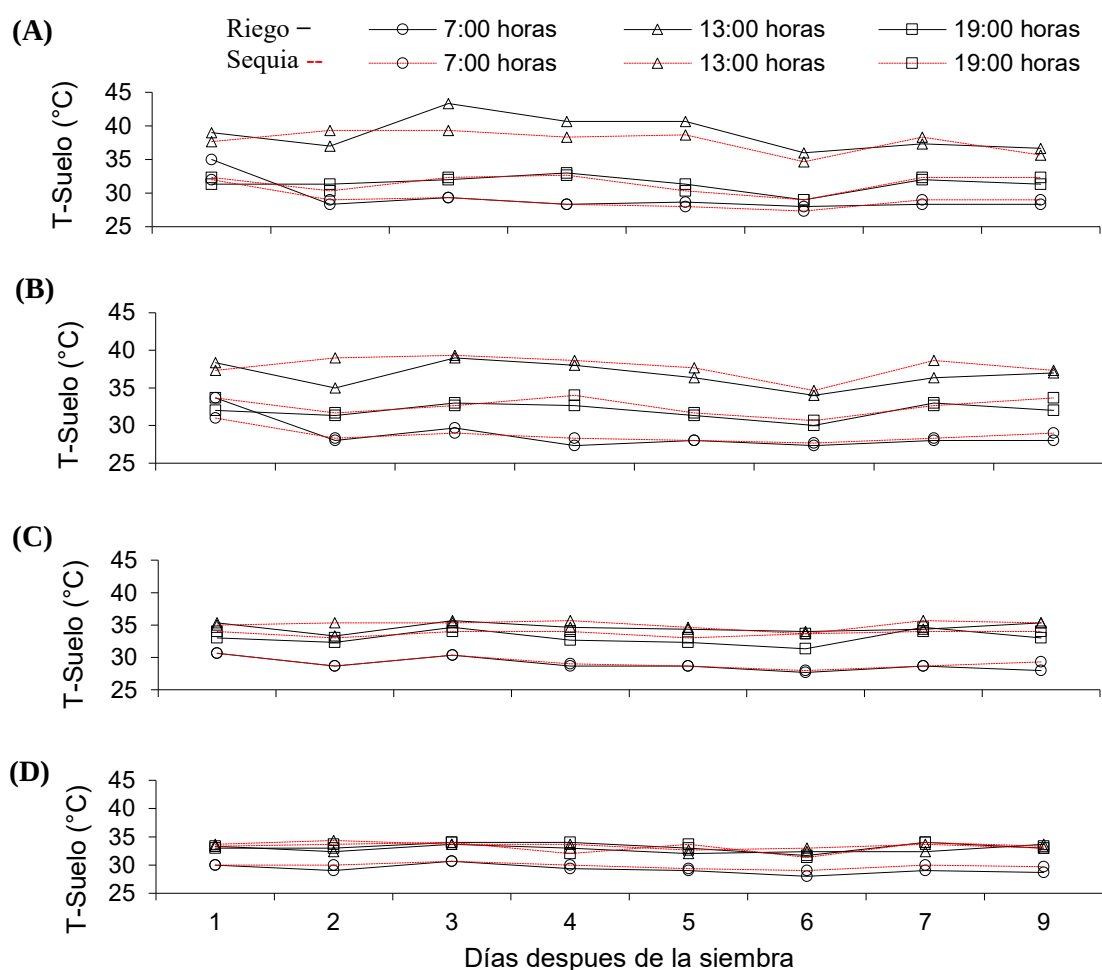


Figura 2. Temperatura del suelo (T-Suelo) con base a diferentes profundidades del suelo durante tres horas del día (7, 13 y 19 horas) en condiciones de riego y sequía. Temperatura del suelo a una profundidad de 5 cm (A), 10 cm (B), 15 cm (C) y 20 cm (D). Ciclo V-O 2023.

Es decir, las temperaturas fueron más altas durante el mediodía (13:00 horas) en ambas condiciones de humedad; sin embargo, tanto en riego y sequia estas fueron más bajas a una mayor profundidad (20 cm) con respecto a las de menor profundidad (5 cm). En este sentido, a una profundidad de cinco centímetros, tanto en riego y sequia se presentó una temperatura promedio de entre 29 a 39°C (Figura 2A). Mientras que a 10 cm de profundidad se obtuvo una temperatura de 29 a 37°C para ambas condiciones (Figura 2B). Con relación a una profundidad de 15 cm para ambas condiciones de humedad, la temperatura osciló entre 29 a 35°C (Figura 2C). Asimismo, a la profundidad de 20 cm, la temperatura promedio fue de entre 29 a 33°C (Figura 2D).

La temperatura promedio registrada para ambas condiciones de humedad y a una profundidad de 5 y 10 cm, fueron superiores a las temperaturas reportadas por Blanco y Montes, (1993) para la germinación de semillas de frijol común (29-34°C); sin embargo, se asimilan a las obtenidas a 15 y 20 cm de profundidad. Otros estudios indican que un rango de temperatura de entre 30-35°C favorece la germinación y emergencia de las semillas de frijol caupi en condiciones de humedad (Barros *et al.*, 2020). Así mismo, Neto *et al.* (2006) explica que los rangos óptimos de temperaturas para la germinación y emergencia del frijol depende del genotipo, además de encontrar rangos de entre 27 y 35°C para los cultivares 'IAC Carioca-Akytã' y de 22 a 35°C para 'Rudá' respectivamente.

Análisis de varianza

El estrés hídrico y el tamaño de semilla afectó significativamente la expresión los caracteres medidos de la semilla de frijol (Cuadro 1). Asimismo, se observó alta interacción por tamaño de semilla (TAM), humedad (HUM) y genotipo (GEN) para todas las características cuantificadas, con excepción de velocidad de emergencia (VE) para la interacción doble: TAM*HUM y HUM*GEN, y triple: TAM*HUM*GEN para ancho de epicótilo (ANE). Es decir, existe una alta variabilidad entre los genotipos por tamaño de semilla cuando se someten a un estrés hídrico y a una profundidad de siembra de 15 cm.

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de cuadrados medios de la longitud de epicótilo y otras variables de frijol con base al tamaño de semilla en condición de riego y sequia durante el ciclo V-O 2023. Campeche, Campeche, México.

FV	GL	PE	VE	LONE	LONH	ANE	ANH
REP	3	1.04 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.38 [*]	2.11 ^{**}	0.19 ^{ns}	0.32 [*]
TAM	2	291.1 ^{**}	0.18 [*]	4.87 ^{**}	54.45 ^{**}	1.17 ^{**}	2.04 ^{**}
HUM	1	42.1 ^{**}	0.09 [*]	0.20 ^{ns}	2.17 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.11 ^{ns}
GEN	3	994.9 ^{**}	0.32 ^{**}	3.35 ^{**}	106.86 ^{**}	1.38 ^{**}	2.32 ^{**}
TAM*HUM	2	117.1 ^{**}	0.01 ^{ns}	1.31 ^{**}	49.41 ^{**}	0.70 ^{**}	0.28 [*]
TAM*GEN	6	164.7 ^{**}	0.05 [*]	1.02 ^{**}	20.63 ^{**}	0.30 ^{**}	0.39 ^{**}
HUM*GEN	3	124.1 ^{**}	0.04 ^{ns}	2.24 ^{**}	27.13 ^{**}	0.68 ^{**}	0.82 ^{**}
TAM*HUM*GEN	6	157.4 ^{**}	0.10 [*]	0.66 [*]	16.34 ^{**}	0.17 ^{ns}	0.15 [*]
Error	69	0.19	0.02	0.08	1.02	0.03	0.05
Total	95						
C.V. %		2.44	37.08	30.12	21.10	29.70	32.53

FV=factor de variación; REP=repeticón; HUM=humedad; TAM=tamaño de semilla; GEN=genotipo; PE=porcentaje de emergencia (%); VE= velocidad de emergencia (pd⁻¹); ANE=ancho de epicótilo (mm); LONE=longitud de epicótilo (cm); ANH= ancho de hipocótilo (mm); LONH=longitud de hipocótilo (cm).
*=P ≤ 0.05; **=P ≤ 0.01; ^{ns}= no significativo.

Humedad del suelo

Al evaluar el factor humedad del suelo (riego y sequia) con respecto a la temperatura, se encontrar diferencias ($p \leq 0.05$) para todas las variables estudiadas (Figura 3). Esto fue más evidente en la condición de riego. Es decir, que una humedad deficiente en el suelo afecta el crecimiento del frijol independientemente de la variedad (Pedroza *et al.*, 2016). Se ha observado que, cuando existe condiciones hídricas ineficientes en ambientes con estrés térmico, el PE (Figura 3A) y la VE (Figura 3B) pueden verse afectados parcialmente o en su totalidad (Ojeda *et al.*, 2015). Reyes *et al.* (2014) observaron que la emergencia de *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L. en condiciones de riego y temperaturas que oscilaron arriba de 35°C, reportaron un porcentaje del 95% presentado buena viabilidad. Otros estudios indican que el crecimiento del hipocótilo y el epicótilo tiene un papel importante en la

emergencia de la planta, lo cual está influenciado por las condiciones ambientales (Rosabal *et al.*, 2014). Mendoza *et al.* (2020) en variedades de frijol cubano bajo estrés hídrico presento efectos negativos afectando la germinación de las semillas, significando una disminución del porcentaje de germinación, el escaso desarrollo de raíces laterales y reducción de la longitud de la raíz principal, del hipocótilo y el epicótilo respectivamente, perjudicando la aparición de las hojas verdaderas. De igual forma, Domínguez *et al.* (2014) observaron un 60% de inhibición en la germinación de variedades de *Phaseolus vulgaris* y la incidencia negativa del epicótilo y en consecuencia la parte aérea en etapas tempranas de frijol.

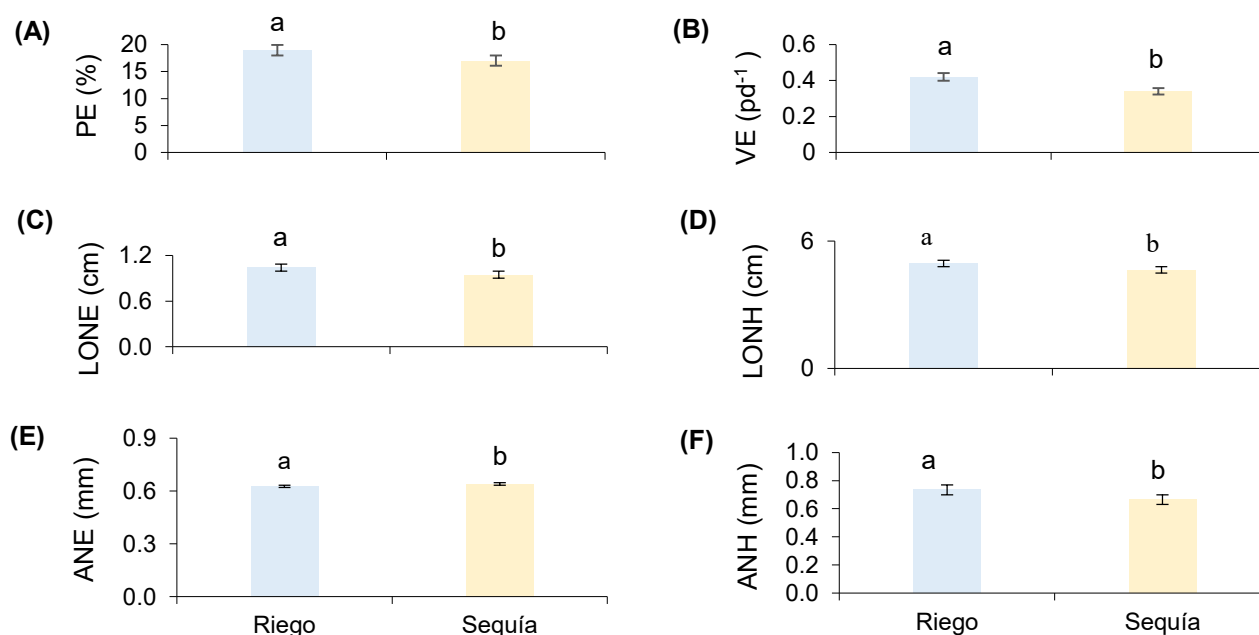


Figura 3. Comparación de medias para frijol con base a riego y sequía. PE=porcentaje de emergencia (%); VE=velocidad de emergencia (pd⁻¹); ANE=ancho epicótilo (mm); LONE=longitud epicótilo (cm); ANH= ancho hipocótilo (mm); LONH=longitud de hipocótilo (cm). Ciclo V-O 2023.

Tamaño de semilla

El tamaño de semilla afecto la expresión de los caracteres medidos. Donde, con tamaño de semilla grande se obtuvo la mejor expresión de la emergencia (Figura 4A), LONE (Figura 4C), ANE (Figura 4E), LONH (Figura 4D) y ANH (Figura 4F), con excepción de VE (Figura 4B). En este contexto, se ha observado que el tamaño de semilla es un factor que influye en la

germinación y emergencia del frijol común, siendo importante para el establecimiento temprano en diferentes condiciones ambientales (Pinedo *et al.*, 2022), ya que representa una transición rápida a la fase de crecimiento en el ciclo de vida de una planta (Vidak *et al.*, 2022).

Souza y Fagundes, (2014) indican que las semillas grandes necesitan más tiempo para absorber el agua requerido para germinar, en comparación con las semillas pequeñas. Mientras que Steiner *et al.* (2019) sugiere que las semillas grandes tienen una mejor calidad fisiológica y son más vigorosas en condición de humedad; sin embargo, las semillas pequeñas son más eficientes en déficit hídrico. En cuanto al ANE no se encontró diferencia entre el tamaño de semilla chica y grande (Figura 4E).

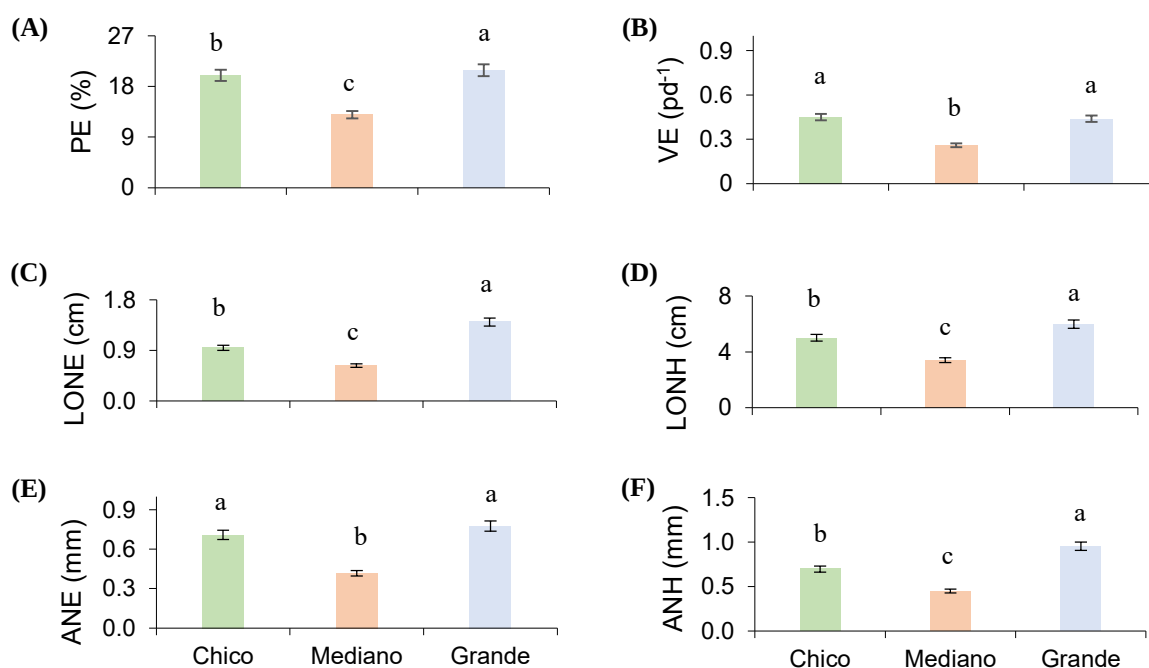


Figura 4. Comparación de medias con base al tamaño de semilla en frijol. PE= porcentaje de emergencia (A); VE= velocidad de emergencia (B); LONE= longitud de epicótilo (cm) (C); LONH= longitud de hipocótilo (cm) (D); ANE= ancho de epicótilo (mm) (E); ANH= ancho de hipocótilo (mm) (F).

Genotipo

La tolerancia de un genotipo al déficit hídrico durante la fase de germinación es una medida de su capacidad para soportar la disminución en el potencial hídrico del medio circundante,

que provoca una menor disponibilidad de agua para la imbibición de la semilla (Maldonado *et al.*, 2022). Al respecto, en el presente estudio se observó una variación ($p \leq 0.05$) de la respuesta de los genotipos al estrés por humedad y altas temperaturas (Figura 5). Los genotipos que sobresalieron fueron Sangre Maya y Michigan con base a PE (Figura 5A), VE (Figura 5B), LONH (Figura 5D) y ANH (Figura 5F), con excepción de LONE (Figura 5C) y ANE (Figura 5E), respectivamente. Otros estudios han observado que cada genotipo tiene sus propios mecanismos que le confieren adaptabilidad a las condiciones de déficit hídrico y las altas temperaturas (Hucl, 1993). Tosquy *et al.* (2017) indica que el genotipo influye bajo ciertas condiciones ambientales, tales como el estrés hídrico y altas temperatura (Tosquy *et al.*, 2017). Asimismo, Domínguez *et al.* (2014) al evaluar ocho variedades de frijol cubano, el frijol Cuba Cueto 25-9 negro y la Alubia blanca, presentaron mayores porcentajes de inhibición en la germinación bajo estrés hídrico.

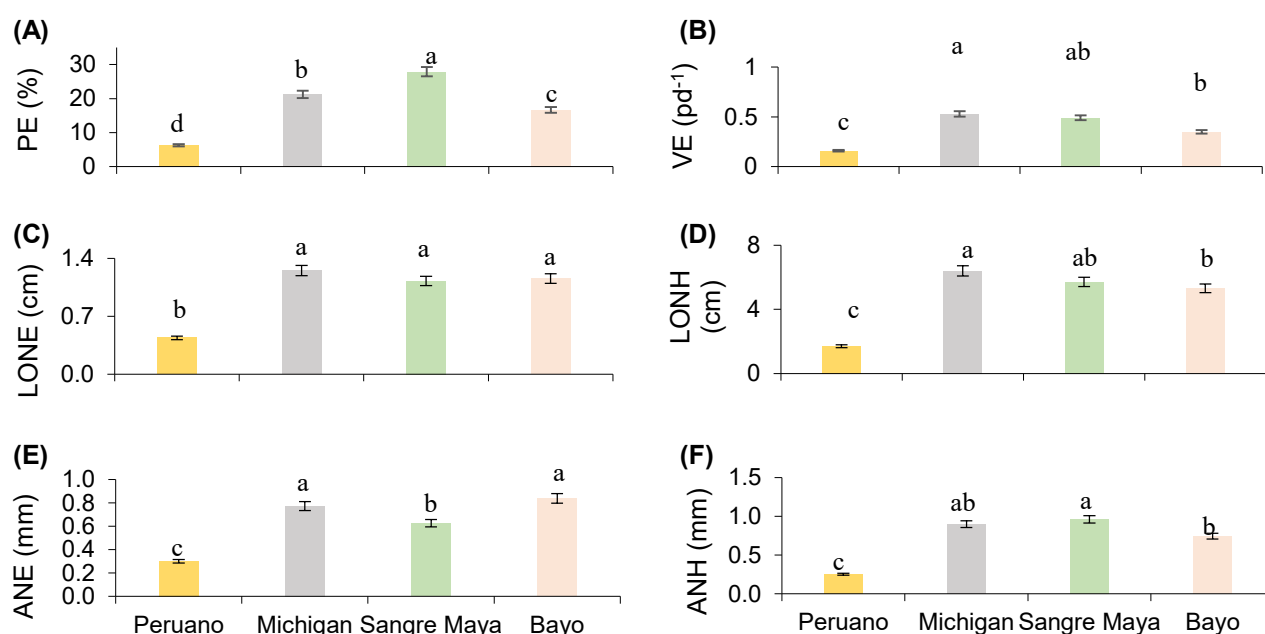


Figura 5. Comparación de medias con base a genotipos de frijol. PE= porcentaje de emergencia (A); VE= velocidad de emergencia (B); LONE=longitud de epicótilo (cm) (C); LONH=longitud de hipocótilo (cm) (D); ANE=ancho de epicótilo (mm) (E); ANH= ancho de hipocótilo (mm) (F).

Interacción

El factor de humedad afectó de manera significativa la emergencia y las estructuras de las plántulas del frijol, con base al estrés hídrico, a la temperatura, al tamaño de semilla y al genotipo (Figura 6). En promedio, los genotipos en condiciones de riego presentaron mayores valores de VE, PE, LONE, LONH, ANE y ANH. Sin embargo, se observaron genotipos a través de semillas de tamaño grande, como Sangre Maya que presentaron un mejor comportamiento en sequía y altas temperaturas (Figura 6).

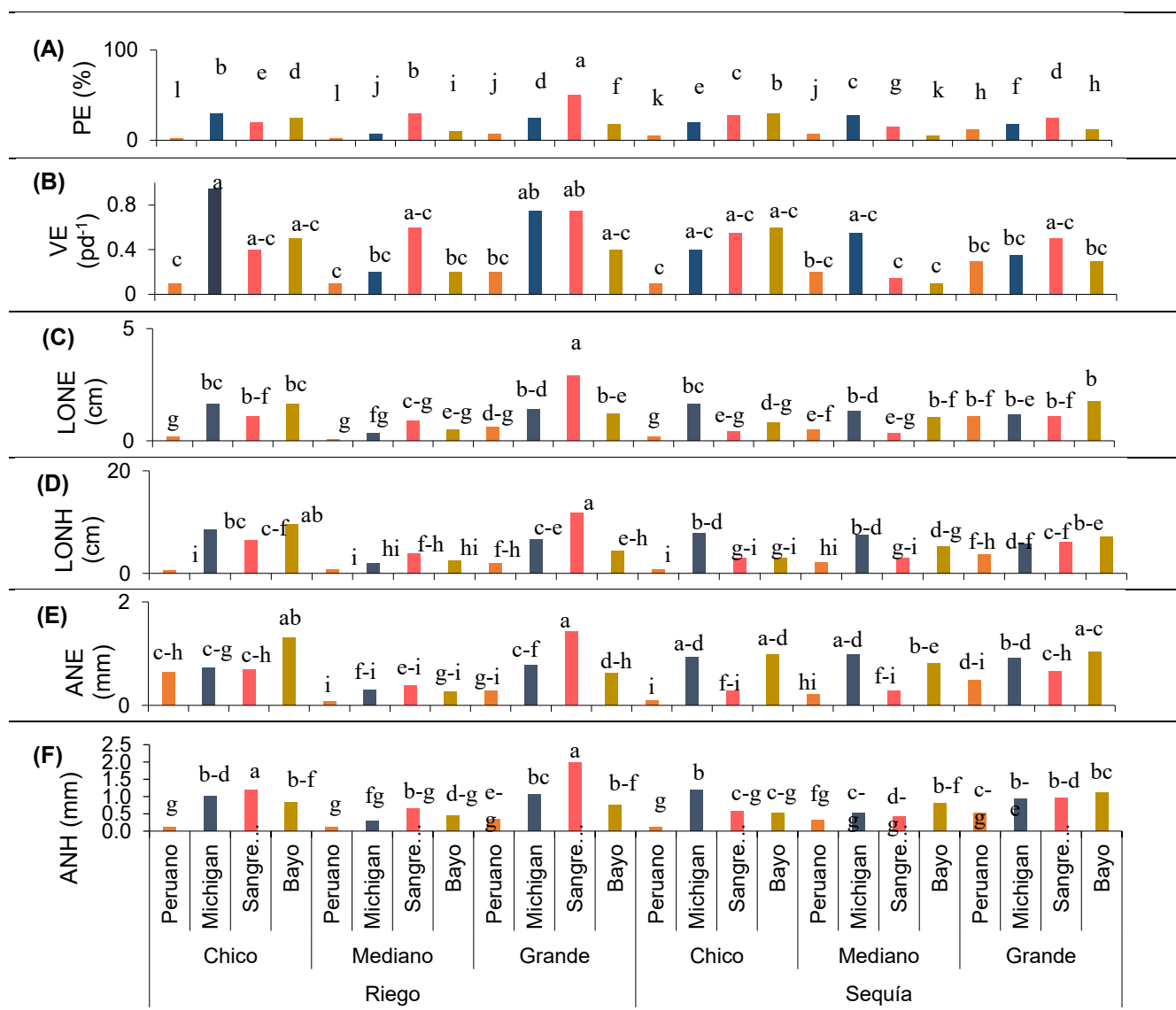


Figura 6. Comparación de medias con base a características de frijol. ANE=ancho de epicótilo (mm); LONE=longitud de epicótilo (cm); ANH= ancho de hipocótilo (mm); LONH= longitud de hipocótilo (cm).

Algunos de los factores que están involucrados en la variabilidad de la VE con base al tamaños de semilla y la condición de humedad es la cantidad y tiempo para absorber agua e inicie su proceso de imbibición y posteriormente inicie los procesos de germinación y emergencia (Souza y Fagundes, 2014); dado que semilla más pequeña presentaron mayor PE (Figura 6A), VE (Figura 6B), LONE (Figura 6C), LONH (Figura 6D), ANE (Figura 6E) y ANH (Figura 6F) en comparación con genotipos de semilla mediana y grande, respectivamente. Steiner *et al.* (2019) indica que tanto entre genotipos de semilla chica, mediana y grande el efecto del déficit hídrico varia, por lo que existe algunos genotipos de frijol que son más tolerantes al estrés hídrico y altas temperaturas; como lo ocurrido entre el frijol Peruano, Michigan, Sangre Maya y Bayo (Figura).

Conclusiones

El tamaño de semilla y la combinación entre la alta temperatura del aire y suelo, el déficit hídrico y profundidad de siembra afectaron el porcentaje y velocidad de emergencia, elongación y ancho de hipocótilo y elongación y ancho de epicótilo. A través de semilla grande se obtuvo mayor capacidad de emergencia, elongación de hipocótilo y epicótilo para ambas condiciones de humedad. El frijol Sangre Maya y Michigan proveniente de semilla grande presentaron la mejor respuesta al déficit hídrico y riego.

Literatura citada

- Baye, E., Z. Ebrahim, N. Kasahun, N. Wasyihun, K. Siyum, D. Yachiso, Z. Tiruneh and B. Fekadu. 2020. Effects of Planting Depth on Germination and Growth of Faba Bean (*Vicia faba* L.) at Fitcha, Oromia National Regional State, Central Ethiopia. American Journal of Agriculture and Forestry 8(3):58-63.
- Barrios, G. E. J., C. López C. y J. Kohashi S. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". Agronomía Costarricense 35:131-145.

- Barros, J. R. A., F. Angelotti, D. O. Santos J., M. E. Silva R., B. Dantas and F. D. Melo N. 2020. Optimal temperature for germination and seedling development in cowpea seeds. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 14(2):231-239.
- Blanco, J. W. and C. Montes R. 1993. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. *Journal of experimental botany* 44(269):1795-1800.
- Campo, A. R. O. and P. R. Burgos A. 2023. Efectos del tratamiento de semillas de frijol caupí *Vigna unguiculata* L. sobre el manejo de la marchitez vascular causada por *Sclerotium rolfsii*. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 25(3):190-198.
- Caroca, R., N. Zapata and M. Vargas. 2016. Temperature effect on the germination of four peanut genotypeS (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural and animal sciences* 32(2):94-101.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2023. Servicio meteorológico nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.
- Domínguez, A. S., P. Hernández Y., S. Del M., S. Del C. D. y R. Suárez R. 2014. Efecto del estrés hídrico sobre la germinación de genotipos de frijol común en condiciones experimentales de sequía. *Avanzada Científica* 17(1):53-67.
- Hucl, P. 1993. Effects of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 73(3):697-702.
- Maguire, D. J. 1962. Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2:176–177.

- Maldonado, C., E. Pujado y A. Squeo F. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Revista chilena de historia natural* 75(4):651-660.
- Maqueira, L. L. A., O. Rojón H., J. Solano F y I. Milagros S. 2021. Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales* 42(2):1-12.
- Medina, G. G., J. A. Ruiz C., V. M. Rodríguez M., J. Soria R., G. Díaz P. y P. Zarazúa V. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7(13):2465-2474.
- Mendoza, R. M. F., N. Veitía, A. Martirena R., E. Rojas L., D. Torres, S. Hernández y L. Rivero. 2020. Respuesta diferencial de tres cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. al estrés hídrico *in vitro* inducido por PEG-6000. *Biotecnología Vegetal* 20(4):351-359.
- Morales, S. M. E., C. B. Peña V., A. García E., G. Aguilar B. y J. Kohashi S. 2017. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia* 51(1):43-62.
- Neto, N. B. M., R. Prioli M., B. Gatti A. y J. M. Cardoso V. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá* 28(2):155-164.
- Ojeda, S. C. M., B. Murillo A., A. Nieto G., E. Troyo D., F. H. Ruíz E. y J. L. García H. 2015. Emergencia y crecimiento de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 2(5):151-161.
- Pedroza, S. A., R. Trejo C., I. Sánchez C., J. A. Samaniego G. y L. G. Yáñez C. 2016. Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México. *Agronomía Mesoamericana* 27(1):167-176.

- Pinedo, T. R., C. Figueroa S. and L. Alvarado H. 2022. Water Stress, Heat, and Salinity in the Physiological Quality of the Seeds. In Seed Biology Updates. IntechOpen 1:1-18.
- Reyes, M. J., D. Martínez M., R. Rueda L. y T. Rodríguez R. 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias 1(2):191-203.
- Rosabal, A. L., L. Martínez G., Y. Reyes G., J. Dell'Amico R. y M. Núñez V. 2014. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Cultivos Tropicales 35(3):24-35.
- SAS, 2002. The SAS System Release for Windows 9.0; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2002.
- Souza, M. L. and M. Fagundes. 2014. Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). American Journal of Plant Sciences 5(7):2566-2573.
- Steiner, F., M. Zuffo A., A. Busch, T. D. Oliveira S. y T. Zoz. 2019. Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanut under salinity and water stress? Pesquisa Agropecuária Tropical 49 (1):1-9.
- Tosquy, V. O. H., E. López S, R. Zetina L., B. Villar S. y J. R. Rodríguez R. 2017. Producción de genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual y sequía terminal. Terra Latinoamericana 35(1):29-39.
- Vidak, M., B. Lazarević, T. Javornik, Z. Šatović and K. Carović S. 2022. Seed water absorption, germination, emergence and seedling phenotypic characterization of the common bean landraces differing in seed size and color. Seeds 1(4):324-339.

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN PLÁNTULAS DE MAÍZ NATIVO EN CAMPECHE, MÉXICO

Mónica Beatriz López Hernández¹⁵⁶, Antonio Villalobos González^{157*}, Daniel Haas Bacab¹⁵⁶
y Enrique Arcocha Gómez¹⁵⁶

Resumen

En etapas tempranas de maíz, el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) actúa como un regulador en diversos procesos fisiológicos en la emergencia de plántulas de maíz, tales como la elongación de mesocótilo-coleóptilo. Por lo que, en el ciclo de P-V 2023 en un invernadero del Instituto Tecnológico de Chiná, se estudió la respuesta del H_2O_2 a través de las dosis: 150, 100, 50 y 0.0 mM en la semilla de maíz con base al estrés hídrico y riego en condiciones de invernadero en camas de arena, analizando la elongación del mesocótilo, coleóptilo y otros caracteres de plántulas provenientes de siete genotipos de maíz: una variedad (Chichen Itzá), cinco nativos (San Pableño, Xnuc naal, Dzib bacal, Pix cristo, Chaac naal) y un híbrido comercial como testigo (Zarco). El efecto del peróxido de hidrogeno en la semilla de maíz criollo e híbrido, mostró efectos positivos para la velocidad y porcentaje de emergencia, longitud de mesocótilo y coleóptilo para riego y sequía. La expresión del efecto de peróxido de hidrogeno fue mejor en la semilla de los maíces criollos Xnuc naal y San Pableño con respecto a la semilla híbrida y variedad en riego y sequía. A menor dosis de peróxido de hidrogeno, la velocidad y porcentaje de emergencia, longitud de mesocótilo y coleóptilo fue menor en todos los genotipos.

Palabras Clave: Genotipo, Plántula, Estrés hídrico

Introducción

El Peróxido de hidrogeno (H_2O_2) ha sido objeto de un creciente interés en la investigación agronómica debido a sus efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas en condiciones de estrés hídrico (Černý *et al.*, 2018). El H_2O_2 es una molécula de oxígeno altamente reactiva que actúa como un regulador en el crecimiento de las plantas (Mittler, 2002). Las plantas por lo regular generan especies reactivas de oxígeno (ROS) como moléculas señalizadoras para

¹⁵⁶ Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico de Chiná, Tecnológico Nacional de México, Campeche, México.

¹⁵⁷ Campo Experimental Edzná, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campeche, México.

*Autor de correspondencia: villalobos.antonio@inifap.gob.mx

regular procesos como las respuestas al estrés biótico y abiótico (Choudhury *et al.*, 2017). Asimismo, a pesar de actuar como molécula de señalización, la acumulación en exceso de H_2O_2 puede ser perjudicial para las plantas al causar daño oxidativo, por lo que, se resalta la importancia de manejar una dosis adecuada de H_2O_2 (Banerjee y Roychoudhury, 2017).

El exceso de agua o el estrés hídrico, afecta la germinación, el desarrollo y el rendimiento de maíz (Villalobos *et al.*, 2016). Estudios han sugerido que el uso del H_2O_2 como tratamiento en las semillas podría mitigar los efectos adversos del estrés hídrico al modular diversos procesos fisiológicos y bioquímicos (Centinel *et al.*, 2021). Huang *et al.* (2018) mencionan que el H_2O_2 mejora el vigor de las semillas al aumentar las cantidades de espermidina una molécula relacionada con la germinación de las semillas. Además, se ha observado que el H_2O_2 puede inducir repuestas antioxidantes y regula la expresión de genes relacionados con el estrés en plantas expuestas a condiciones de sequía (Khedia *et al.*, 2019).

En particular, el mesocótilo y el coleóptilo son estructuras importantes durante la emergencia de plántulas de maíz (Villalobos *et al.*, 2023); y en donde regularmente se presentan condiciones de estrés hídrico que repercuten en la elongación de ambas estructuras, así como en el desarrollo y crecimiento en planta adulta (Oyetunde *et al.*, 2021). El mesocótilo es la región que conecta la plúmula (parte superior de la plántula) con la radícula (parte inferior) (Lyu *et al.*, 2020); mientras que, el coleóptilo es la estructura protectora que envuelve la plúmula que cubre la semilla durante la germinación (Niu *et al.*, 2019). Ambas estructuras desempeñan funciones críticas en el proceso de emergencia en condiciones de siembra profunda (Zhao *et al.*, 2021). En este contexto, el estudio de estas estructuras podría tener implicaciones importantes para la aclimatación de las plántulas de maíz en condiciones de estrés hídrico y siembra profunda de las plántulas de maíz (Villalobos *et al.*, 2024). Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de cuatro dosis de H_2O_2 en siete genotipos de maíz sobre los caracteres de plántula en condiciones de riego y sequía.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se estableció una serie de camas con suelo tipo luvisol y conocidos en la región como kan-kab, en condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México, durante el ciclo de primavera-verano (P-V) 2023.

Material genético

Se utilizaron semillas de siete genotipos de maíz: una variedad (Chichen Itzá); cinco nativos (San Pablito, Xnuc naal, Dzib bacal, Pix cristo, Chaac naal) que fue colectado por el Campo Experimental Edzná del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias y por el Instituto Tecnológico de Chiná; y un híbrido comercial como testigo (Zarco).

Establecimiento y condiciones del experimento

Las semillas de todos los genotipos se sumergieron por un lapso de ocho horas en cuatro dosis de H_2O_2 : 150, 100, 50 y 0 mM). Posteriormente se realizó la siembra en las camas y las semillas se distribuyeron a una distancia de cinco centímetros entre planta y 10 cm entre hileras de semillas. La siembra se efectuó en junio del 2023 en el ciclo de P-V.

En cada cama, la semilla se depositó a una profundidad de 15 cm, que seguidamente se rellenaron con suelo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y la unidad experimental consistió en 20 semillas con dos repeticiones. Las medidas de la cama fueron de 1.5 m x 0.70 m de ancho y altura de 0.20 m. El manejo agronómico de los experimentos fue homogéneo, sin control de la temperatura; después de la siembra se realizó un riego a saturación para todos los tratamientos. Para el tratamiento de riego se realizaron riegos constantes con el fin de mantener húmedo el sustrato y para el tratamiento de sequía únicamente se aplicó el riego a saturación. El levantamiento de las plántulas para el registro de las variables se realizó a los siete días después de la siembra.

Variables y análisis estadístico

Se determinó el porcentaje de emergencia (PE) al contabilizar el número de plántulas emergidas a los siete días después de la siembra con base al número de semillas sembradas

$$\text{Porcentaje de emergencia (PE)} = [(\text{Número de plántulas emergidas}) / 25] \times 100 \quad (1)$$

genotipo en LOM, implica que, si bien el estrés hídrico los reduce respecto a la condición de riego (Figura 2A), el efecto fue proporcional y paralelo para todos los genotipos.

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de cuadrados medios de longitud de mesocótilo y otras características de maíz nativo con diferentes dosis de H₂O₂ bajo riego y sequia durante el ciclo P-V 2023. Campeche, Campeche, México.

FV	GL	VE	PE	LOM	LOC
Repetición	1	0.04 **	17.60 **	0.076 ns	0.26 ns
Humedad	1	1.45 **	5516.03 **	17.41 **	4.20 **
Genotipo	6	1.10**	3585.77**	18.59 **	11.59**
Dosis	3	3.00 **	7849.66**	10.40 **	0.78 *
Humedad*Genotipo	6	0.08**	235.90**	0.49 ns	0.70 *
Dosis*Humedad	3	0.03**	313.41**	1.54 **	0.64 *
Dosis*Genotipo	18	0.28**	662.98**	4.59 **	2.02 **
Dosis*Humedad*Genotipo	18	0.04**	91.76**	0.59 *	0.50 *
Error	55	0.01	0.69	0.31	0.22
Total	111				
C.V. %		0.07	1.32	8.89	12.01

*=P ≤ 0.05; **=P ≤ 0.01; ns= no significativo; FV= factor de variación; GL= grados de libertad; VE= velocidad de emergencia; PE= porcentaje de emergencia; LOM= longitud de mesocótilo; LOC= longitud de coleóptilo.

Humedad del suelo

El estrés hídrico afectó la LOM en un 12%, con excepción de la LOC, VE y PE (Figura 1). Carrera-Castaño *et al.* (2020) indican que, la habilidad de las semillas para brotar en suelos con poca humedad les otorga beneficios ecológicos, ya que, las plántulas pueden establecerse en situaciones donde otras especies, que son sensibles a la falta de agua y a la siembra profunda, no pueden hacerlo (Villalobos *et al.*, 2023).

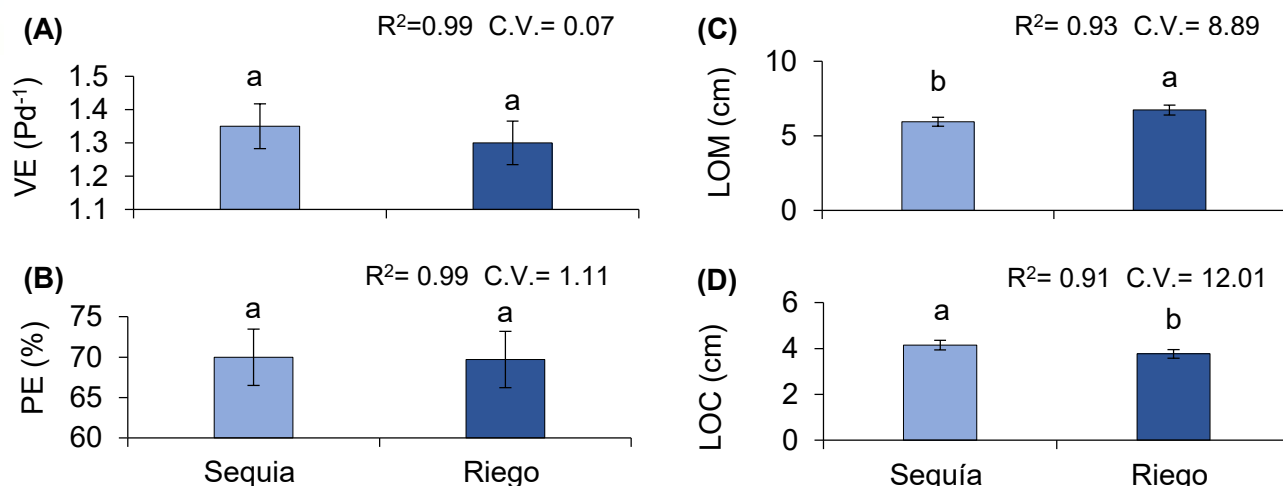
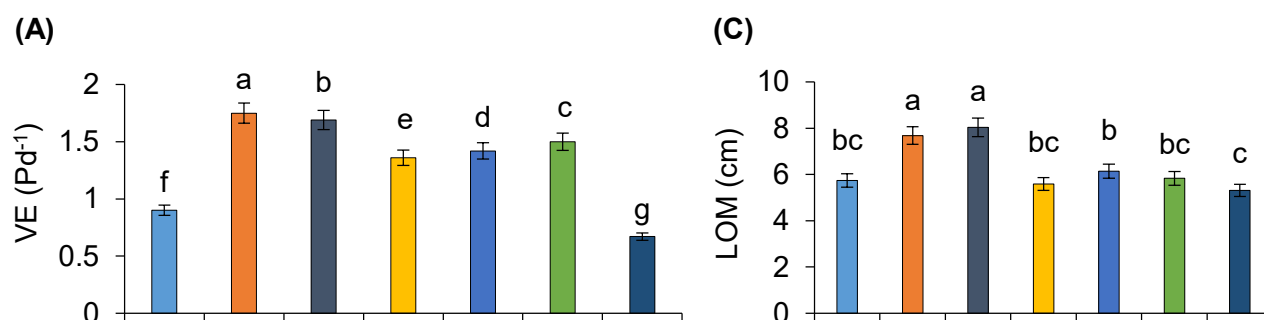


Figura 1. Comparación de medias con base a la humedad del suelo en plántulas de maíz. VE=velocidad de emergencia por día (plántulas emergidas por día) (A); PE=porcentaje de emergencia (B). LOM y LOC=longitud de mesocótilo (C) y coleóptilo (D). Ciclo primavera-verano 2023.

Genotipo

Los genotipos San Pablito y Xnuc naal, fueron las que mayor ($P \leq 0.05$) VE, PE, LOM y LOC presentaron con respecto al testigo comercial Zarco y la variedad Chichen Itza (Figura 2). Asimismo, entre los maíces nativos, San Pablito presentó una diferencia del orden de 22% sobre Dzib bacal con base a la VE y PE. Igualmente Dzib bacal obtuvo la menor elongación de mesocótilo con respecto los demás maíces nativos; no obstante, estas diferencias fueron superiores sobre Xnuc naal del orden del 30%. Con respecto a la LOC, Pix cristo, presentó la menor LOC con una diferencia inferior de 18% en comparación con Xnuc naal.



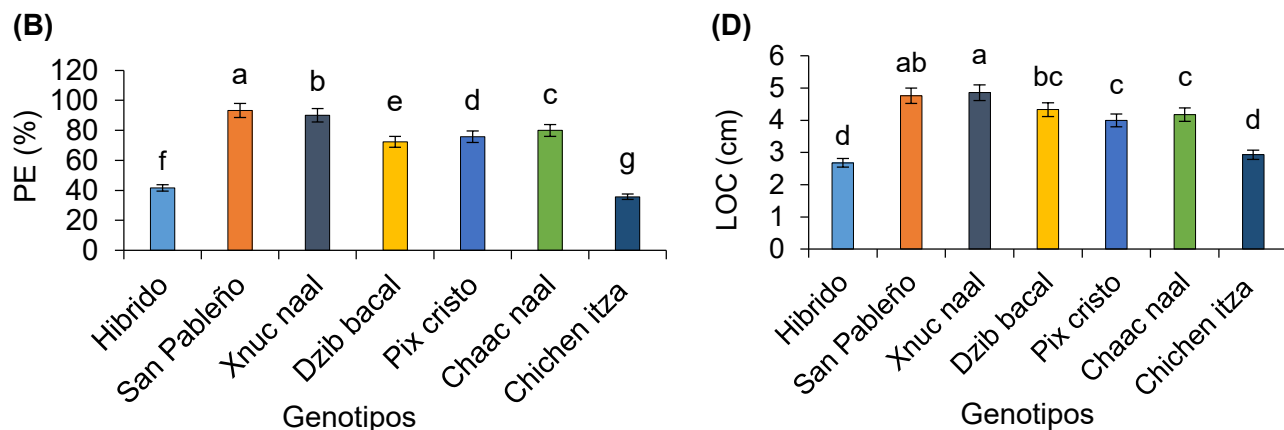


Figura 2. Comparación de medias con base al genotipo de maíz. VE=velocidad de emergencia por día (plántulas emergidas por día) (A); PE=porcentaje de emergencia (B). LOM y LOM=longitud de mesocótilo (C) y coleóptilo (D). Ciclo primavera-verano 2023.

Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

La dosis de H_2O_2 afectó ($P \leq 0.05$) la VE, PE, LOM y LOC (Figura 3).

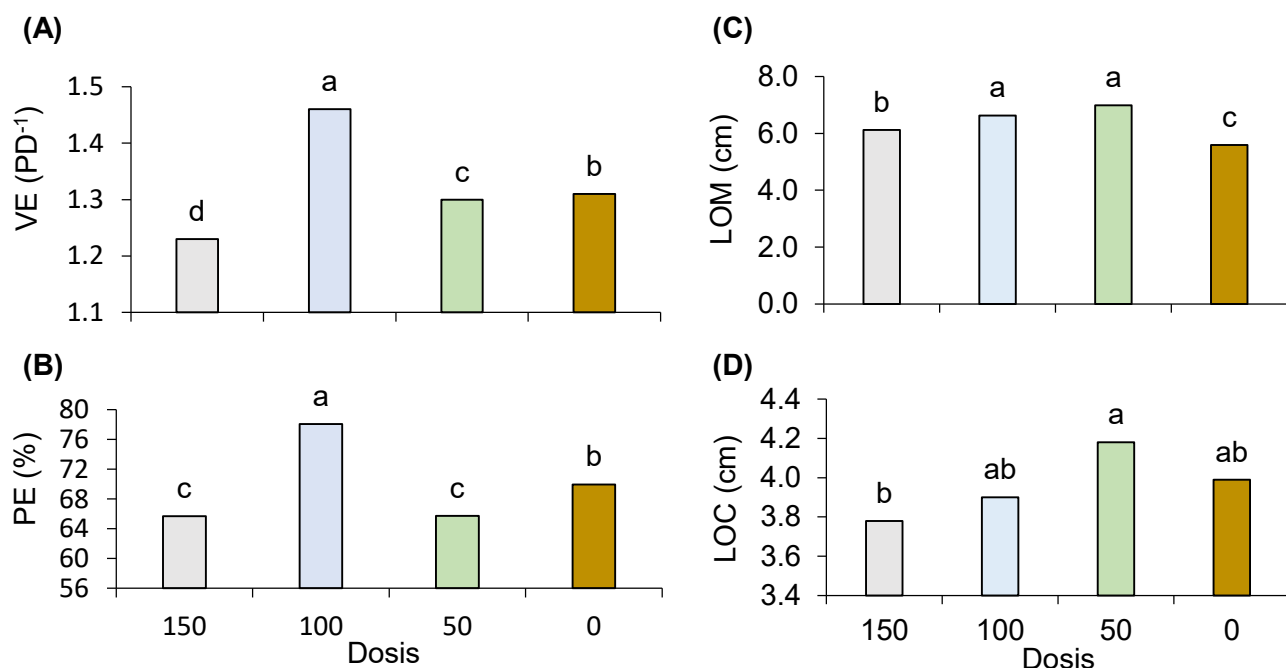


Figura 3. Comparación de medias con base a la dosis de H_2O_2 en maíz. VE=velocidad de emergencia por día (plántulas emergidas por día) (A); PE=porcentaje de emergencia (B). LOM y LOM=longitud de mesocótilo (C) y coleóptilo (D). Ciclo primavera-verano 2023.

No obstante, otra de las causas que pudo influir sobre la VE y PE es el tiempo de almacenamiento de la semilla que fue de alrededor de cinco meses en condiciones naturales (Beegum *et al.*, 2023). Al respecto, con la dosis de 100 mM de H₂O₂ se obtuvo mayor VE (Figura 3A) y PE (Figura 3B). Mientras que, con la dosis de 50 mM de H₂O₂ se presentó mayor elongación de mesocótilo (Figura 3C) y coleóptilo (Figura 3D) en comparación con la dosis más alta y cuando no se añadió H₂O₂, respectivamente.

Interacción entre humedad, dosis y genotipo

Velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia

Entre genotipos, dosis y humedad, se observa que la VE (Figura 4A) y PE (Figura 4B) de todos los genotipos fue superior ($P \leq 0.05$) cuando se aplicó 50 y 100 mM de H₂O₂ en riego y sequía.

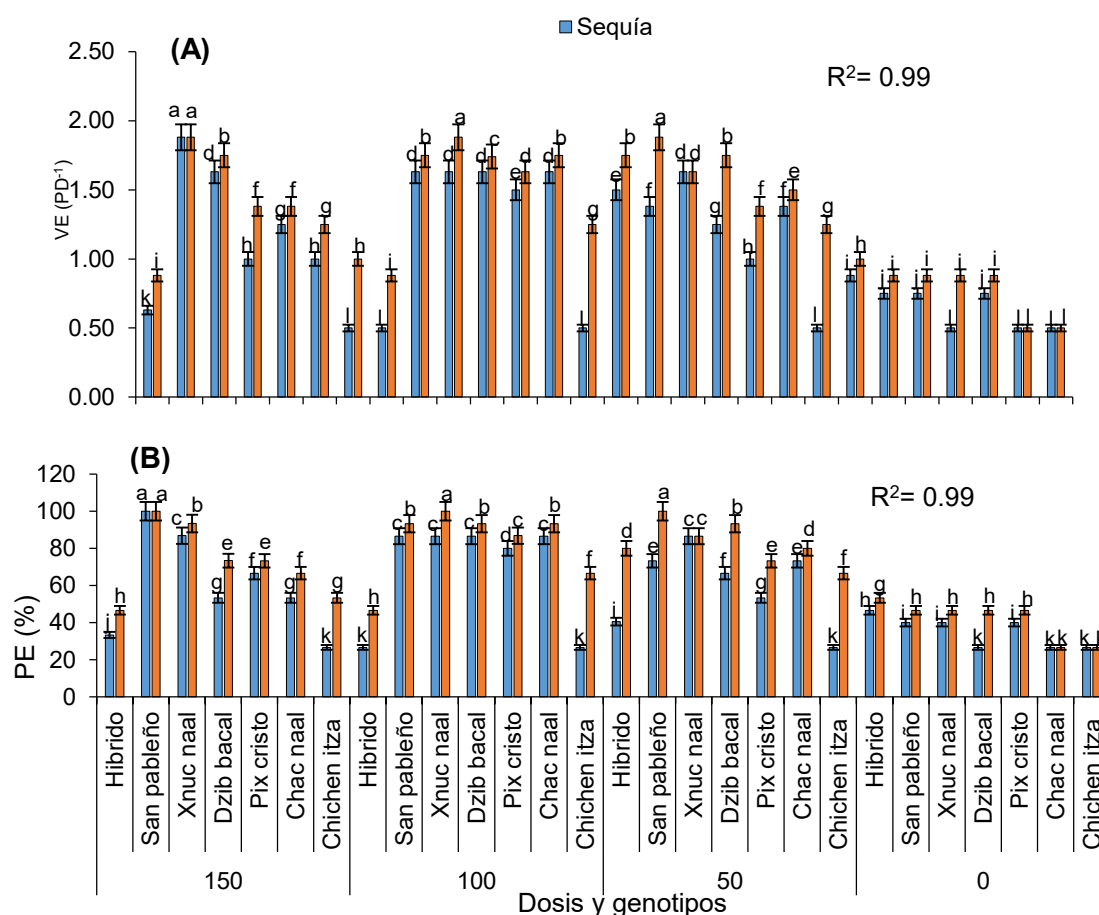


Figura 4. Comparación de medias de genotipos de maíz híbrido y nativos con diferentes dosis de H₂O₂ en plántulas. VE=velocidad de emergencia por día (plántulas emergidas por día) (A); PE=porcentaje de emergencia (B). Ciclo primavera-verano 2023.

Asimismo, con base a la dosis de 150 mM de H_2O_2 en promedio el maíz San Pablito y Xnuc naal presentaron los mejores valores en VE y PE en riego y sequía. Mientras que, con la dosis de 100 mM, el maíz Xnuc naal en riego mostró la mayor VE y PE en comparación con el híbrido Zarco y la variedad Chichen Itza los cuales presentaron la menor VE y PE, tanto en riego como en sequía. Con respecto a la dosis de 50 mM de H_2O_2 , igualmente San Pablito presentó los mejores efectos para la elongación de mesocótilo y coleótilo, respectivamente.

Longitud de mesocótilo y coleótilo

El efecto de la dosis de H_2O_2 en riego y sequía con base a la LOM y LOC fue proporcional con respecto a los genotipos que no se les agregó H_2O_2 (Figura 5).

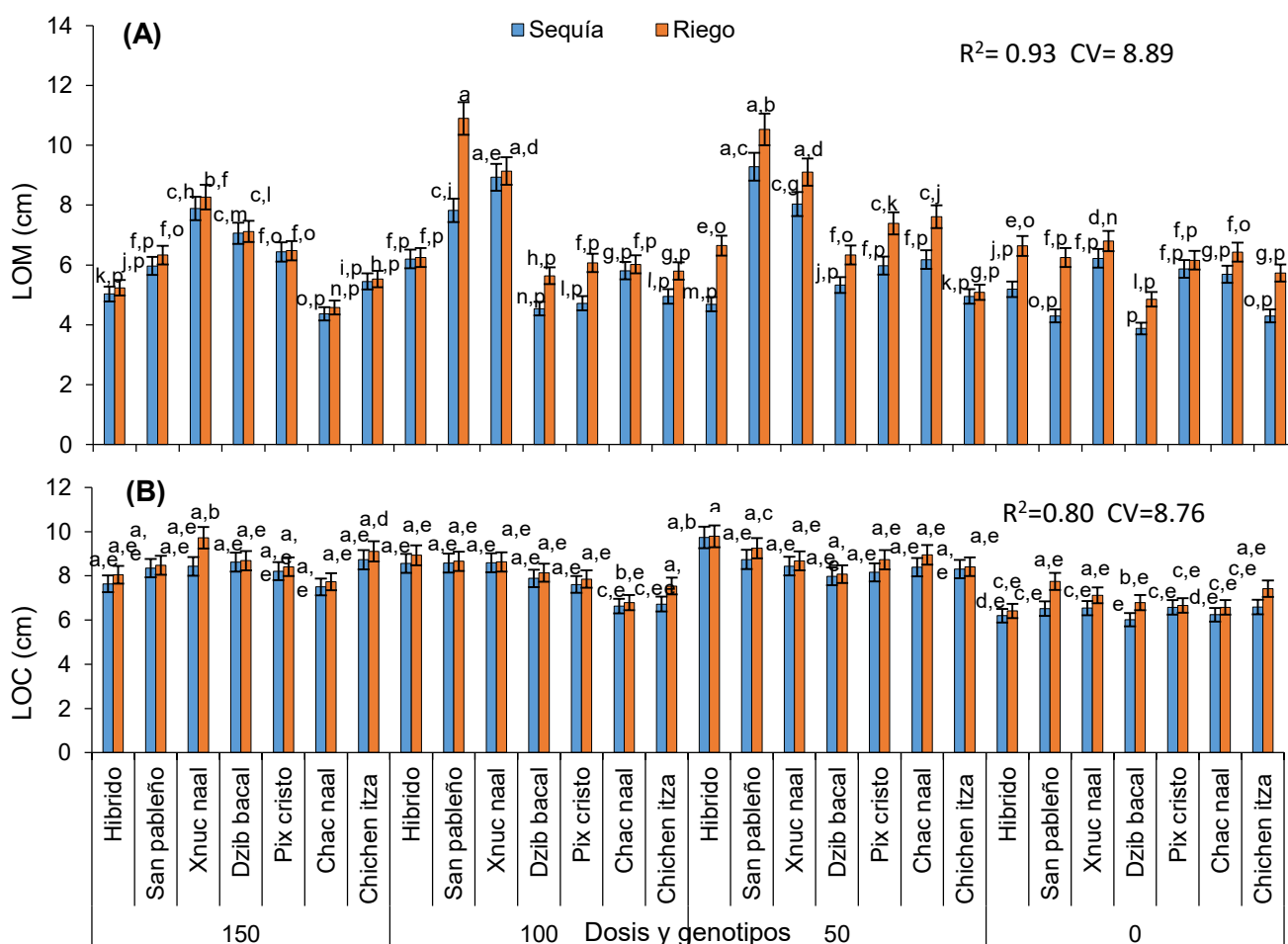


Figura 5. Comparación de medias de genotipos de maíz híbrido y nativos con diferentes dosis de H_2O_2 en plántulas. LOM= longitud de mesocótilo (A); LOC=longitud de coleótilo (B). Ciclo primavera-verano 2023.

Con la dosis de 150 mM de H_2O_2 se observó que Xnuc naal presentó la mayor LOM en riego y sequía. Asimismo, Xnuc naal obtuvo mayor LOC en riego con la aplicación de 150 mM de H_2O_2 . Tanto con la dosis de 100 y 50 mM, el maíz San Pableño mostró la mayor LOM en ambas condiciones de humedad. También se observó que el maíz Chac naal presentó la menor LOC con la aplicación de 100 mM en riego y sequía. Mientras que el híbrido Zarco mostró mayor LOC en riego y sequía con la aplicación de 50 mM. Wang *et al.* (2022) indica que, el H_2O_2 desempeña un papel importante en la vía de transducción de señales de estrés que fue esencial para el crecimiento de los cultivos y la adaptación a la adversidad (Gao *et al.*, 2010), como lo ocurrido con los maíces nativos Xnuc naal y San Pableño, al obtener en promedio mayor VE, PE LOM y LOC.

Conclusiones

El efecto del peróxido de hidrogeno en la semilla de maíz criollo e híbrido, tiene efectos positivos para la velocidad y porcentaje de emergencia, longitud de mesocótilo y coleóptilo para ambos ambientes de humedad. En promedio se determina una mejor expresión del peróxido de hidrogeno mediante la semilla criolla Xnuc naal y San Pableño con respecto a la semilla híbrida y variedad en riego y sequía. A menor dosis de peróxido de hidrogeno, la velocidad y porcentaje de emergencia, longitud de mesocótilo y coleóptilo es menor en todos los genotipos.

Literatura citada

Adebiyi, O. O., G. Gbemavo K. and A. Adewole K. 2021. Genetic variability for mesocotyl length in maize. Biol. Life Sci. Forum 4(1):26.

- Banerjee, A. and A. Roychoudhury. 2017. Abiotic stress, generation of reactive oxygen species, and their consequences: An Overview. p. 23-50. *In*: Wiley J. and Ltd S. (ed.). Reactive oxygen species in plants: boon or bane- revisiting the role of ROS. Wiley. EE. UU. https://www.researchgate.net/publication/320396721_Abiotic_Stress_Generation_of_Reactive_Oxygen_Species_and_Their_Consequences_Boon_Or_Bane_-_Revisiting_the_Role_of_ROS [consultado el 28 de septiembre de 2024].
- Beegum, S., W. Hunt C., K. Reddy N., Reddy V. and R. Raja K. 2023. Examining the corn seedling emergence–temperature relationship for recent hybrids: Insights from Experimental Studies. *Plants* 12(21):3699.
- Carrera-Castaño. G., C. Calleja J., M. Pernas, L. Gómez and S. Oñate L. 2020. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants* 9(6):703.
- Černý, M., H. Habánová, M. Berka, M. Luklová and B. Brzobohatý. 2018. Hydrogen Peroxide: its role in plant biology and crosstalk with signalling networks. *Int. J. Mol. Sci.* 19(9):2812.
- Cetinel, A. H. S., T. Yalcinkaya, T. Akyol Y., A. Gokce and I. Turkan. 2021. Pretreatment of seeds with hydrogen peroxide improves deep-sowing tolerance of wheat seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 167:321-336.
- Choudhury, F. K., R. Rivero M., E. Blumwald and R. Mittler. 2017. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *Plant J.* 90(5):856-867.
- Gao, Y., Y. Guo K., S. Lin H., Y. Fang Y. and J. Bai G. 2010. Hydrogen peroxide pretreatment alters the activity of antioxidant enzymes and protects chloroplast ultrastructure in heat-stressed cucumber leaves. *Sci. Hortic.* 126(1):20–26.
- Huang, Y., Y. Zhang, C. Gao, Z. Li, Y. Guan, W. Hu *et al.* 2018. The interactions of plant growth regulators and H₂O₂ during germination improvement of sweet corn seed through spermidine application. *Plant Growth Regul.* 85(1):1-12.

- Khedia, J., P. Agarwal and P. Agarwal K. 2019. Deciphering hydrogen peroxide induced signalling towards stress tolerance in plants. *3 Biotech* 9(11):395.
- Lyu, Y., X. Wei, M. Zhong, S. Niu, S. Ahmad, G. Shao *et al.* 2020. . *Crop J.* 8(6):918-928.
- Maguire, D. J. 1962. Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176–177.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7(9):405-410.
- Niu, L., R. Hao, X. Wu and W. Wang. 2019. Maize mesocotyl: Role in response to stress and deep-sowing tolerance. *Plant Breed.* 139:466-473.
- Oyetunde, O. A., K. Godunu G. and K. Adeboye A. 2021. Genetic variability for mesocotyl length in maize. *Biol. Life Sci. Forum* 21(4):26.
- SAS, 2002. The SAS System Release for Windows 9.0; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2002.
- Villalobos, G. A., C. López C., S. Miranda C., V. H. Aguilar R. y M. B. López H. 2016. Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 7(7):1651-1665.
- Villalobos, G. A., I. Benítez R., F. Castillo G., C. Mendoza M. D. C. and A. Espinosa C. 2023. Assessment of elongation of the mesocotyl-coleoptile and biomass in parents and crosses of corn seedlings of the high Valleys of Mexico. *Seeds* 2(4):449–473.
- Villalobos, G. A., I. Benítez R., F. Castillo G., M. D. C. Mendoza C and A. Espinosa C. 2024. Genetic parameters in mesocotyl elongation and principal components for corn in High Valleys, Mexico. *Seeds* 3(1):149–168.

- Wang, B., R. Yang, Z. Ji, H. Zhang, W. Zheng, H. Zhang and F. Feng. 2022. evaluation of biochemical and physiological changes in sweet corn seeds under natural aging and artificial accelerated aging. *Agronomy* 12(5):1028.
- Zhao, X., Y. Zhong and W. Zhou. 2021. Molecular mechanisms of mesocotyl elongation induced by brassinosteroid in maize under deep-seeding stress by RNA-sequencing, microstructure observation, and physiological metabolism. *Genomics* 113(6):3565-3581.

ANTRACNOSIS DE FRUTOS DE PAPAYA, SU CONTROL *in situ* EN VERACRUZ

Jorge Gustavo Rodríguez Escobar^{158*}, Rebeca Rodríguez Falconi¹⁵⁹,
Víctor Manuel Hernández Hernández¹⁶⁰ y Lorena Jacqueline Gómez Godínez¹⁶¹

Resumen

La antracnosis es una enfermedad que daña frutos de papaya en el trópico y es causada por el hongo *Colletotrichum* spp., el clima húmedo la favorece y la baja efectividad de agroquímicos ocasiona gastos en productos para su control y pérdida de fruta. En atención a este problema y para darle continuidad a evaluaciones *in vitro* e *in vivo* se planteó la presente investigación con el objetivo de determinar el efecto de los fungicidas sintéticos comerciales de diferente modo de acción contra la antracnosis *in situ*. La investigación se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Tabasco y Veracruz. Los aislamientos del hongo se obtuvieron de huertos de Tabasco, se les realizaron pruebas de virulencia y patogenicidad para escoger a los aislamientos más agresivos. Los hongos se incrementaron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) en placas Petri, y se inocularon sobre frutos de papaya de la variedad Maribel, ubicada en la huerta El Chocolate, en Veracruz. Para evitar la contaminación de los tratamientos sobre el fruto se diseñaron caretas de alambre que fortalecieron la cámara húmeda que propició el crecimiento de los hongos. Se utilizaron cuatro aislamientos agresivos: A2-9.1, H3-F3M1, H2-F2 y A3-2 (2×10^6 esporas/ml), seis fungicidas con diferente modo de acción (MoA), azoxystrobin, boscalid más pyraclostrobin, mancozeb, benomyl, difenoconazol y cyprodinil más fludioxonil, a tres concentraciones del fungicida y a diferente pH del agua de disolución (pH5 y pH6). El diseño estadístico fue factorial y los datos obtenidos se analizaron en SAS. Se presentó diferencia significativa con nivel de confianza $\alpha=0.05$, para el factor fungicida destacó cyprodinil más fludioxonil, presentó menor desarrollo de micelio, y también hubo significancia para el factor pH, lo que implica que a un pH 5 del agua funciona mejor, propició que los tratamientos presentaran mayor reducción del micelio del hongo. Una rotación de fungicidas con manejo del pH del agua propicia reducción de la antracnosis. El aislamiento del hongo más sensible a los tratamientos fue el A2-9.1.

Palabras clave: *Colletotrichum* spp., caretas, aislamientos

¹⁵⁸ Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx, * Autor por correspondencia

¹⁵⁹ Campo Experimental Rio Bravo. INIFAP. rodriguez.rebeca@inifap.gob.mx.

¹⁶⁰ Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra. vn95589@gmail.com .

¹⁶¹ Centro Nacional de Recursos Genéticos. gomez.lorena@inifap.gob.mx.

Introducción

El cultivo de papaya paulatinamente se incrementa en Tabasco debido a su rentabilidad y a que es una fruta nutritiva y atractiva para los consumidores. Se cultivan 21,0156.48 ha de papaya en México. Tabasco es el séptimo productor de papaya con 142 ha y un rendimiento de 63.37 t/ha (SIAP, 2024). Debido a la cercanía con el estado de Veracruz, cuyos productores siembran la mayor superficie de papaya en el país, con 3,799 ha, se considera que Tabasco tiene las condiciones ambientales y de suelo adecuadas para incrementar su producción y satisfacer la demanda de sus consumidores, aunado a su rendimiento de fruta, que supera las 60 t/ha. En reuniones con productores se registraron y posteriormente se corroboró a través de diagnósticos fitosanitarios de huertos (2021 y 2022) que, entre los principales problemas que afectan al cultivo en México se encuentran: a) virosis, por ejemplo, el virus mancha anular del papayo (PRSV) y meleira del papayo (PMeV); b) antracnosis *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz y Sacc.; ácaros como *Tetranychus urticae*; exceso de humedad y caída de frutos por exceso de temperatura (Rodríguez y Salas, 2016; Sánchez-Noriega *et al.*, 2017; Rodríguez *et al.*, 2021; Rodríguez y Rodríguez, 2023), entre otros. En Tabasco, al tecnificar los componentes del cultivo, aunado a la movilidad de los productores, y a la siembra de nuevas variedades e híbridos se especula que se incrementarán los problemas fitosanitarios. En Veracruz, para el control fitosanitario se destinaron en 2017, \$24,579.00 MXN por hectárea.

Colletotrichum spp. destaca como uno de los principales problemas del papayo en México, su daño se aprecia en la postcosecha, o en vida de anaquel, recientemente se ha determinado la presencia de nuevas especies que causan antracnosis, como *C. truncatum* que presenta tolerancia a fungicidas (Gutiérrez-Alonzo *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2021; Torres-Calzada *et al.*, 2013; 2015). *C. gloeosporioides* y *C. truncatum* son las principales especies que se han reportado afectando a varios cultivos (Rojo-Báez *et al.*, 2017).

En el manejo de esta enfermedad se ha recurrido con frecuencia el uso de fungicidas, algunos sistémicos del grupo químico metil-benzimidazol-carbamatos (MBC), y otros de contacto de la clase de los ditiocarbamatos (Moreira *et al.*, 2019). En Ecuador se evaluó el efecto de fungicidas triazoles como: tebuconazole, propiconazole y difenoconazole, benomil, carbendazim y azoxystrobin, los cuales inhibieron totalmente el crecimiento micelial del hongo

(Carreño *et al.*, 2021). Gaviria *et al.* (2013) realizaron trabajos *in vitro* con *C. gloeosporioides* cepa 52 y *C. acutatum* cepa 168, obtuvieron inhibición de micelio del 100% para ambas especies con hidróxido de cobre y difenoconazol, para *C. gloeosporioides* tuvo mejor efecto difenoconazol (100%) y benomil (93 a 99%), para *C. acutatum* se tuvo control con difenoconazol (100%) y azoxystrobin (91 a 97%).

En Veracruz, evaluaron el efecto de seis fungicidas (benomil, procloraz, azoxystrobin, ciprodinil más fludioxonil, boscalid más pyraclostrobin, y mancozeb) contra siete aislamientos del hongo *Colletotrichum* spp., procedentes de frutos de papaya de huertas locales, en tres niveles de concentración de los agroquímicos y a dos pH (5 y 6); en esta investigación, los fungicidas presentaron un efecto diferencial contra las dos especies identificadas de *Colletotrichum* spp.. El agua con pH 6 favoreció que cuatro fungicidas controlaran a seis aislamientos y con pH 5, cinco aislamientos presentaron sensibilidad a cinco fungicidas. Concluyen que el ciprodinil más fludioxonil funcionó en ambos pH contra aislamientos de *Colletotrichum* spp.; a pH 5, contra aislamientos del hongo en estudio solo funcionó mancozeb, y el fungicida que presentó menor efecto en la investigación fue el azoxystrobin (Rodríguez *et al.*, 2021).

El azoxystrobin a una concentración óptima, es un fungicida muy útil y eficaz contra el *C. gloeosporioides* en el cultivo de papaya contra aislamientos de papayas de Tabasco (Salomón, 2023), aunque en otras investigaciones contra otros aislamientos de antracnosis se registra que no ha funcionado; se presenta el caso de Yucatán donde registran que el 80% de los aislamientos de *C. truncatum* de papaya presentaron un comportamiento resistente a los fungicidas thiabendazole y azoxystrobin; en contraste, obtienen un 90% de susceptibilidad de *C. truncatum* a mancozeb y a la mezcla fludioxonil más cyprodinil, en Tabasco, presentó el menor efecto de inhibición sobre aislamientos agresivos de antracnosis (López, 2023; Torres-Calzada *et al.*, 2015). El boscalid más pyraclostrobin tienen una eficacia progresiva, esto debido a la concentración que se utilice; al igual el mancozeb que resultó altamente efectivo contra *Colletotrichum* spp. (Mihăescu y Neagu, 2020). Recientemente destaca el efecto inhibidor del fungicida: cyprodinil más fludioxonil sobre siete diferentes aislamientos sensibles de Tabasco (López, 2023; Salomón, 2023).

Estudios recientes, desarrollados en plátano, consideran que el manejo del cultivo influyó en la diversidad genética del hongo, el manejo tecnificado registró gran polimorfismo para los aislamientos al grado de obtener 19 aislamientos de Chiapas y 15 de Tabasco. En Veracruz la

concentración de los fungicidas más importante para que ejerzan su efecto inhibitor del crecimiento del hongo fue la comercial, comparada contra una superior y otra inferior (Rodríguez *et al.*, 2021). En investigación *in vitro* realizada con aislamientos de Tabasco, evaluados con fungicidas, el nivel de concentración no presentó significancia (Salomón, 2023). Para otros aislamientos de antracnosis de Huimanguillo, Tabasco, el uso de fungicidas a dosis comercial si presentó efecto significativo (López, 2023).

Por lo anterior se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de fungicidas sintéticos comerciales de diferente modo de acción contra antracnosis (*Colletotrichum* spp.) *in situ*, se utilizaron tres concentraciones de los fungicidas y el efecto de dos pH del agua.

Materiales y métodos

Área de estudio

La toma de muestras se hizo en huertos del municipio de Huimanguillo, Tabasco. El trabajo de investigación se estableció y desarrolló en el huerto comercial de papaya Maribel “El Chocolate”, municipio de Cotaxtla, Veracruz y en el Laboratorio de Fitopatología del Campo Experimental Cotaxtla, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Manejo de frutos

Se recolectaron frutos con síntomas de la enfermedad y que cumplieran con la etapa fisiológica de madurez adecuada (250 días después del trasplante). Las frutas se envolvieron con papel estraza blanco para evitar el contacto con el suelo u otros factores contaminantes, posteriormente se llevó a laboratorio en donde se lavaron con agua y jabón para quitar residuos de materia orgánica. Posteriormente se dejó reposar por tres minutos en hipoclorito, el exceso de agua se quitó con toallas esterilizadas para posteriormente colocarlas en posición vertical dentro de la cámara húmeda. En un transcurso de 3 a 5 días empezaron a mostrarse los primeros signos del hongo. se extrajo la epidermis donde hubo crecimiento de la antracnosis y se inoculó en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) en placas Petri y después de tres

a cinco días se inició con los postulados de Koch. Se escogieron frutas (previamente lavadas y desinfectadas) en la etapa fisiológica adecuada para el crecimiento del hongo (dos betas amarillas como mínimo), a las cuales se les inocularon los aislamientos del hongo obtenidos de las placas. Los signos exhibidos por el hongo se evaluaron para determinar su agresividad, aquellos que alcanzaron en un promedio de dos días una mancha de 2-2.5 cm se seleccionaron como los más patogénicos. En el laboratorio, se identificaron, incrementaron y seleccionaron especies agresivas de *Colletotrichum* spp.

Obtención de inóculo

Placas de Petri con medio de cultivo PDA se inocularon con cada uno de los aislamientos para incrementarlos. Con una varilla de cristal se raspó el micelio (hongo), después con ayuda de una micropipeta se retiró la solución de agua con esporas de las placas y se colocó en un vial para contar la cantidad de esporas por mililitro. Se usó una cámara Neubauer Improved, en su superficie ranurada con una micropipeta se colocaron 20 μ l de la solución con esporas y con el apoyo de un microscopio compuesto Zeiss se contaron las esporas en los cinco cuadros. Así se pretendió obtener 2×10^6 esporas/mL.

Control químico *in situ*

En el huerto el Chocolate se seleccionaron plantas en producción, con frutos con apariencia de madurez fisiológica, dos de los cinco carpelos cambiando de color verde a amarillo. Sobre cada fruto, se colocaron los cuatro aislamientos y encima de estos se asperjaron cada uno de los seis fungicidas, así se tuvo una serie de seis frutos, se desarrollaron otras dos series más de seis frutos a las tres concentraciones del fungicida, de este modo se tuvieron 18 frutos para un pH de la solución del agua, entonces, con el segundo pH se asperjaron otros 18 frutos.

Con un palillo se realizó cada punción y sobre esta con una micropipeta se inocularon 20 μ l de cada uno de los aislamientos, los orificios se cubrieron con un papel filtro No. 42 de marca Ahlstrom.

Para propiciar el desarrollo del hongo se cubrió con una bolsa de plástico y dentro papel de estraza húmedo (cámara húmeda). Para evitar la contaminación por contacto de los frutos inoculados se diseñó y elaboró una estructura de alambre recocido, de forma ovalada, que cubrió la mitad del fruto, la llamamos careta; después con una bolsa de plástico se cubrió el

fruto y la careta, evitó que la bolsa de plástico entrara en contacto con el fruto o sus carpelos, además de que propició conservar la humedad.

Tratamientos

Se utilizaron cuatro aislamientos agresivos (A): A2-9.1, H3-F3M1, H2-F2 y A3-2; seis fungicidas (B) con diferente modo de acción (MoA), azoxystrobin, boscalid más pyraclostrobin, mancozeb, benomyl, difenoconazol y cyprodinil más fludioxonil; a tres concentraciones (C) del fungicida: dosis comercial, la mitad de la dosis comercial y el doble de la dosis comercial; y a diferente pH (D) del agua de disolución (5 y 6).

Muestreos

Se evaluó a las 24, 48 o 72 horas, el efecto del fungicida, a un nivel de concentración y a un pH determinado sobre el desarrollo del hongo.

Variables evaluadas

Se midió el crecimiento de la lesión, en milímetros, con un vernier, ya sea la presencia de micelio o mancha oscura hundida.

Diseño y unidad experimental

El diseño fue un tetrafactorial A(4)x B(6)x C(3)x D(2), fungicidas, aislamientos, concentraciones y pH de la solución del agua. El análisis estadístico se realizó con el programa de SAS, se usó la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

El resultado del análisis indica que hay significancia estadística con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para los factores (cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza con los resultados de los factores evaluados de antracnosis en frutos de papaya, huerto El Chocolate, Municipio de Cotaxtla, Ver.

Origen	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr> F
Modelo	11	1272.15856	115.65078	10.87	0.0001
Error	852	9067.74769	10.64290		
Corregido	863	10339.90625			

Respecto a los resultados obtenidos del efecto de los fungicidas, a tres concentraciones y dos pH del agua de dilución para los agroquímicos, sobre los cuatro aislamientos de la antracnosis de papaya, se presentan en el Cuadro 2, el análisis estadístico (Tukey, $\alpha = 0.05$), se realizó para un factorial A(4)x B(6)x C(3)x D(2), con el programa SAS. Se observa que, el análisis presenta significancia para el pH del agua (0.0001), lo que implica que a un pH del agua funciona mejor en los fungicidas contra el hongo. También registra significancia para el aislamiento (0.01), lo que quiere decir que hay al menos uno o dos aislamientos más sensibles a los tratamientos. Además, también es ligeramente perceptible la significancia para concentraciones, se espera que una concentración sea mejor para que los tratamientos expresen su efecto. Respecto a los seis fungicidas se observa significancia (0.0001), entonces, un fungicida fue mejor que los demás para esta investigación.

Cuadro 2. Análisis de varianza de los factores evaluados sobre el control de antracnosis *in situ*, en el huerto El Chocolate, Municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Origen	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr> F
pH	1	549.4456019	549.4456019	51.63	<0.0001
Aislamiento	3	119.2094907	39.7364969	3.73	0.0110
Concentración	2	66.2986111	33.1493056	3.11	0.0449
Fungicida	5	537.2048611	107.4409722	10.10	<0.0001

Factor fungicidas. Los fungicidas: mancozeb (4) y promil (3), presentan el mayor crecimiento de micelio expresado en mm; mientras que los agroquímicos difenoconazol (5), azoxystrobin (1) y boscalid más pyraclostrobin (2) reducen el crecimiento del micelio. No obstante, lo anterior, el cyprodinil más fludioxonil (6), e incluso la combinación boscalid más pyraclostrobin (2), registran el menor desarrollo del micelio sobre el fruto, ambos presentan significancia, pero para los fines de esta investigación se destaca el cyprodinil más fludioxonil (6). Cabe mencionar que excepto por el mancozeb, los cinco fungicidas restantes son sistémicos en su función dentro de la planta y pertenecen a diferentes modos de acción (MoA), en parte, ello explica el que un fungicida de contacto como el mancozeb tenga el menor efecto sobre los diferentes aislamientos de *Colletotrichum spp.* En investigaciones iniciales con fungicidas el azoxystrobin y trifloxystrobin presentaron efecto inhibidor sobre *C. gloeosporioides* en Yucatán, pero las especies *C. truncatum* y *C. capsici* no presentaron sensibilidad a estos productos, pero si fueron susceptibles a otros como prochloraz, ferbam y clorotalonil (Santamaría Basulto *et al.*, 2011) en esta investigación el azoxystrobin presentó efecto reductor intermedio (Cuadro 2, 3) al igual que los encontraron los investigadores citados; el benomilo en esta investigación también presentó un efecto similar al azoxystrobin, aunque, su efecto no afectó a todos los aislamientos para antracnosis en papaya, recientemente se cita que el benomilo presentó efecto significativo para algunos aislamientos de antracnosis de Tabasco *in vitro* (López, 2023).

Cuadro 3. Resultados de la comparación de medias de fungicidas, aislamientos, concentración y pH, evaluados sobre manchas de antracnosis de frutos, in situ, del huerto El Chocolate, Municipio de Cotaxtla, Ver.

Fungicidas (B)			Aislamientos (A)			Concentración (C)			pH (D)		
6	2.3403	a	A2-9.1	3.1204	a	3	3.3750	a (+)	1	2.9630	a (5)
2	3.4271	ab	H3-F3-M1	3.9282	ab	1	3.8924	ab (-)	2	4.5579	b (6)
1	3.8715	ab	H2-F2	3.9606	b	2	4.0139	b (=)			
5	3.9063	b	A3-2	4.0324	b						
3	4.0347	bc									
4	4.9826	c									

^aMedias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los fungicidas con efecto significativo para la presente investigación (Cuadro 3) fueron: cyprodinil más fludioxonil (6) y boscalid más pyraclostrobin (2), siendo más destacado el primero, al respecto se cita que controló *C. truncatum* en Yucatán (Torres-Calzada *et al.*, 2015), también se reporta que este fungicida redujo el crecimiento de la mayoría de los aislamientos de antracnosis en Veracruz (Rodríguez *et al.*, 2021). Recientemente destaca el efecto inhibitor de este fungicida sobre aislamientos sensibles de Tabasco (López, 2023; Salomón, 2023).

Factor aislamientos: 1) A2-9.1, 2) H3-F3-M1, 3) H2-F2 y el 4) A3-2. Sobre los aislamientos resalta que, el aislamiento A2-9.1 presentó la mayor inhibición producida por los tratamientos; mientras que, los aislamientos: H3-F3M1, H2-F2 y A3-2 presentaron menor inhibición o sensibilidad a éstos (Cuadro 3). De Tabasco, 11 aislamientos fueron evaluados por postulados de Koch, de este modo, se seleccionaron cuatro aislamientos agresivos en fruta para esta investigación. Para evaluar resistencia a fungicidas de Yucatán se obtuvieron 37 aislamientos de papaya (Torres-Calzada *et al.*, 2013), de Veracruz 35 aislamientos y se identificaron: *C. capsici* y *C. truncatum*, como se aprecia en el Cuadro 3, por el comportamiento de los aislamientos, a la aplicación de los tratamientos, nos sugiere que, tal vez haya más de una especie en Tabasco, como se presentó en Veracruz con los aislamientos.

Factor concentraciones de fungicidas: 1) la mitad de la concentración comercial, 2) concentración comercial, y 3) el doble de la concentración comercial. La dosis al doble de la comercial (3) presentó significancia, lo cual implica que, para afectar los aislamientos y reducir el crecimiento de su micelio se requiere un poco más de los agroquímicos comerciales, estos resultados son diferentes a los obtenidos para los aislamientos de Veracruz donde la dosis comercial fue la que funcionó (Rodríguez *et al.*, 2021), incluso con aislamientos de Tabasco, también la dosis comercial fue más eficiente en el control de aislamientos (López, 2023). En otra investigación realizada con antracnosis de aislamientos de Tabasco se registró que la concentración doble del fungicida azoxystrobin fue la más adecuada para reducir el crecimiento del micelio del hongo, lo que es similar a lo encontrado en esta investigación (Salomón, 2023).

Factor pH de la solución del agua. Para esta investigación el pH 5 fue significativo y propició que los tratamientos presentaran mayor reducción del micelio del hongo, resultados similares se obtuvieron para controlar antracnosis de papaya *in vitro* con aislamientos de Tabasco (López, 2023); aunque, con otros aislamientos de Tabasco en ningún pH se presentó diferencia significativa, la explicación podría ser que, los aislamientos son diferentes. En la investigación

realizada en Veracruz con diferentes aislamientos de *Colletotrichum spp.*, se presentó un efecto diferencial debido a que a pH 6, seis aislamientos presentaron sensibilidad a cuatro fungicidas, mientras que, a pH 5, cinco aislamientos fueron sensibles a cinco fungicidas (Rodríguez *et al.*, 2021).

Conclusiones

El fungicida que funcionó mejor fue el cyprodinil más fludioxonil. El aislamiento de *Colletotrichum spp.* más sensible a los tratamientos, de los cuatro agresivos, fue el A2-9.1. La concentración significativa a la cual los tratamientos expresaron su potencial inhibidor, para la mayoría de los aislamientos agresivos evaluados de Tabasco, en esta investigación, fue la dosis al doble de la comercial. El pH 5, presentó significancia para favorecer el efecto de los tratamientos sobre la mayoría de los aislamientos agresivos de antracnosis obtenidos de Tabasco.

Literatura citada

- Carreño, J., L. Sánchez, A. Guzmán-Cedeño, C. Suarez-Palacios, S. Vélez-Zambrano. 2021. Efecto *in vitro* de fungicidas para el control de *Colletotrichum spp.* en frutales, Manabí-Ecuador. CIENCIA UNEMI 14(35):37-42.
- Gaviria H, V., L. F. Patiño H. y A. Saldarriaga C. 2013. Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum spp.* en mora de castilla. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 14(1):67-75.
- Gutiérrez A. J. G., O. Gutiérrez A., D. Nieto A., D. Téliz O., E. Zavaleta M., F. Delgadillo S. y H. Vaquera H. 2003. Resistencia a benomil y tiabendazol en aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. y Sacc. obtenidos de mango (*Mangifera indica* L.) en cinco regiones de México. Rev. Mex. de Fitopatología 21(3):260-266.

- López, C. I. 2023. Combate de especies agresivas de antracnosis en papayas de Tabasco con fungicidas químicos sintéticos y productos alternativos. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco. 57 p.
- Mihăescu, C. and L. B. Neagu F. 2020. The antifungal effect of some natural and sintetic chemical compounds on the bitter rot apple. *AgroLife Sci. J.* 9(2):179-184.
- Moreira, R. R., A. Hamada N., A. Peres N. and L. L. May-De Mio. 2019. Sensitivity of the *Colletotrichum acutatum* Species complex from apple trees in Brazil to dithiocarbamates, methyl benzimidazole carbamates, and quinone outside inhibitor fungicides. *Plant Dis.* 103(10):2569-2576.
- Rodríguez E., J. G. y A. Salas R. 2016. Respuesta a acaricidas del ácaro *Tetranychus urticae* del cogollo del papayo en Veracruz. p. 303-307. *In:* Martínez, H. J., M. A. Ramírez G., J. Cámara-Córdova (Eds.). *Innovación Tecnológica para la Seguridad alimentaria*. 2016. Villahermosa, Tab., México.
- Rodríguez, E. J. G., R. Rodríguez F. y C. G. Rodríguez Q. 2021. *Colletotrichum* spp. procedente de frutos de papaya, del centro de Veracruz, su control con fungicidas y efecto del pH del agua. *Braz. J. Anim. Environ. Res.* 4(3):4512-4523.
- Rodríguez E., J. G., y R. Rodríguez F. 2023. Preharvest behavior of papaya genotypes during the spring in the center of Veracruz. *J. Agric. Sci. Res.* 3(8): 1-9.
- Rojo-Báez, I., B. Álvarez B., R. S. García E., J. León F., A. Sañudo B. and R. Allende M. 2017. Current status of *Colletotrichum* spp. in Mexico: Taxonomy, characterization, pathogenesis and control. *Rev. Mex. Fitopatol.* 35(3): 549-570.
- Salomón, G. D. A. 2023. Combate de una especie agresiva de antracnosis en papaya (*Carica papaya* L.) en Tabasco. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco. 55 p.

- Sánchez-Noriega, L., M. Reinhart- Kirchmayr, B. Rodríguez-Garay y A. Gutiérrez-Mora. 2017. Comparación de dos aislamientos mexicanos del VMAP para determinar las causas de infección en una plantación de plantas de papaya tolerantes. *Investig. Desarro. Cienc. Tecnol. Aliment.* (2): 236-242.
- Santamaría Basulto, F., R. Díaz Plaza, O. Gutiérrez Alonso, J. Santamaría Fernández, and A. Larqué Saavedra, A. (2011). Control de dos especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en frutos de papaya maradol. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 2(5): 631-643.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2024. Producción anual agrícola. México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/producción-agricola-33119> [consultado el 23 de mayo de 2024].
- Torres-Calzada, C., R. Tapia-Tussell, I. Higuera-Ciapara and D. Perez-Brito. 2013. Morphological, pathological and genetic diversity of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.). *Eur. J. Plant Pathol.* 135:67-79.
- Torres-Calzada C., R. Tapia-Tussell., I. Higuera-Ciapara. R. Martin-Mex., A. Nexticapán-Gárcez and D. Pérez-Brito. 2015. Sensitivity of *Colletotrichum truncatum* to four fungicides and characterization of thiabendazole-resistant isolates. *Plant Dis.* 99:1590-1595.

BIOPLAGUICIDAS PARA EL CONTROL DE MOSCA BLANCA (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood.) EN JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO

Héctor Cabrera Mireles^{162*}, Rubén Uriel Herrera Bonilla¹⁶², Magali Jiménez Jiménez¹⁶³, Félix David Murillo Cuevas¹⁶⁴, Andrés Vásquez Hernández¹⁶² y Jacel Adame García¹⁶⁴

Resumen

La mosca blanca es una de las principales plagas de los cultivos de hortalizas en el mundo, siendo la más abundante en invernadero *Trialeurodes vaporariorum*. El uso de plaguicidas se ha convertido en el método de control químico más común debido a su rapidez y efectividad en el control de plagas, sin embargo, estos traen complicaciones ambientales, agroecológicas y sobre la salud. El uso de hongos entomopatógenos para el control de plagas en los cultivos es una alternativa a los plaguicidas sintéticos, ya que tienen potencial para regular las poblaciones de insectos en los agroecosistemas, como agentes microbiológicos para el control de plagas y menor impacto contra organismos benéficos. El presente trabajo se realizó en condiciones de invernadero en el INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla, con el objetivo de estimar la efectividad de bioplaguicidas para el control de mosca blanca en el cultivo de jitomate. Se evaluaron dos bioplaguicidas, *Isaria javanica* y *Beauveria bassiana* y Movento®. Se evaluó la eficiencia de los productos en cuatro fechas posteriores a la aplicación (DDA: 3, 5, 7 y 14 días). Las variables respuesta correspondieron al número de adultos, ninfas, huevos y total de organismos de mosca blanca sobrevivientes. Se consideraron dos factores, factor 1: plaguicidas y factor 2: DDA: 3,5,7 y 14. Se utilizó un diseño factorial de parcelas divididas con arreglo de tratamientos en bloques completos al azar. *I. javanica* registró mayor porcentaje de control y no tuvo diferencias estadísticamente significativas con el insecticida comercial en el control de ninfas. En el total de organismos, *B. bassiana* sobresalió y fue estadísticamente diferente al insecticida comercial, compartiendo similitud con *I. javanica*. La interacción bioplaguicida * DDA no mostró diferencia estadística significativa en ninguna de las variables estudiadas. En conclusión, los bioplaguicidas evaluados mostraron ser efectivos y en algunos casos mejores que el insecticida comercial para el control de mosca blanca en invernadero.

Palabras clave: control microbiano, hongos entomopatógenos, *Isaria javanica*, *Beauveria bassiana*

¹⁶² INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia: cabrera.hector@inifap.gob.mx

¹⁶³ Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz.

¹⁶⁴ Tec-NM-Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo, por su consumo per cápita de 20.2 kg. México es considerado como el centro de domesticación, con amplia diversidad morfológica y es de las más cultivadas en invernadero (Pérez *et al.*, 2020). La producción de jitomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas y a incidencia de plagas y enfermedades que afectan su productividad (Carrillo *et al.*, 2003).

Hoy en día la agricultura convencional está basada en el uso de agroquímicos, lo cual, origina un alto nivel de contaminación ambiental, por lo tanto, la principal alternativa de solución es la agricultura con enfoque sustentable. Las alternativas más promisorias para disminuir el impacto ambiental causado por el uso de productos sintéticos para el control de plagas y enfermedades de plantas se centran en la utilización de agentes de control biológico (Hynes y Boyetchko, 2005).

El control biológico de plagas insectiles es una de las estrategias más exitosas que incluye el uso de depredadores, parasitoides o patógenos para el manejo de insectos. Los patógenos de insectos (i.e. entomopatógenos) comprenden virus, bacterias, hongos, protistas o nematodos que infectan y finalmente matan al insecto huésped (Loreti *et al.*, 2020). La comparación entre estos organismos y los insecticidas químicos convencionales se suele hacer con base a su efectividad y costo de aplicación (Lacey *et al.*, 2001).

El concepto de bioplaguicidas es aplicado en la industria de los agrobiológicos para designar a productos biológicos microbianos desarrollados hasta su formulación y producción masiva para uso en el control de insectos plaga, con el fin de tener mayor efectividad en el control de plagas agrícolas, sin causar impactos negativos al ambiente o agravar la contaminación del ambiente (González, 2012; Nava *et al.*, 2012).

La aplicación de insecticidas sintéticos, es la práctica más utilizada en el control de la mosca blanca; sin embargo, el uso indebido de los insecticidas incrementa los costos de producción, fomenta el desarrollo de resistencia en la plaga y aumenta los problemas de contaminación ambiental, salud pública y contaminación en los alimentos (Eskenazi *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2009; Pérez y Castro, 2011).

Los bioplaguicidas están formulados con microorganismos entomopatógenos diversos. Entre las especies de hongos más empleados, debido a su amplio espectro de control, están *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, e *Isaria fumosorosea* (Pacheco *et al.*, 2019; Nava *et al.*, 2012). Cada uno de estos organismos varían en su manera de infectar, sitio en que se replican, viabilidad y mecanismo patogénico. Así mismo las cepas y variedades tienen diferentes niveles de patogenicidad y virulencia (Nava *et al.*, 2012b).

Beauveria bassiana es considerado uno de los agentes de control biológico con mejor eficiencia (Castruita *et al.*, 2020; Malpartida *et al.*, 2013). *Isaria Javanica*, uno de los hongos entomopatógenos ampliamente estudiados y utilizados en el combate de insecto, ambos han mostrado gran potencial para el control de insectos plaga (Flores *et al.*, 2013).

La mosca blanca se encuentra entre las principales plagas de los cultivos, en especial solanáceas y cucurbitáceas (Basso *et al.*, 2001). La especie más abundante es la *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, éste afecta el crecimiento al alimentarse directamente de la savia, transmite virus que provoca enfermedades, y la mielecilla que excretan favorece el desarrollo de fumagina en hojas y frutos (Scotta *et al.*, 2014). Su alimentación también provoca un debilitamiento por la extracción de nutrientes (Toledo, 2019), teniendo como consecuencia reducción de la producción que frecuentemente alcanzan el 100%, especialmente en el periodo primaveral, donde se han documentado las mayores densidades de mosca blanca (Ruíz y Aquino, 1996). El uso de insecticidas sintéticos ha alcanzado en el último siglo un notable incremento, pero la carencia de regulación en su empleo y el aumento de dosis ha tenido efectos perjudiciales en el ambiente y la salud humana (Ruíz y Aquino, 1996b).

Una alternativa que tiene cada vez mayor participación en el manejo integrado de las plagas es el uso de bioplaguicidas, ya que representan opciones económicamente atractivas y ecológicamente aceptables (Marchese y Filippone, 2018).

Desafortunadamente, un obstáculo importante para el desarrollo de hongos entomopatógenos como micoinsecticidas ha sido que, en comparación con los insecticidas químicos, requieren un mayor tiempo después de la aplicación para el control de insectos (5-10 días), durante el cual, los insectos infectados pueden causar graves daños a los cultivos (St. Leger y Screen, 2001).

En diversos estudios realizados para la evaluación de hongos entomopatógenos como micoinsecticidas, se han reportado eficiencias que variaron del 3 al 70% de control de mosca blanca, así como diferentes tiempos que lleva a los micoinsecticidas lograr su máxima eficiencia, que en su manera más eficiente tardaron de cinco a siete días, (Quesada *et al.*, 2006; Scorsetti *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2014; Oreste *et al.*, 2016).

El presente trabajo se realizó en invernadero en el INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla, con el objetivo de estimar la efectividad de bioplaguicidas para el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), en el cultivo de jitomate en invernadero.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este trabajo se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, ubicado en el km 34.5 de la carretera Federal Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín, Veracruz, a 18°55'53.49"N y 96°11'29.67"O, con una altitud de 15 msnm con un clima tropical subhúmedo. El estudio se realizó en un invernadero de 600 m², con ventana cenital para favorecer la salida de aire caliente, malla sombra en los laterales y plástico blanco en la parte superior.

Manejo del cultivo

Las semillas de jitomate utilizadas fueron Híbrido “Atrevido F1” de Harris Moran®. Se realizó la siembra de semillas en almacigo. El trasplante se realizó después de un mes de emergencia en camas de siembra de 1 m de ancho x 50 m de largo, con plástico acolchado blanco-negro. Se utilizó un arreglo topológico en tresbolillo, a 50 cm entre planta y planta.

Tratamientos

Se evaluaron dos bioplaguicidas, un insecticida sintético y un testigo (agua) (Cuadro 1), el cual se usó sólo para corregir la mortalidad natural. El experimento se repitió en dos camas de siembra. Cada cama consistió en dos bloques, cuatro parcelas con 12 plantas en doble hilera; en cada parcela se utilizaron tres plantas en doble hilera.

Cuadro 13. Tratamientos de bioplaguicidas evaluados en el cultivo de jitomate.

Tratamientos	Ingrediente activo	Concentración	Dosis
Movento® ^a	Spirotetramat	15%	1.25 mL/L
<i>B. bassiana</i> ^b	<i>Beauveria bassiana</i>	1x10 ⁸	5 mL/L
<i>I. javanica</i> ^b	<i>Isaria javanica</i>	1x10 ⁸	5 mL/L
Testigo	Agua destilada		

^a Bayer, ^b Biotecnología ANDREB.

La aplicación de los bioplaguicidas se realizó con mochilas de aspersión eléctrica marca HYUNDAI® de boquilla cono lleno. Se utilizó una mochila para cada tratamiento para evitar contaminación entre productos. Se calibró la aspersión en gotas muy finas a alta presión generando una neblina de producto para una adherencia eficaz por toda la planta, las aplicaciones fueron dirigidas el haz y el envés de las hojas del jitomate. Para evitar contaminación cruzada, se utilizaron mamparas de plástico transparente para aislarlas cuatro plantas de cada tratamiento.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño factorial de parcelas divididas con arreglo de tratamientos en bloques completos al azar. Se consideraron dos factores, factor 1: plaguicidas y factor 2: Días después de la aplicación (DDA) de los plaguicidas (3,5,7 y 14 DDA). La variable estudiada consistió en conteos de sobrevivencia de organismos después de las aplicaciones, para lo cual se consideraron las siguientes variables de respuesta: números de adultos vivos, número de huevos vivos y número de ninfas vivas.

Muestreos

De cada parcela experimental se muestrearon dos plantas centrales (i.e. parcela útil) de las cuales se tomaron dos hojas de cada una, una en la parte superior y otra en la parte media con un tamaño de hoja en un rango de seis a ocho cm de longitud, en las cuales se registró la presencia de mosca blanca por estadío. Se contabilizaron los adultos presentes en el envés de la hoja, debido a su capacidad de vuelo. Para el conteo de huevos y ninfas se utilizó un molde de papel con un espacio de muestra de 1.44 cm², el cual se colocó en el envés de la

hoja en forma de romboide, en la segunda nervadura de la hoja. El primer muestreo se realizó por la mañana antes de la aplicación de los bioplaguicidas, para posteriormente muestrear el día 3, 5, 7 y 14 DDA de los productos.

Variables evaluadas

Las variables respuesta consistió en número de adultos vivos, número de huevos vivos y número de ninfas vivas.

Para la evaluación de plaguicidas, los datos fueron transformados a eficiencia (%) mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1955).

Donde:

$$\text{Eficiencia \%} = \left(1 - \frac{(n \text{ en Co antes del tratamiento} * n \text{ en T después del tratamiento})}{(n \text{ en Co después del tratamiento} * n \text{ en T antes del tratamiento})}\right) * 100$$

Dónde: n = número de insectos, T = tratado, Co = control

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un GLMM univariado, mediante los programas estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, implementado un análisis de varianza de los factores independientes y su interacción correspondiente. La prueba de comparación de medias utilizada fue la de Tukey.

Resultados y discusión

En los resultados se observó diferencia estadística significativa en la eficiencia entre los plaguicidas para el control de ninfas ($F_{2,452} = 4.10$, $p = 0.0171$), total de organismos ($F_{2,642} = 2.91$, $p = 0.0550$); para el caso de adultos y huevos no se observaron diferencias estadísticas; ($F_{2,468} = 0.40$, $p = 0.6714$), ($F_{2,355} = 2.64$, $p = 0.0725$) respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 14. Valores estimados en porciento ($\bar{x} \pm EE$) de la eficiencia de los plaguicidas evaluados contra adultos, ninfas y huevos de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivo jitomate en ambiente protegido.

Plaguicidas	Adultos	Ninfas	Huevos	Total de Organismos
<i>Isaria javanica</i>	69.72 $\pm$ 3.32a	48.84 $\pm$ 3.73 a	58.25 $\pm$ 4.51a	48.80 $\pm$ 2.98 ab
<i>Beauveria bassiana</i>	67.88 $\pm$ 3.33a	34.00 $\pm$ 3.85 b	65.19 $\pm$ 4.00a	50.98 $\pm$ 2.87a
Movento®	72.16 $\pm$ 3.46a	45.02 $\pm$ 3.65 ab	52.35 $\pm$ 3.90a	41.52 $\pm$ 2.92b

Valores corregidos por mortalidad natural con fórmula de Henderson y Tilton (1955). EE= Error estándar. Medias con diferente letra indica diferencia estadística significativa.

Se registró diferencia estadística significativa entre plaguicidas para el control de ninfas de la mosca blanca, donde *I. javanica* y Movento® registraron mayor porcentaje de control con un promedio de 48 y 45% respectivamente, siendo estadísticamente diferentes a *B. bassiana*. En el total de organismos *B. bassiana* sobresalió y fue estadísticamente significativo a Movento®, y un efecto similar con *I. javanica*; en adultos y huevos se registró eficiencia mayor del 50%. Los resultados obtenidos coincidieron con Scorsetti *et al.* (2008b) quienes reportaron una tasa de mortalidad entre el 26,6% y el 76,6% con entomopatógenos contra *T. vaporariorum*. Por su parte Quesada *et al.* (2006b) obtuvieron tasas de mortalidad >50%, en cambio Oreste *et al.* (2016) reportaron mortalidades superiores al 86%.

En el factor DDA no se observaron diferencias estadísticamente significativas, en adultos ($F_{3,468} = 2.13$, $p = 0.0951$), ninfas ($F_{3,452} = 1.06$, $p = 0.3673$), huevos ($F_{3,355} = 1.37$, $p = 0.2513$) y total de organismos ($F_{3,642} = 0.49$, $p = 0.6860$). En cuanto a la interacción Bioplaguicidas * DDA no se observaron diferencias en ninguna de las variables estudiadas; adultos ($F_{6,468} = 0.59$, $p = 0.7419$), ninfas ($F_{6,452} = 0.50$, $p = 0.8092$), huevos ($F_{6,355} = 0.62$, $p = 0.7156$) y total de organismos ($F_{6,642} = 0.38$, $p = 0.8939$). Estos resultados difieren con lo reportado en diversas publicaciones que señalan efectos significativos en la mortalidad de mosca blanca a los 7 DDA, (Quesada *et al.*, 2006c; Oreste *et al.*, 2016b).

Conclusiones

1. Los bioplaguicidas mostraron la misma efectividad para controlar al adulto de mosca blanca.
2. En cuanto al control de ninfas de mosca blanca, *I. javanica* resultó mejor que *B. bassiana*, pero ambos mostraron efectividad similar a Movento®.
3. Los materiales evaluados resultaron igualmente efectivos para controlar los huevos de mosca blanca.
4. En cuanto a la efectividad para controlar el total de organismos (suma de todos los estados de desarrollo) de mosca blanca, sobresalió *B. bassiana*, mientras que *I. javanica* resultó similar a Movento®.
5. Los bioplaguicidas evaluados mostraron ser efectivos o mejores a Movento® para control de mosca blanca en ambiente protegido.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo, mediante el proyecto “Tecnología de manejo integrado de bajo impacto ambiental para plagas de hortalizas en sistemas tropicales de agricultura protegida” SIGI: 1542235147.

Literatura citada

- Basso, C., J. Franco., G. Grille. y C. Pascal. 2001. Distribución espacial de *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en plantas de tomate. Bol San Veg: Plagas. 27:475-487.
- Carrillo, J. C., F. Jiménez., J. Ruiz., G. Diaz., P. Sanchez., C. Perales. y A. Arellanes. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL) en invernadero. Agronomía Mesoamericana 14(1): 85-88.

- Castruita-Esparza, G., Bueno-Pallero F., Blanco-Pérez R., Dionísio L., Aquino-Bolaños T. y Campos-Herrera R. 2020. Actividad de *Steinernema colombiense* en aceites vegetales. Revista de Nematología 52(1): 1-12.
- Eskenazi, B., Harley, K., Bradman, A., Weltzien, E., Jewell, N.P., Barr, D.B., Furlong, C.E. y Holland, N.T. 2004. Association of in útero organophosphate pesticide exposure and fetal growth and length of gestation in an agricultural population. Environmental Health Perspectives. 112: 1116-1124.
- Flores, M. A., M. Pucheta D. M., M.A. Ramos-López., S. MA, Rodríguez N N. S., G. Ramos E. G., y D. Juárez R. D. 2013. Estudio del hongo entomopatógeno *Isaria fumosorosea* como control microbiológico de la mosquita blanca *Bemisia tabaci*. Interciencia 38 (7):523-527.
- González-Maldonado, M.B., C. García-Gutiérrez. 2012. Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México. Ra Ximhai 8(3b):31-45.
- Henderson, C.F. and E. W. Tilton, 1955. Tests with acaricides against the brow wheat mite, J. Econ. Entomol. 48:157-161.
- Hernández, M. I., Chailloux, M., Moreno, V., Mojena, M., y Salgado, J. M. 2009. relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. Cultivos Tropicales 30(4): 71-78.
- Hynes, R. K., y Boyetchko, S. 2005. Iniciativas de investigación en el arte y la ciencia de las formulaciones de bioplaguicidas. Biología y bioquímica del suelo. 38:845-849.

- Kim, C.S., Lee, J.-B., Kim, B.S., Nam, Y.H., Shin, K.S., Kim, J.W. *et al.* 2014. A Technique for the Prevention of Greenhouse Whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) Using the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* M130. Journal of Microbiology and Biotechnology. Korean Society for Microbiology and Biotechnology.
- Lacey, L. A., Frutos, R., Kaya, H. K., y Vail, P. 2001. Insect pathogens as biological control agents: ¿Do they have a future? Biological Control. 230-248.
- Loreti, S. A., Adriano, S. G., Nogueira, A. P., Teixeira, C. A., y Ian, S. R. 2020. Colonización endofítica de plantas de tomate por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* para el control del oxiuro del tomate sudamericano, *Tuta absoluta*. CABI Agricultura y Biociencia 1(3): 1-9.
- Malpartida-Zevallos, J., M. Narrea-Cango. Y W. Dale-Larraburre. 2013. Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill., sobre el gusano defoliador del maracuyá *Dione juno* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae) en laboratorio. Ecología Aplicada. 12(2): 75-81.
- Marchese, A. M. y Filippone, M. 2018. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. Revista agronómica del noroeste Argentina 38(1): 9-21.
- Márquez, H. C., P. Cano R., N. Rodríguez D., A. Moreno R., E. De la Cruz L., J. L. Garcia H., P. Preciado R., G. Castañeda G. y C. Garcia P. 2009. producción en invernadero de tomate orgánico. p.1-24. *In*: Memoria del XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, I Simposio "Producción moderna de Melón y Tomate". Torreón, Coahuila, México.
- Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., y Vázquez-Montoya, E. 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Ra Ximhai 8(3b): 17-29.
- Oreste, M., Bubici, G., Poliseno, M. *et al.* 2016. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on the *Trialeurodes vaporariorum*-*Encarsia formosa* system. J Pest Sci. 89:153–160.

- Pacheco-Hernández, M., Reséndiz-Martínez, J. F., y V. Arriola-Padilla. 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 10: 4-32.
- Pérez, D. F., Arévalo, G. M., Pérez, F. L. J., Lobato, O. R., y Ramírez G. M. E. 2020. crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(1): 89-91.
- Pérez, G. M. y Castro, B. R. 2011. Jitomate en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Difusión Cultural. 133 p.
- Quesada-Moraga, E., Maranhao, E.A.A., Valverde-García, P., y Santiago-Álvarez. C. 2006. Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* on the basis of their virulence, thermal requirements, and toxicogenic activity. *Biological Control* 36(3):274-287.
- Ruíz, V. J. y Aquino B.T. 1996. Control integrado de mosquita blanca en tomate y chile por métodos de bajo impacto ecológico. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca, p. 12.
- Ruíz-Cisneros, M. F., J. J. Ornelas-Paz., Olivas-Orozco., G. I. Acosta-Muñiz., C. H. Sepúlveda-Ahumada., D. A. Pérez-Corral. et al. 2018. Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(3): 444-456.
- Scorsetti, A.C., Humber, R.A., De Gregorio, C. et al. 2008. New records of entomopathogenic fungi infecting *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*, pests of horticultural crops, in Argentina. *BioControl*. 53:787–796.

- Scotta, R. R., D.A.E. Sánchez. y C. Arregui M. 2014. Determinación de las pérdidas causadas por la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos de tomate bajo invernadero. Sección Ciencias Agrarias 13(1):29-34.
- St. Leger, R.S., Screen, S., 2001. Prospects for strain improvement of fungal pathogens of insects and weeds. In: Butt, T.M., Jackson, C.W., Magan, N. (Eds.), Fungi as Biocontrol Agents Progress, Problems and Potential. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp.
- Toledo, P. C. 2019. *Beauveria bassiana* con flupyradifurone para controlar *Trialeurodes vaporariorum* Vuill en el cultivo del ejote francés. Agronomía Mesoamericana 30 (3):647-657.

EFECTO DE BIOESTIMULANTES EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Héctor Cabrera Mireles^{165*}, Rubén Uriel Herrera Bonilla¹⁶⁶, Magali Jiménez Jiménez¹⁶⁷,
Félix David Murillo Cuevas¹⁶⁸, Andrés Vásquez Hernández¹⁶⁵ y Jacel Adame García¹⁶⁸

Resumen

La agricultura en la era moderna depende del uso de fertilizantes químicos para mejorar la productividad de los cultivos, sin embargo, al mismo tiempo representan amenazas graves para la salud humana y la sustentabilidad de los ecosistemas. Debido a estos problemas, se han sugerido y probado métodos alternativos tales como el uso de los abonos orgánicos. En la actualidad, el uso de los microorganismos benéficos *Rhizophagus*, *Bacillus* y *Trichoderma* se han incrementado, como alternativas sustentables al uso de los fertilizantes químicos. Su aplicación, no implica dejar de fertilizar, sino que las plantas absorben mejor los nutrientes y con ello, hace que se puedan disminuir las dosis entre un 25 y 50%. Por lo que se consideró importante determinar la eficiencia de los bioestimulantes en el rendimiento y calidad del cultivo de jitomate. El presente trabajo fue realizado en el invernadero del INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla, donde se evaluaron tres tratamientos de bioestimulantes, *Trichoderma harzianum*® (cepa T22 de PHC) + *Rhizophagus intraradices*® (cepa INIFAP), Genyfix ® (*Bacillus* spp. cepa TecNM-ITUG) y Mix® (mezcla de *Trichodermas*) y el correspondiente testigo (sin aplicación). Se evaluó la producción (rendimiento) y calidad de jitomate (peso individual, largo y ancho del fruto), en las diferentes fechas de cosecha y el total de ellos. Para el desarrollo del experimento, se llevó a cabo un diseño experimental en parcelas divididas con arreglo en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Se consideraron dos factores: factor 1: bioestimulantes con cuatro tratamientos y factor 2: fechas de cosecha con nueve fechas. El bioestimulante *Trichoderma harzianum*® + *Rhizophagus intraradices*® resultó sobresaliente en las variables de rendimiento y calidad, compartiendo con Genyfix en rendimiento, mientras que Genyfix también sobresalió en rendimiento. En cuanto a los cortes, se obtuvieron los mejores resultados en los cortes 8 y 9, en interacción con *Trichoderma harzianum*® + *Rhizophagus intraradices*® compartiendo con Genyfix y Mix. Los frutos más largos, más anchos y pesados, se obtuvieron con el tratamiento T22+R; el Bioestimulantes Genyfix también sobresalió en frutos anchos.

Palabras clave: organismos benéficos, *Rhizophagus intraradices*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus*, agricultura protegida

¹⁶⁵ INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia: cabrera.hector@inifap.gob.mx

¹⁶⁶ Profesionista independiente. Veracruz.

¹⁶⁷ Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz.

¹⁶⁸ Tec-NM-Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo, por su consumo per cápita de 20.2 kg, con una estimación global en la producción anual de más de 129 millones de toneladas y es uno de los principales cultivos de exportación en México con una producción anual superior a 1.8 millones de toneladas (Carrillo *et al.*, 2013). México es considerado como el centro de domesticación de esta hortaliza, por lo que cuenta con amplia diversidad morfológica y esta especie es de las mas cultivadas en invernadero (Perez *et al.*, 2020). Este cultivo está ampliamente distribuido en todo el país, se cultiva tanto en primavera-verano como en otoño-invierno, y aunque existen diferencias regionales en cuanto al manejo del cultivo y nivel tecnológico aplicado, lo producen tanto a cielo abierto como en invernadero. En gran medida, la producción de jitomate está derivada de la utilización de grandes cantidades de fertilizantes químicos (NPK); se afirma que en un gran porcentaje de los casos se aplica una inadecuada dosis de estos productos, superior a los requerimientos del cultivo, ocasionando un inferior aprovechamiento nutricional (Villareal *et al.*, 2002). Debido a esto, los agricultores necesitan aplicar más fertilizante químico del que la planta realmente necesita, y el resto a menudo se libera al medio ambiente, contaminando el aire y el agua (Vance, 2001).

Una de las alternativas más prometedoras para la disminución del uso de fertilizantes sintéticos es el uso de bioestimulantes y/o biofertilizantes a base de microorganismos (Arias *et al.*, 2019; Noh *et al.*, 2014). Los bioestimulantes agrícolas son microorganismos que se aplican a las plantas para mejorar la eficiencia nutricional y la calidad del cultivo, siendo algunos de estos bioestimulantes productos comerciales que contienen una mezcla de dichos microorganismos. Los bioestimulantes microbianos incluyen hongos micorrizos y no micorrizos, bacterias endosimbióticas y rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (Calvo *et al.*, 2014; Halpern *et al.*, 2015).

En la actualidad, el uso de los microorganismos benéficos (bioestimulantes) se han incrementado. La cepa INIFAP® (*Rhizophagus intraradices*) se asocia simbióticamente con la mayoría de las plantas, proporcionando diversos beneficios como mejorar la absorción de nutrientes y de agua, inducir una mayor tolerancia a enfermedades de la raíz, también permite a la planta tolerar periodos de estrés por sequía (Durán *et al.*, 2015). Por otra parte

está GENYFIX®, formulado a base de bacterias *Bacillus* que expresan la enzima nitrogenasa encargada de la reducción del nitrógeno atmosférico a través de los genes *nifH*, *nifD* y *nifK*; beneficia la producción de alimentos inocuos y disminuye el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos (Velázquez *et al.*, 2020). Así mismo, *Trichoderma harzianum* Cepa T-22® es un fungicida biológico preventivo para el control de enfermedades de un gran número de especies vegetales; inhibe el crecimiento de hongos patógenos del suelo mediante procesos de competencia natural, formando una coraza alrededor de la raíz de la planta y procesos de microparasitismo necrotrófico de hongos parásitos (PHC, 2023). Finalmente, MIX® es una mezcla de cuatro especies de *Trichoderma* comercial (*T. harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*), con capacidad de adaptación y producción de metabolitos, como enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal, y compuestos volátiles, entre otros, de interés biotecnológico y ambiental (Hernández *et al.*, 2019); los bioestimulantes se consideran como una alternativa sustentable al uso de los fertilizantes químicos. Su aplicación, no implica que se deje de fertilizar, sino que las plantas absorben mejor los nutrientes y con ello hace que se pueda disminuir la dosis requerida entre un 25 y 50% (García *et al.*, 2017; Duran *et al.*, 2015b; Aguado, 2012). En este trabajo de investigación se tuvo como objetivo evaluar la efectividad de bioestimulantes en el rendimiento y la calidad de fruto en el cultivo de jitomate, en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, ubicado en el kilómetro 34.5 de la carretera Federal Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín, Veracruz, a 18°55'53.49"N y 96°11'29.67"O, con una altitud de 15 m con un clima tropical subhúmedo, en un invernadero tipo cenital con una dimensión de 600 m².

Diseño y unidad experimental

Para el efecto de los Bioestimulantes se consideraron dos factores: factor 1: Bioestimulantes con tres tratamientos y factor 2: fechas de cosecha con nueve fechas.

El experimento se repitió en dos camas de siembra. Cada cama contuvo dos bloques cada uno con cuatro parcelas, cada bloque consistió en 48 plantas en doble hilera; cada parcela consistió en 12 plantas en doble hilera. Se consideraron todas las plantas enmarcadas dentro de la parcela grande. Para la variable rendimiento se registró el número total de frutos por planta y el peso en kilogramos del total de frutos por planta. Para la variable calidad, del total de frutos cosechados se tomó una muestra de 20 frutos al azar de cada tratamiento respectivamente; a cada fruto se les registró el largo, ancho y peso.

Para el tratamiento BE1 se realizó una mezcla tipo pasta, con Rhizophagus intraradices®, la cual se adhirió a la semilla, además de 10 mL de T22. El tratamiento BE2 se aplicó 1 mL de Genyfix (*Bacillus* sp.). El tratamiento BE4 se aplicó 10 mL de Mix (*Trichoderma* spp.). En el caso del tratamiento BE1 el *R. intraradices* se aplicó por única vez y solo se repitió el T22.

Tratamientos

Se evaluaron tres bioestimulantes y el correspondiente testigo, Ver Cuadro 1.

Cuadro 1. Bioestimulantes empleados en un experimento con jitomate cultivado en invernadero en el trópico.

Código	Ingrediente activo	Dosis
BE1. T22 + R	<i>Trichoderma harzianum</i> cepa T22 de PHC® <i>Rhizophagus intraradices</i> ® cepa INIFAP	0.5% + 0.5% (p/v)
BE2. Genyfix ^a	<i>Bacillus</i> sp. JVN5, <i>B. megaterium</i> strain VVM1, <i>Bacillus</i> sp. FDMC4, <i>B. subtilis</i> strain JAG3, <i>B. megaterium</i> strain EAV2	20% (v/v)
BE. 3 TESTIGO	AGUA	
BE4. MIX ^b	<i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> , <i>T. asperellum</i> , <i>T. koningli</i>	0.5% (p/v)

^a ITUG, ^b Organismos benéficos.

Toma de datos

Para la variable rendimiento se registró el número total de frutos por planta y el peso en kg del total de frutos por planta. Para la variable calidad, del total de frutos cosechados se tomó una muestra de 20 frutos al azar de cada tratamiento respectivamente; a cada fruto se les registró el largo, ancho y peso.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GLMM univariado, mediante los paquetes estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, obteniendo el análisis de varianza de los factores independientes y su interacción correspondiente. La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Variables evaluadas

Las variables de rendimiento correspondieron al promedio de número de frutos por planta y al promedio de kilogramos de frutos por planta. En cuanto a las variables de calidad fueron largo del fruto, ancho del fruto y el peso unitario del fruto.

Resultados y discusión

Número de frutos por planta

El ANVA mostró que existió diferencia estadística altamente significativa entre bioestimulantes ($F_{3,3306} = 7.86$, $p = 0.0001$). Los tres bioestimulantes fueron estadísticamente iguales, y todos diferentes al testigo, Figura 1.

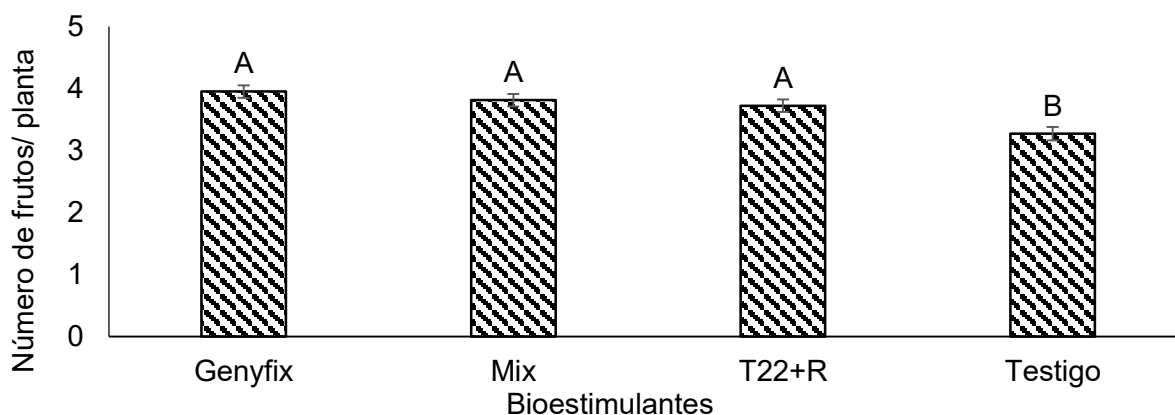


Figura 1. Número de frutos por planta de jitomate cultivado en ambiente protegido y empleando bioestimulantes. R=*Rhizophagus intraradices*. T22= *Trichoderma harzianum* cepa T22. Genyfix= *Bacillus* spp. Mix= *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*. Testigo=solo agua.

En el factor fecha de cosechas, se observó diferencia estadística significativa ($F_{8,3306} = 65.61$, $p = 0.0001$). Los cortes sobresalientes fueron el corte 9 y corte 8 que fueron diferentes al resto de los cortes, Figura 2.

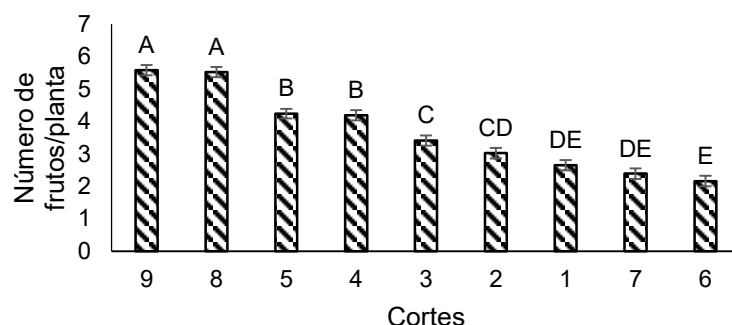


Figura 2. Número de frutos promedio por planta en diferentes cortes de jitomate en ambiente protegido.

Se encontró una interacción altamente significativa ($F_{24,3306} = 2.93$, $p = 0.0001$) entre bioestimulantes x fecha de cosecha; sobresalió T22+ R en el corte 9 con promedio de 7 frutos por planta, sin diferencia estadística con Mix y Genyfix en los cortes 8 y 9 y estadísticamente diferente al testigo en todos los cortes.

Peso de frutos por planta

El ANOVA mostró que existió diferencia estadística significativa entre bioestimulantes ($F_{3,2827} = 2.55$, $p = 0.0539$). Sobresalió Genyfix con peso promedio de 460 g, sin diferencia estadística con T22+R, Mix y fue diferente al testigo, Figura 3.

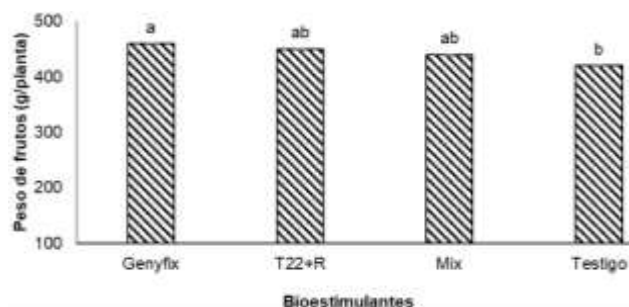


Figura 3. Efecto de los bioestimulantes en la variable peso (g) de frutos por planta de jitomate en ambiente protegido. R=*Rhizophagus intraradices*. T22= *Trichoderma harzianum* cepa T22. Genyfix= *Bacillus* spp. Mix= *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*. Testigo=solo agua.

En cortes, referente al peso de frutos por planta, se observó diferencia estadística altamente significativa ($F_{8,2827} = 17.41$ $p = 0.0001$). Sobresalió el corte 8 siendo diferente a los cortes 1, 2, 3, 7, 6; sin diferencia estadística con el corte 5, 9 y 4, Figura 4.

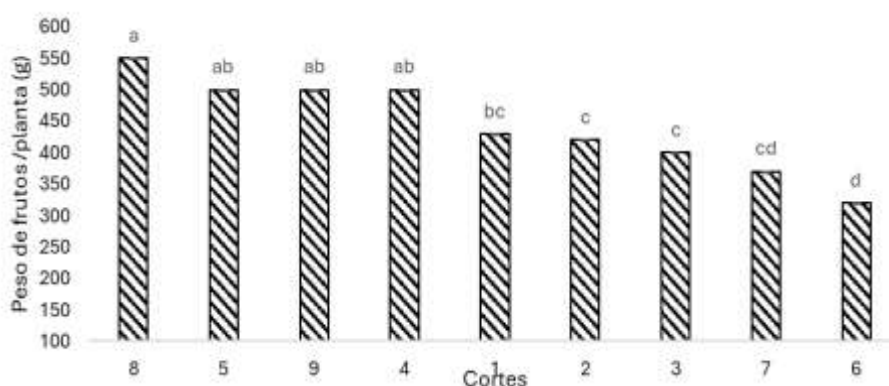


Figura 4. Peso promedio (g) de frutos por planta en diferentes cortes de jitomate en ambiente protegido.

En cuanto a la interacción bioestimulantes * cortes, se observó diferencia estadística ($F_{24,2827} = 2.18$ $p = 0.0008$). La interacción sobresaliente fue T22+R * corte 8, y fue diferente al testigo en todos los cortes; sin diferencia estadística con T22+R * corte 9, 5 y 4, Genyfix * corte 8, Mix * corte 8, 9, 5 y 4.

Calidad del fruto de jitomate en ambiente controlado

Largo del fruto

Se registró diferencia estadística altamente significativas entre la eficiencia de bioestimulantes en la variable largo del fruto ($F_{3,2844} = 14.27$ $p = 0.0001$). Sobresalió T22+R y fue diferente a Genyfix, Mix y Testigo, Figura 5.

Respecto a los cortes se registró diferencia estadística ($F_{8,2844} = 39.05$ $p = 0.0001$). Sobresalió el corte 2, sin diferencia estadística con el corte 1 y diferente al resto de los cortes, Figura 6.

En cuanto a la interacción bioestimulantes* cortes se observó diferencia altamente significativa ($F_{24,2844} = 5.29$ $p = 0.0001$). Sobresalieron T22+R * corte 2 y Mix* corte 1, fueron estadísticamente diferentes al testigo en todos los cortes, sin diferencia estadística con T22+R* corte 1 y 2; Genyfix * corte 1 y 2; Mix * corte 2.

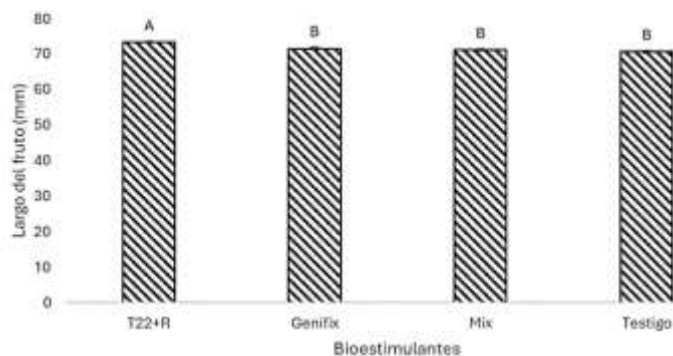


Figura 5. Efecto de los bioestimulantes en la variable largo (mm) del fruto de jitomate en ambiente protegido. R=*Rhizopagus intraradices*. T22= *Trichoderma harzianum* cepa T22. Genifix= *Bacillus* spp. Mix= *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*. Testigo=solo agua.

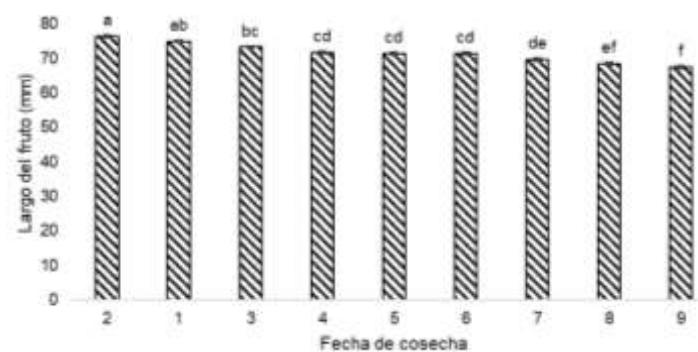


Figura 6. Largo promedio (mm) del fruto de jitomate en diferentes cortes en ambiente protegido.

Ancho del fruto

Se registró diferencia estadística altamente significativa ($F_{3,2844} = 9.33$ $p=0.0001$). Sobresalió T22+R, fue diferente a Mix y Testigo, sin diferencia estadística con Genifix, Figura 7.

En la variable cortes con respecto al ancho del fruto se observó diferencia estadística ($F_{8,2844} = 21.57$ $p=0.0001$). Sobresalió el corte 7, sin diferencia estadística con el corte 1 y diferentes al corte 9 y 3, Figura 8.

En la interacción bioestimulantes*cortes se registró diferencia estadística altamente significativa ($F_{24,2844} = 5.41$ $p=0.0001$). Sobresalió la interacción Mix*corte 1, fue diferente al

Testigo en todos los cortes, sin diferencia estadística con T22+R* cortes 7 y 1; Genyfix * corte 1.

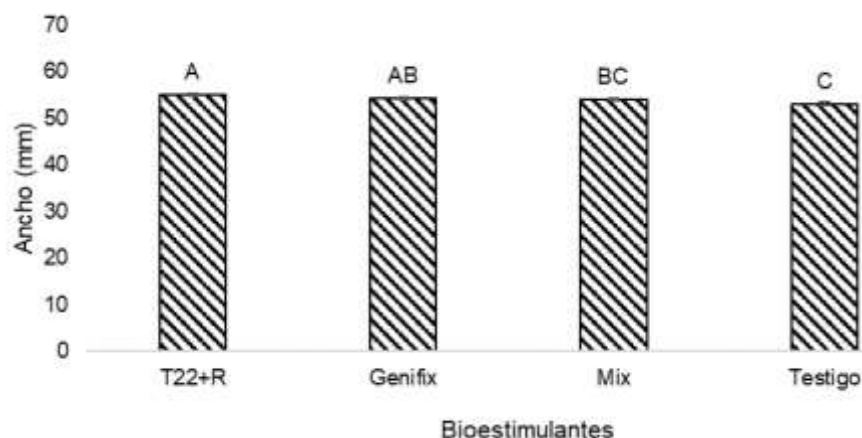


Figura 7. Efecto de bioestimulantes en ancho promedio (mm) del fruto de jitomate en ambiente protegido. R=*Rhizophagus intraradices*. T22= *Trichoderma harzianum* cepa T22. Genyfix= *Bacillus* spp. Mix= *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*. Testigo=solo agua.

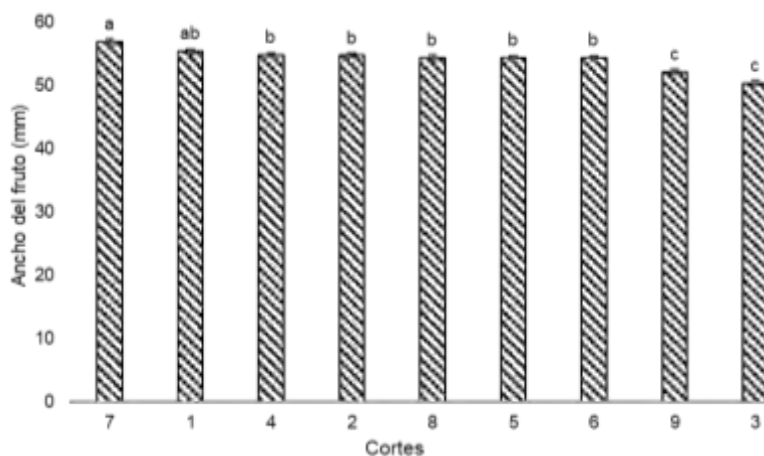


Figura 8. Ancho promedio (mm) del fruto de jitomate en diferentes cortes, en ambiente protegido.

Peso del fruto

Se registró diferencia estadística ($F_{3,2844} = 9.27$ $p=0.0001$). Sobresalió el T22+R, que presentó un promedio de peso del fruto de 119.8 g, fue estadísticamente diferente al testigo, Mix y Genyfix, Figura 9.

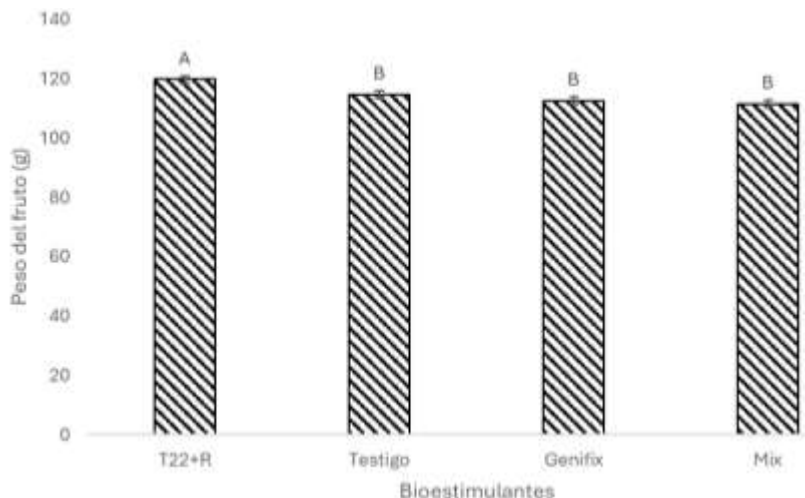


Figura 9. Efecto de los bioestimulantes en peso del fruto (g) de jitomate en ambiente protegido. R=*Rhizophagus intraradices*. T22= *Trichoderma harzianum* cepa T22. Genyfix= *Bacillus* spp. Mix= *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. koningli*. Testigo=solo agua.

En la variable cortes se obtuvo diferencia estadística ($F_{8,2844} = 56.95$ $p=0.0001$). en el corte 1 se obtuvo mayor peso del fruto de jitomate con promedio de 143.4.g, y fue estadísticamente diferente al resto de los cortes, Figura 10.

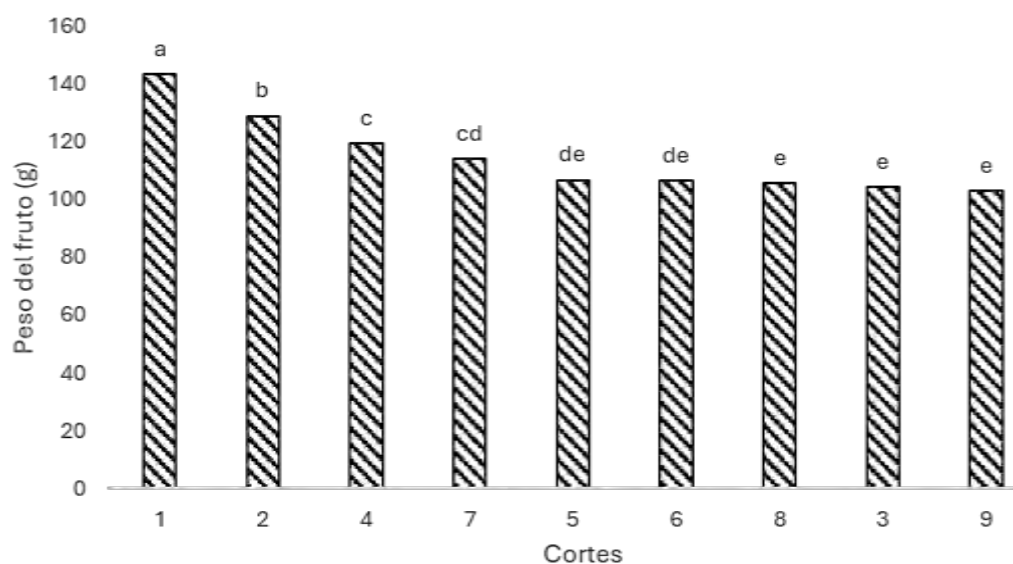


Figura 10. Peso promedio del fruto (g) en diferentes cortes de jitomate en ambiente protegido.

Los bioestimulantes ofrecen cierto potencial para el cultivo de tomate de campo, donde los factores genéticos tuvieron un efecto más significativo que la aplicación de bioestimulantes con respecto a la calidad del tomate, por lo que los bioestimulantes puede ser recomendados solo para combinaciones seleccionadas de cultivar/bioestimulante, Grabowska *et al.* (2015). Los bioestimulantes pueden estimular el crecimiento y desarrollo de plantas más de diez veces en tamaño y peso, como consecuencia de una mejor nutrición de la planta. Situación que se refleja en aspectos como la calidad del fruto en cuanto a tamaño y peso, mayor acumulación de ácido ascórbico, mayor tolerancia a enfermedades y plagas. Los resultados obtenidos coinciden con Waqas *et al.* (2022), quienes encontraron que la productividad de algunos cultivos se incrementa con el uso de biofertilizantes, por ejemplo, en maíz, caña de azúcar, café y cítricos, así mismo, señalan que los biofertilizantes también pueden servir en suelos que ya están contaminados, e incluso, han mejorado la productividad, estos autores reportan que los bioestimulantes aumentaron la calidad de la fruta de jitomate, con los más altos niveles de firmeza, sólidos solubles totales, pigmento y pH.

Conclusiones

1. En el rendimiento en número de frutos, los bioestimulantes mostraron similar efecto, superando al testigo. Los cortes 8 y 9 produjeron el mayor rendimiento, resultando mejor la interacción del T22+ R en el corte 9. 2. En la variable peso de frutos por planta, sobresalió Genyfix y compartió similitud estadística con T22+R, Mix. El mayor peso de fruto se registró en el corte 8, con interacción con T22+R. 3. Los frutos más largos, más anchos y pesados, se obtuvieron con el tratamiento T22 + R; el Bioestimulantes Genyfix también sobresalió en ancho de frutos. En los cortes 2 y 1 se obtuvieron frutos más largos y con mayor peso, y en los cortes 7 y 1 frutos más anchos.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo, mediante el proyecto “Tecnología de manejo integrado de bajo impacto ambiental para plagas de hortalizas en sistemas tropicales de agricultura protegida” SIGI: 1542235147.

Literatura Citada

- Aguado-Santacruz, G. 2012. Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. Celaya, Guanajuato, México: INIFAP/SAGARPA.
- Arias, M. R. M., Romero F., Bañuelos T., Jacob A. de J. y Cruz E.Y. 2019. Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas 10(8):1747-1757.
- Calvo, P., Nelson L. y Kloepper J. W. 2014. Usos agrícolas de bioestimulantes vegetales. Suelo vegetal. 383: 3–41.
- Carrillo-Rodríguez, J., J. Chávez-Servia., G. Rodríguez-Ortiz., R. Enríquez del Valle. y Y. Villegas-Aparicio. 2013. Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). REMEXA (6):1081-1091.
- Durán, P. A., A. Vásquez H., R. Zetina L. y I. Meneses M. 2015. Producción de abonos orgánicos y aplicación de biofertilizantes en hortalizas en ambiente protegido. Libro técnico 36. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Camo Experimental Cotaxtla, Veracruz. 94 p.

- García-Núñez, H. G., A. R. Martínez-Campos., M. R. Hermosa-Prieto., E. Monte-Vázquez., C. J. Aguilar-Ortigoza. y C. E. González-Esquivel. 2017. Morphological and molecular characterization of native isolates of *Trichoderma* and its potential biocontrol against *Phytophthora infestans*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35:58-79.
- Grabowska, A., Kunicki E., Sękara A., Kalisz A., Jezdinsky A. y K. Gintrowicz. 2015. The effect of biostimulants on the quality parameters of tomato grown for the processing industry. *Agrochimica*. 59:203-217.
- Halpern, M., A. Bar-Tal., M. Ofek., D. Minz, T. Muller. y U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: *Advances in agronomy*. Sparks, D. L. (Ed.). Vol. 129. Elsevier Inc. Netherlands. Pp 141-174.
- Hernández, M. D. J., Ferrera C. R., y Alarcón, A. 2019. *Trichoderma*: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* 35 (1): 98-112.
- Noh, M. J., C. Yam C., L. Borges G., Lizette, J. J. Zúñiga A. y G. Godoy H. 2014. Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana* 32(4): 273-281.
- Waqas, M. M., Akram R. y A. Shahid. 2022. Foliar application of iron glutamate improves yield and growth of tomatoes compared to iron sulphate and L-glutamate. *International Journal of Vegetable Science* 28 (6): 511-520.
- Perez, D. F., Arévalo, G. M., Perez, F. L. J., Lobato, O. R., y Ramirez G. M. E. 2020. Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(1):89-91.
- PHC. 2023. PHC T-22®. 2002. Fungicida biológico para la raíz. Plant Health Care, México.

- Vance, C. P. 2001. Fijación simbiótica de nitrógeno y adquisición de fósforo. Nutrición vegetal en un mundo de recursos renovables en declive. *Plant Physiology* 127(2):390-397.
- Velázquez, M. V., J. Adame G., J. Villegas N., F. D. Murillo-Cuevas. y J A. Fernández V. (2020). GENYFIX: biofertilizante a base de bacterias fijadoras de nitrógeno. En: *Innovación en Biotecnología. Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C.* Pp. 130-142.
- Villareal, R. M., García, E. R. S., Osuna, E. T. y Armenta B.A. D. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoamericana* 20(3):311-320.

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) PRODUCIDO EN INVERNADERO EN LA REGIÓN TROPICAL DE MÉXICO

Isaac Meneses Márquez^{169*}, Moisés Ramírez Meraz¹⁷⁰, Cristóbal Hervi Bautista Pérez¹⁷⁰,
Andrés Vásquez Hernández¹⁶⁹, Arturo Durán Prado¹⁶⁹ y Arturo Andrés Gómez¹⁷¹

Resumen

En el ciclo O-I, 2023-2024 en un invernadero tropical con ventana cenital ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín, Veracruz, se estableció un experimento con el objetivo de identificar aquellos genotipos avanzados de chile habanero que tienen el mayor potencial de rendimiento bajo condiciones protegidas en la región tropical de México, producidos con tecnología de fertirriego y acolchado plástico blanco-negro. Se evaluaron doce genotipos de chile habanero que representan líneas avanzadas del programa de mejoramiento de chile del INIFAP y se condujeron con un manejo de bajo impacto ambiental en la que incluye fertilización sustentable, con 50% de fertilización química (80N-40P₂O₅-60K₂O) + 5 t/ha bocashi + Rhizophagus + Trichoderma a la siembra. Se registraron las variables número de frutos por planta, peso individual de fruto y el rendimiento de fruto en un total de cuatro cortes. El análisis de varianza para estas variables no detectó significancia estadística en el primer corte, no obstante, la diferencia numérica en lo que respecta a rendimiento fue de aproximadamente cinco toneladas entre el genotipo de mayor y el de menor rendimiento, a partir del segundo hasta el cuarto corte ya se encontró significancia estadística. La calidad de fruto de chile habanero resultó superior a todas las categorías que señala la Norma Oficial Mexicana. En el acumulado de rendimiento de cuatro cortes realizados al cultivo, la línea avanzada HAN-KAB alcanzó las 24 toneladas por hectárea, aunque también se identificaron otros genotipos tales como HAN-6F2 y HAN-6F3, sobresalientes por su alto potencial de rendimiento, que superan las 21 toneladas de producción, los cuales son opciones para liberarse al mercado en el corto plazo. Asimismo, se detectó que los genotipos HRA-7-1 y HA-18A-2 empiezan más tardío su producción de frutos, no obstante, éstos incrementan el número de frutos por planta conforme se avanza en el número de cortes.

Palabras clave: líneas avanzadas, genotipos, hortalizas

¹⁶⁹ INIFAP - Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz. *Autor de correspondencia: meneses.isaac@inifap.gob.mx

¹⁷⁰ INIFAP - Campo Experimental Las Huastecas. Tamaulipas.

¹⁷¹ Profesionista independiente. Veracruz.

Introducción

El género *Capsicum* comprende alrededor de 25 especies, de las cuales *C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. pubescens* Ruiz & Pav., *C. frutescens* L., y *C. baccatum* L. han sido domesticadas y cultivadas (Morán *et al.*, 2004; Milla, 2006). El chile (*Capsicum* spp.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes en México y en el mundo cuya producción se ha incrementado en los últimos años, con un estimado de 29 millones de toneladas. A nivel mundial, México ocupa el segundo lugar de la producción de chile verde, lo que representa el 14.3%, de un total de 32,968,75 t, de las cuales China se registra como el primer productor con el 67.5% del total con 178,212,38 t (FAOSTAT, 2019).

México, como centro de domesticación, posee una gran diversidad de recursos fitogenéticos de *Capsicum* spp. Este género cuenta con una amplia variabilidad morfológica y genética de poblaciones silvestres de *C. annuum* y en menor grado de *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. chinense* (Latournerie *et al.*, 2002; González *et al.*, 2010). La especie más cultivada bajo diferentes sistemas de producción, tanto a cielo abierto como en agricultura protegida es *C. annuum*, entre los principales estados productores se encuentran: Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Yucatán y Zacatecas con una producción anual de 6,802.11 t (SIAP, 2023).

El chile (*Capsicum* spp.) es uno de los cultivos hortícolas más importante debido a su pungencia y valor nutricional, es cada vez más popular entre los consumidores y las aplicaciones industriales han aumentado en todo el mundo (Zhang *et al.*, 2016).

De acuerdo a la NOM NMX-FF-025-SCFI-2007, los chiles habaneros se clasifican por calidad de acuerdo a su tamaño en: chico <2 cm, mediano de 2 a 3.9 cm y grande $\geq$ 4 cm. Tomando en cuenta que el chile habanero Jaguar es el que más se utiliza y siembra, se le considera como el referente de comparación para otros materiales que se evalúan, por lo que para generar competencia en el mercado y aumentar las opciones para los productores, se requiere desarrollar variedades mejoradas genéticamente a través de la genética clásica con excelentes atributos de calidad, rendimiento y productividad. De esta manera, se vuelven indispensables los estudios de caracterización y evaluación que permitan diferenciar las mejores accesiones de una especie y sus atributos de importancia agronómica, así como conocer su potencial genético (Jaimez y Rada, 2016; Meneses *et al.*, 2018) y sus diferencias en desarrollo y contenido químico de frutos (Jeeatid *et al.*, 2018), como el contenido de capsaicinoides,

además de la influencia genotipo-ambiente. Para el estado de Veracruz, Díaz *et al.* (2001) realizaron una zonificación para ubicar las zonas de excelente, mediano y bajo potencial productivo para 58 especies de importancia económica, entre ellos las diversas variedades de chile (*Capsicum* spp.), y reportan que se delimitaron 240,276 ha con potencial óptimo para la producción de chile habanero, las cuales representan sólo el 3.05% de la superficie total estatal y el 4.46% del total de la superficie con potencial para esta variedad en la entidad. Esta zona óptima se localiza al sur del estado de Veracruz en un área comprendida entre los municipios de Playa Vicente, Hueyapan de Ocampo, San Juan Evangelista y Jáltipan de Morelos. La superficie con potencial mediano resultó de 5'149,355 ha, que representa 65.33% de la superficie total del estado y 95.54% de la superficie con potencial para chile habanero en la entidad.

El objetivo de este trabajo fue identificar aquellos genotipos avanzados que tienen el mayor potencial de rendimiento bajo condiciones protegidas en la región tropical de México, complementado con el uso de bioinsumos y fertilización racional, generados en el programa de mejoramiento de chiles del INIFAP, cuya sede se encuentra en el Campo Experimental Las Huastecas, en el estado de Tamaulipas.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, durante el ciclo otoño–invierno de 2023/2024 en condiciones de ambiente protegido (invernadero). El Campo se localiza en el km 34 de la carretera federal Veracruz–Córdoba, en Medellín de Bravo, Veracruz, a 18° 50' de latitud norte y 96° 10' de longitud oeste, a una altitud de 15 m. El clima es cálido subhúmedo Aw (w) (g), la temperatura media anual de 25.4°C, con máxima de 42.5°C y mínima de 7.0°C. La precipitación anual es de 1400 mm y el periodo de lluvias está comprendido desde junio hasta octubre (García, 1988).

El material vegetal estuvo integrado por 12 genotipos avanzados de chile habanero derivados del programa de mejoramiento de chile cuya sede se encuentra en el Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP, en el estado de Tamaulipas. La siembra de los 12 genotipos se realizó

en septiembre del 2023, transcurridos 35 días se realizó el trasplante en camas de siembra de 1.6 m de ancho. Las camas se protegieron con acolchado plástico blanco/negro calibre 8 mil y se colocó cinta de riego por goteo. Cada parcela experimental estuvo integrada por dos hileras de 3 m de longitud, la distancia entre hileras y entre matas fue de 0.5 m. Se trasplantó una plántula por mata, por lo que se tuvieron 13 plantas por parcela por repetición. Los distanciamientos anteriores permitieron alcanzar una densidad de población por hectárea de 34,210 plantas.

Las variables que se reportan en este trabajo son las relacionadas con la productividad del fruto y son las siguientes: número de frutos por planta, peso individual de fruto (g) y rendimiento de fruto (t/ha). Durante el periodo de producción se realizaron cuatro cortes, 19 de marzo y los días 1, 15 y 29 de abril de 2024.

El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y a los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y una prueba comparación de medias de Tukey con probabilidad del $\alpha=0.05$, con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

Resultados y discusión

Con base en los análisis de varianza para las variables de fruto de chile habanero, en el primer corte no se encontró significancia estadística, lo que permite inferir que los valores medios de los tratamientos resultaron iguales, aunque posiblemente haya diferencias numéricas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para características de fruto de chile habanero. COT O-I 2023/24. 1er corte.

F. V.	G. L.	Variable		
		PIF	FP	REN
Tratamiento	11	7.6 ^{ns}	142.4 ^{ns}	11.9 ^{ns}
Bloque	3	13.4	77.5	7.3
Error	33	6.9	75.6	6.1

F. V.	G. L.	Variable		
		PIF	FP	REN
C.V.		22.3	72.4	66.2
Media		11.8	12.0	3.7

F.V.: Fuente de variación, G.L.: Grados de libertad, PIF: Peso individual de fruto, FP: Frutos por planta, REN: Rendimiento de fruto y C. V.: Coeficiente de variación. ^{ns}: No significativo.

En el segundo corte el análisis de varianza para las variables de fruto de chile habanero, detectó significancia estadística para el peso individual de fruto y el rendimiento obtenido entre los genotipos evaluados, situación que amerita realizar la comparación de medias y con base en esto detectar aquellos genotipos superiores en cuanto a ambas variables (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para características de fruto de chile habanero. COT O-I 2023/24. 4to corte.

F. V.	G. L.	Variable		
		PIF	FP	REN
Tratamiento	11	2.34*	100.4 ^{ns}	6.25*
Bloque	3	0.25	469.7	20.7
Error	33	0.66	66.0	2.94
C.V.		10.3	45.0	43.7
Media		7.9	18.0	3.9

F.V.: Fuente de variación, G.L.: Grados de libertad, PIF: Peso individual de fruto, FP: Frutos por planta, REN: Rendimiento de fruto y C. V.: Coeficiente de variación. ^{ns}: No significativo. *: Significancia estadística con una probabilidad de $P \leq 0.05$.

En el primer corte se encontró que el peso individual de fruto es superior a los valores que se conocen en el mercado fresco, ya que todos los genotipos superan 8 g de peso, y aun es factible identificar genotipos de muy alta calidad como lo es HAN-6F4 que alcanzó valores de 14.3 g (Figura 1).

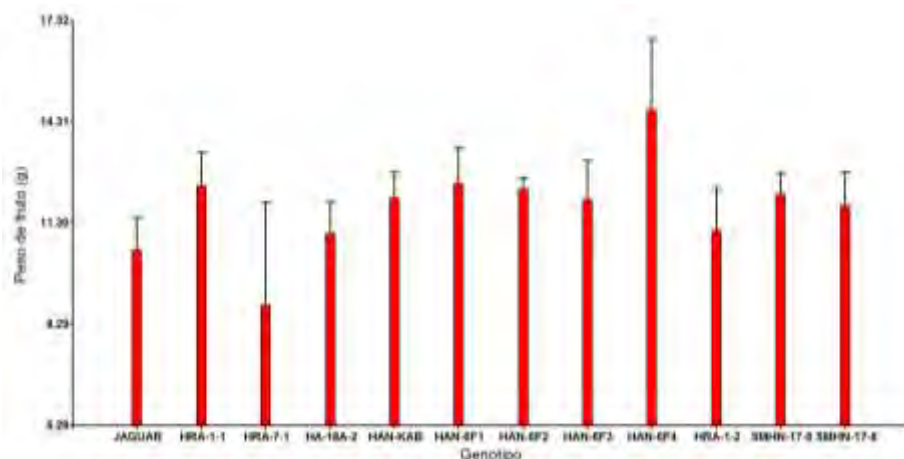


Figura 1. Peso individual de fruto de diferentes genotipos de chile habanero en su primer corte. Campo Experimental Cotaxtla. Ciclo 2023/24.

En relación con la variable número de frutos por planta se encontró que los genotipos HAN-KAB, Jaguar y HAN-6F2 tuvieron la mayor cantidad de frutos por planta en el primer corte; en cambio el HRA-7-1, HRA-1-1 y HA-18A-2 fueron los que menor número de frutos tuvieron (Figura 2)

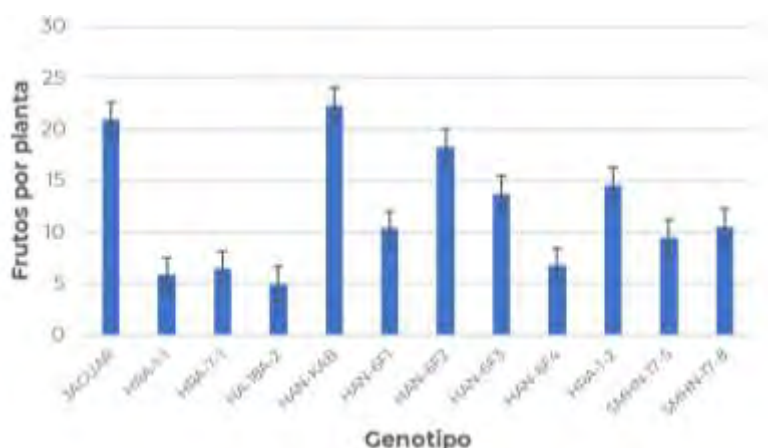


Figura 2. Número de frutos por planta de chile habanero en el primer corte. CECOT 2023/24.

En este primer corte el genotipo de chile habanero HAN-KAB superó numéricamente a todos los demás genotipos evaluados, cuyo valor fue de 6.8 toneladas por hectárea, seguido del genotipo HAN-6F2. El genotipo menos rendidor al primer corte fue HA-18A-2, superado en 5.3

toneladas por el mas rendidor. A pesar de esta diferencia numérica, resultó igual estadísticamente ya que de acuerdo con la prueba de Tukey se tuvo una DMS de 6.1 a una probabilidad de $P \leq 0.05$ (Figura 3).

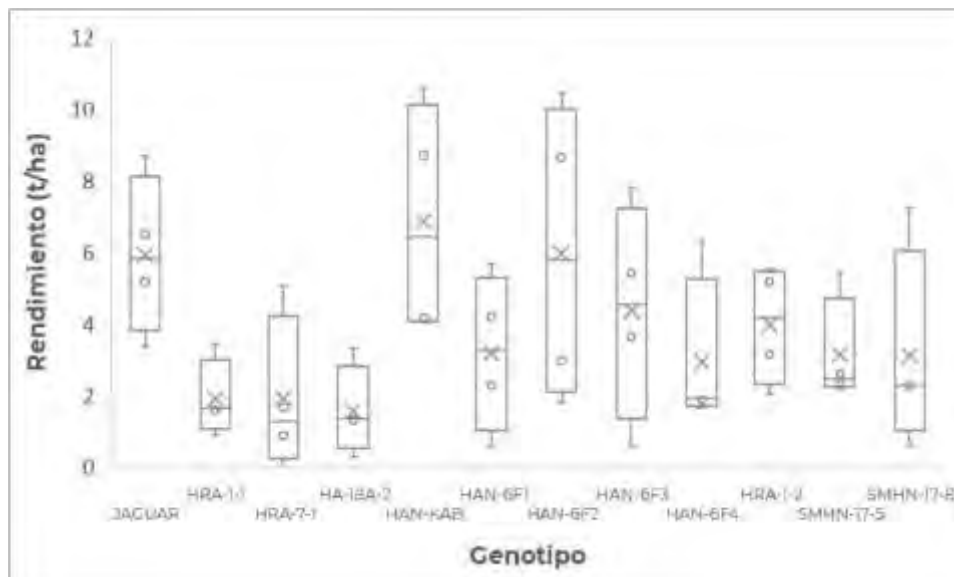


Figura 3. Rendimiento de fruto de chile habanero en el primer corte. CECOT 2023/24.

En el cuarto corte se observa que los valores registrados para los frutos cosechados aún mantienen buena calidad, representada por el peso individual de fruto. En este corte de los doce genotipos que se están evaluando se encontró que nueve de 12 genotipos presentan frutos de alta calidad, considerando que una excelente calidad es producir frutos de al menos 7 g y en este caso es ampliamente superado (Figura 4).

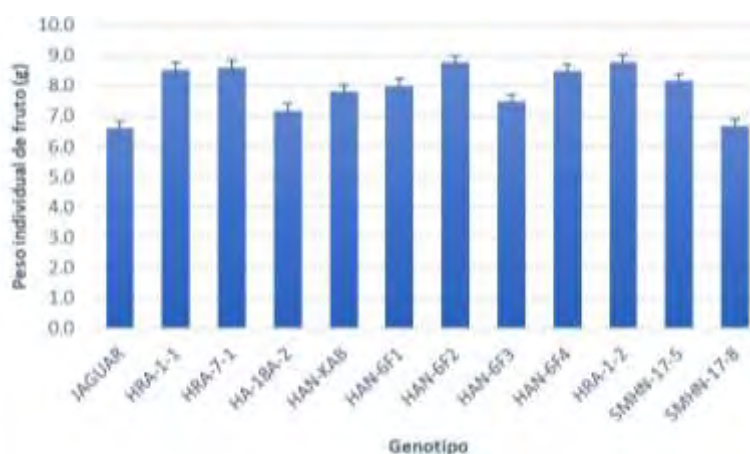


Figura 4. Peso individual de fruto en chile habanero en el cuarto corte. COT 2023/24.

En este último corte en relación con el número de frutos por planta resaltan los genotipos HRA-7-1, HA-18A-2 y HAN-6F1, los cuales registran valores por arriba de 20 frutos, siendo éstos los más productivos (Figura 5).

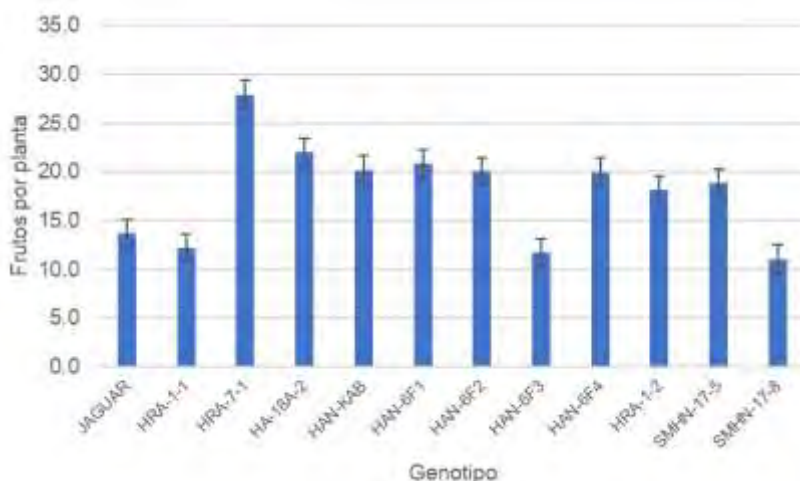


Figura 5. Número de frutos en chile habanero en el cuarto corte. COT 2023/24.

El tener varios genotipos bajo evaluación en condiciones de ambiente protegido (invernadero) en el trópico húmedo ha permitido identificar aquellos prospectos de alto rendimiento de fruto, incluso en este cuarto corte sobresale el genotipo HRA-7-1, el cual al realizar un análisis integral considerando las variables peso individual de fruto y el número de frutos por planta, siempre fue el de mayor valor en las tres variables (Figura 6).

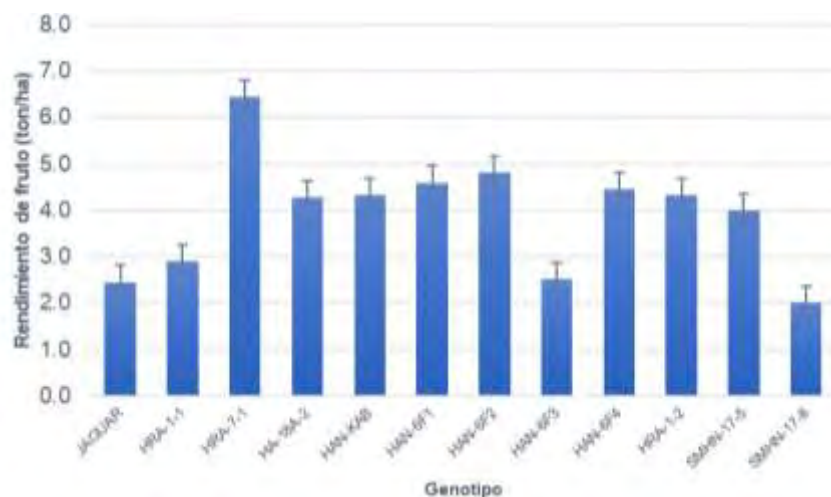


Figura 6. Rendimiento de fruto fresco de chile habanero en el cuarto corte. COT 2023/24.

Lo anterior permite perfilarlo como uno de los materiales sobresalientes para la producción en condiciones de invernadero en el trópico húmedo de México.

Las condiciones climáticas que se generan al interior del ambiente protegido de alguna manera favorece el mejor desarrollo del cultivo, sin embargo, la capacidad genética del material también juega un papel importante que aunado al buen manejo del cultivo puede potenciar ese rendimiento. En el caso que nos ocupa de los 12 genotipos incluidos en la evaluación se registró que existen genotipos que alcanzan rendimientos hasta de 24 toneladas por hectárea, tal como HAN-KAB. Genotipos tales como HAN-6F2 y HAN-6F3 también representan a un grupo de alto potencial de rendimiento (Figura 7).

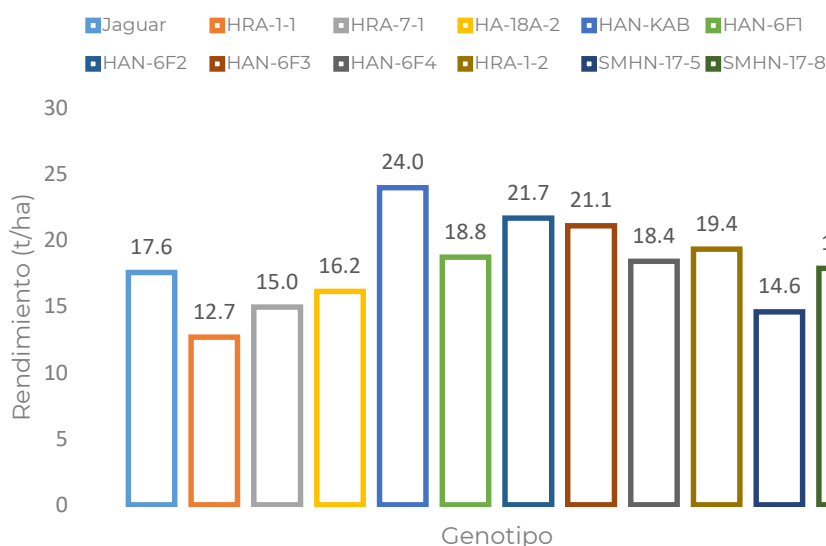


Figura 7. Producción de chile habanero en ambiente protegido (invernadero). COT 2023/24.

Estos resultados de rendimiento encontrados están en consonancia con lo reportado por Ramírez *et al.* (2012) e incluso, cuando se realiza podas complementado con fertilización específica en cada etapa del cultivo mediante riego por goteo se encuentra respuesta en aumento del rendimiento, tal como lo consignan López-Gómez *et al.*, (2020). En ese mismo sentido, resultados reportados por Graillet *et al.*, (2014) señalan que con el uso de reguladores de crecimiento como es el Brassinal® es factible aumentar el rendimiento de fruto por planta de hasta en 362% al pasar de 370.3 a 1339.2 g por planta. Estos genotipos evaluados son

líneas avanzadas por lo que se encontró que valores como el rendimiento por planta, número de frutos por planta y peso individual de fruto son superiores en comparación con lo obtenido por Latournerie-Moreno *et al.* (2018) quienes, al realizar una evaluación agronómica de materiales criollos, a pesar de registrar hasta 59 frutos por planta, estos fueron de un peso que osciló entre 6.8 y 7.1 g, siendo muy inferiores con los reportados en el presente trabajo, ya que en el primer corte un genotipo registró hasta 14 g el peso individual de fruto, incluso en el último corte (cuarto corte) el peso de la mayoría de estos genotipos avanzados superan a lo encontrado por estos autores.

Esta evaluación de la respuesta del rendimiento de genotipos de chile habanero en el trópico húmedo también permitió identificar que HRA-1-1 es de los menos productivos bajo las condiciones de agricultura protegida. Situación que de alguna manera respalda que en el programa de mejoramiento que se está realizando se puedan descartar aquellos materiales de menor adaptación para la región donde se quiera liberar algún material (Figura 7).

Los resultados presentados que corresponden al primer y cuarto corte de fruto de chile habanero también permitieron detectar aquellos materiales más precoces para la producción, situación que se vio reflejada en el cambio observado en el número de frutos por planta, ya que en un inicio hubo genotipos como HRA-7-1, HRA-1-1 y HA-18A-2 que tuvieron menos frutos y para el cuarto corte dos de ellos (HRA-7-1 y HA-18A-2) resultaron ser los que mayor cantidad de fruto produjeron a pesar del avanzado estado de desarrollo del cultivo.

En general, otros autores como Vásquez *et al.* (2023) reportan que la fertilización sustentable es mejor que la tecnología tradicional para la producción de chile habanero en invernadero y se encontró que el genotipo HRA-1-1 mostró un excelente rendimiento tanto con tecnología sustentable como también bajo tecnología tradicional.

Los resultados aquí reportados revisten gran importancia porque un buen número de genotipos avanzados superan en rendimiento a la variedad testigo (Jaguar), siendo que este material se siembra en más de 50% de la superficie cultivada en México (Ramírez *et al.*, 2012; Meneses *et al.*, 2018). Las evidencias anteriores, una vez que alguno o varias de esas líneas se liberen comercialmente, permitirán en el corto plazo generar competencia en el mercado y aumentar las opciones para los productores.

Conclusiones

1. El genotipo de mayor rendimiento fue HAN-KAB que alcanzó 24 toneladas por hectárea en cuatro cortes realizados al cultivo. Se detectaron otros genotipos tales como HAN-6F2 y HAN-6F3 que también se consideran de alto potencial de rendimiento, ya que superan las 21 toneladas de producción. 2. Los genotipos HRA-7-1 y HA-18A-2 empiezan más retrasado su producción de frutos, no obstante, estos incrementan el número de frutos por planta conforme se avanza en el número de cortes. 3. Los genotipos HAN-6F1 y HRA-1-1 mantienen la calidad del fruto a través de todos los cortes, no obstante que en el primer corte el peso de fruto alcanza valores superiores a los 14 g, correspondiente al HAN-6F4. La mayoría de genotipos bajo condiciones de ambiente protegido supera las expectativas de calidad de fruto, ya que supera en todos los cortes los 7 g de peso individual de fruto.

Literatura citada

- Díaz, P. G., M. F. Cortina C. y L. Rodríguez P. 2001. Estudio de las potencialidades productivas para el uso del suelo del estado de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Fundación PRODUCE-Veracruz. Xalapa, Ver., México. 132 p.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) 2019. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> [consultado el 11 de mayo de 2021].
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Koppen para adaptarlos a las condiciones de la república mexicana. 4ª edición. UNAM. México, D. F. 110 p.

- González, E. T., C. Casanova Ch., L. Gutiérrez P., L. Torres T., F. Contreras M. y S. Peraza S. 2010. Chiles cultivados en Yucatán. p. 342-344. *In*: Durán, R. y M. Méndez (ed.) *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Yucatán, México.
- Graillet, J. E. M., J. A. Hernández H., L. C. Alvarado G. y A. Retureta A. 2014. Evaluación de cuatro reguladores de crecimiento en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Acayucan, Veracruz, México. *Rev. Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(4): 748-755.
- Jaimez R. E. and F. Rada. 2016. Gas exchange, growth, flowering and fruit production in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) along a thermal gradient determined by altitudinal differences in a tropical region. *Exp. Agric.* 52: 251-265.
- Jeeatid, N., S. Techawongtien, P. Suwor, S. Chanthai, P. W. Bosland and S. Techawongstien. 2018. Responses of hot peeper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars to different container sizes for capsinoid production under controlled house conditions. *J. Breed. Genet.* 50(4): 510-522.
- Latournerie, L., J. L. Chávez, M. Pérez, G. Castañón, S. A. Rodríguez, L. M. Arias, *et al.* 2002. *In situ* Assessment of peppers morphological diversity (*Capsicum annuum* L. and *Capsicum chinense* Jacq.) in Yaxcabá, Yucatán. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1): 25-33.
- Latournerie-Moreno, L., J. S. López-Vásquez, G. Castañón-Najera, J. O. Miganjos-Cortes, G. Espadas-Villamil, A. Pérez-Gutiérrez y E. Ruíz-Sánchez. 2018. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agro Productividad* 8(1): 24-29.
- López-Gómez, J. D. H. Sotelo N., O. G. Villegas-Torres y M. Andrade R. 2020. Rendimiento y calidad de chile habanero en respuesta a la poda de conducción y régimen nutrimental. *REMEXCA* 11(2): 315-325.

- Meneses, L. R. E., R. Garruña H., L. Latournieri M., J. L. Andrade T. y A. Pérez G. 2018. Caracterización fenológica y fisiológica de variedades de chile habanero con alto potencial agronómico. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(1): 67-74.
- Milla, A. 2006. *Capsicum* de capsas, cápsulas el pimiento. p. 21-31. *In:* Chávez-Servia, J. L., J. Tuxill y D. I. Jarvis (ed.). *Pimientos, Compendios de Horticultura*. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos. Cali, Colombia.
- Morán, B. S. H., B. M. Ribero, F. Y. García y V. P. Ramírez. 2004. Patrones isoenzimáticos de chiles criollos (*Capsicum annuum* L.) de Yucatán, México. p. 83-89. *In:* Chávez-Servia, J. L., J. Tuxill y D.I. Jarvis (ed). Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos. Cali, Colombia.
- Ramírez, M. M., G. Arcos C., H. Mata V. y E. Vázquez G. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Folleto Técnico. No. 28. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Las Huastecas. Tampico, Tam., México. 35 p.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT user's guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SIAP. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Gobierno de México. México.
- Vásquez, H. A., H. Cabrera M., A. Duran P., I. Meneses M. y A. Andrés G. 2023. Evaluación de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivado en invernadero con tecnología sustentable. *In:* López V. M. E., O. H. Tosquy V., N. Peralta A., R. L. Rebolledo G. y Á. Capetillo B. *Ciencia y tecnología para un campo sustentable y productivo*. Veracruz, México. 2561 p.
- Zhang, X. M., Z. H. Zhang, X. Z. Gu, S. L. Mao, X. X. Li, J. Chadoeuf y B. X. Zhang. 2016. Genetic diversity of pepper (*Capsicum* spp.) germplasm resources in China reflects selection for cultivar types and spatial distribution. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(9): 1991-2001.

PRODUCCIÓN DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) VARIEDAD POINSETT CON ABONO ORGÁNICO TIPO COMPOST

Gloria Esperanza De Dios León¹⁷², Armando Guerrero Peña^{173*}, José Alexis García Estrada¹⁷²,
Yaqueline Antonia Gheno Heredia¹⁷², Agustín Herrera Solano¹⁷², María Alva Ángel Lara¹⁷²
y Norma Ana Belí Coria Gil¹⁷²

Resumen

El pepino (*Cucumis sativus*) es una hortaliza que tiene un elevado consumo a nivel mundial; sirve de alimento tanto en fresco como industrializado y es uno de los cultivos hortícolas más populares para su producción en condiciones protegidas y campo abierto. En el 2020, en la república mexicana obtuvo una producción de pepino de 247,712 toneladas, con rendimiento de 44.780 t/ha, en 5,532 ha cosechadas en condiciones de riego más temporal y ciclo primavera-verano. Para la producción de hortalizas, por años se han usado grandes cantidades de fertilizantes químicos; sin embargo, debido a un manejo ineficiente, estos causan daños a los ecosistemas en general, y efecto residual en el suelo y agua, entre otros. El enfoque actual, es el del uso de abonos orgánicos ya sean sólidos o líquidos en sustitución de los fertilizantes minerales que, si bien son de lenta liberación, a mediano y largo plazo mejoran las características físicas y químicas de los suelos. El objetivo de la investigación fue conocer el comportamiento agronómico del pepino variedad Poinsett con fertilización orgánica, en condiciones de campo y cielo abierto; así como establecer modelos de regresión lineal entre las variables evaluadas y calificar los modelos con el coeficiente de determinación (R^2). No se logró demostrar diferencias significativas, aunque sí, numéricamente. Los mayores valores de peso, longitud, diámetro, producción y rendimiento en fresco del fruto se observaron en el tratamiento con dosis alta de composta con 238.7 g, 17.11 cm, 3.57 cm, 4.07 kg y 2265.4 kg/ha, respectivamente. Se puede concluir que el abono tipo compost mostró un efecto positivo en variables evaluadas y en términos generales, numéricamente el tratamiento tres (dosis alta de abono) mostró el mejor comportamiento. Se generaron ecuaciones de regresión para predecir el diámetro y longitud del pepino con el peso del fruto.

Palabras clave: peso de pepino, diámetro de pepino, longitud de pepino, rendimiento en fresco del fruto

¹⁷² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana.

¹⁷³ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. *Autor de correspondencia: garmando@colpos.mx

Introducción

El pepino es una hortaliza de gran demanda, debido a que sirve de alimento tanto en fresco como industrializado; además, es uno de los cultivos hortícolas más populares a nivel mundial para producirlo en condiciones protegidas y a campo abierto (Lira-Saldívar *et al.*, 2013). La Federación Rusa ocupa el primer lugar en producción de pepino con aproximadamente 1,200,000 t, Ucrania ocupa el segundo lugar con 960,000 t y España es el tercer país productor con aproximadamente 720,000 t; México se posiciona en el 15° lugar con 425,433 t (InfoAgro, 2010). En México, la superficie cultivada con esta hortaliza varía entre 7000 y 8000 ha al año, aunque, la producción y exportación aumentan en algunos años. En 2020, en la República Mexicana se obtuvo una producción de 247,712 t, con rendimiento de 44.780 t/ha, en 5,532 ha cosechadas en condiciones de riego más temporal y ciclo primavera-verano; casi 60% de la producción se concentró en tres entidades: Sinaloa, Sonora y Michoacán y de acuerdo con el SIAP (2023), en México, el pepino es uno de los productos agroalimentarios más exportados; el 72.3% tuvo como destino principal los Estados Unidos de América

Actualmente está tomando auge la producción de hortalizas mediante el uso de abonos orgánicos en sustitución o complemento de los fertilizantes químicos, considerando la importancia de un mayor cuidado al ambiente. En la República Mexicana, en diversos sistemas de producción agrícolas, se manejan los cultivos bajo el enfoque agroecológico; a la fecha, México es el cuarto productor de alimentos orgánicos en el mundo, destinándose aproximadamente un millón de hectáreas exclusivamente para la siembra de especies agrícolas, donde Oaxaca, Chiapas, Michoacán, Chihuahua y Nuevo León son líderes en superficie destinada a esta actividad, siendo en los tres primeros estados en conjunto donde se concentran el 50% de estas tierras (PROFECO, 2020).

Debido a su bajo costo, la facilidad para su elaboración y su alto contenido en nutrientes, la composta o compost es uno de los abonos orgánicos que más se utiliza; esta se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición. Los microorganismos que realizan la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente bajo condiciones controladas de temperatura, humedad específica y en presencia de oxígeno. Por acción de los

microorganismos se produce materia orgánica, de gran utilidad para los suelos agrícolas, ya que, mejora su estructura y fertilidad (SAGARPA, 2013).

El compost contribuye en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos, aportando múltiples beneficios como, mejoramiento de la estructura y salud del suelo, es rico en materia orgánica, además de ser una fuente de nutrientes para las plantas, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Además, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (FAO, 2015) y ante el alza de precios de los fertilizantes en los últimos tiempos, se considera el compost como una alternativa económica para fertilizar todo tipo de cultivos, por lo que, se necesita hacer pruebas en los cultivos para comprobar el beneficio respecto a la producción y mejora de los suelos, principalmente. El objetivo de la investigación fue conocer las características agronómicas en el pepino variedad Poinsett con fertilización orgánica, en condiciones de campo y cielo abierto.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se estableció en el huerto universitario de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana de la Región Córdoba-Orizaba, localizada en la Congregación de Peñuela, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México; el huerto forma parte de la UMA-Universitaria SEMARNAT-UMA-IN-VIV-0290-VER/19 instalada en 2019. Las coordenadas geográficas del sitio son: 18° 51' 39.42" de Latitud Norte y 96° 54' 10.52" de Longitud Oeste y con altitud de 746 m. El clima de la zona es clasificado como semicálido-húmedo (A)c(m) y (A)c(m)(f) con abundantes lluvias en verano de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (2004); la temperatura media es de 21.5 a 22°C y la precipitación media anual es entre 1200 y 1500 mm. La unidad predominante de suelo es la de Vertisol crómico, y el uso del suelo es agrícola.

Especie evaluada y periodo de evaluación

Se evaluó el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Poinsett en condiciones de cielo abierto. Las semillas se obtuvieron de una casa certificadora y se sembró de manera directa

en las camas con distancia de 30 cm entre plantas y 60 cm entre líneas. El trabajo consideró desde limpieza del área, iniciando en enero de 2023, realizándose la siembra de semilla el 25 de febrero y terminando toda la evaluación para finales de mayo del mismo año.

Preparación de las camas

Se preparó el área experimental con un barbecho utilizando herramientas manuales; la superficie total utilizada se dividió en nueve camas las cuales se prepararon a doble excavación para mejorar la estructura del suelo, dejando un espacio de 60 cm entre las camas y el tamaño de cada una fue de 2.60 m de largo por 1.20 m de ancho (3.12 m²). Antes de la siembra se realizó una aplicación de 3 kg de cal agrícola a cada una de las camas con el objetivo de maximizar la asimilación de nutrientes, corregir el pH, mejorar característica físicas y biológicas del suelo, aportar calcio y potasio, disminuir la toxicidad del aluminio, generar un mayor rendimiento y controlar problemas de algún agente patológico para las hortalizas por servir como desinfectante del suelo, entre otras (SOPROCAL, 2022).

Tutoreo

Esta práctica ayuda a guiar el crecimiento vertical de la planta de pepino hacia arriba para que el fruto no se quede en el suelo; las principales ventajas son: evitar que la planta sea pisada y el contagio de enfermedades e incrementar la captación la luz solar; el tutoreo se realizó a los 35 días después de la siembra usando alambre de acero como tutor e hilo tipo rafia para amarrar las plantas del tutor.

Control de plagas y enfermedades

Se presentó incidencia de pulgones (*Aphididae*) los cuales se controlaron con un insecticida elaborado con vinagre de manzana y jabón comercial neutro; su aplicación se realizó en todas las plantas el 21 de abril de 2023. A partir de abril 17 de abril, se presentó en el envés de las hojas el hongo mildiú o cenicilla y se obtuvo un alto porcentaje de control con el mismo producto que se utilizó para controlar los pulgones. El riego se realizó de manera manual de acuerdo con el requerimiento de la planta, cuidando que no hubiese exceso de humedad para evitar una mayor incidencia de hongos.

Control de arvenses

Para evitar el crecimiento excesivo de las arvenses y evitar la competencia con el pepino, cada semana se eliminaron las arvenses de las camas, pasillos y orillas del experimento con azadón.

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño completamente al azar unifactorial (abono orgánico); la unidad experimental consistió en una línea con área total de 1.98 m² de la cual, después de eliminar el efecto de borde, quedó una parcela útil de 1.8 m². Dentro de cada cama quedaron establecidas dos líneas de plantas (11 plantas cada línea) con separación de 60 cm entre ellas y la distancia de siembra entre plantas fue de 30 cm. El total de unidades experimentales fueron 18, considerando tres tratamientos con seis repeticiones cada uno.

Tratamientos

Se evaluó un abono orgánico sólido tipo compost preparado con cachaza, cacahuatillo (*Arachis pinto*) y residuos (micelio) de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Se evaluaron tres tratamientos con seis repeticiones cada uno: T1. Testigo sin abono orgánico sólido tipo compost, T2. Dosis normal de abono orgánico sólido tipo compost (3.6 t/ha) y T3. Dosis alta del abono orgánico tipo compost (7.2 t/ha). Para el T2, se aplicaron 120 g/planta y para el T3, 240 g/planta; se realizaron tres aplicaciones en las plantas correspondientes a los T2 y T3 con intervalo de 15 días, comenzando el 18 de marzo de 2023, cuando las plántulas estuvieron bien establecidas. La aplicación se realizó en la base de cada planta haciendo una ligera excavación y tapándolo, garantizando que el suelo estuviera húmedo.

Cosecha

Se realizaron tres cortes de frutos a los 65, 72 y 86 días después de la siembra, cuidando que éstos se encontraran en madurez fisiológica.

Variables evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables: 1. Peso de fruto. Se pesaron todos los pepinos obtenidos en las tres cosechas utilizándose una báscula digital graduada en kilogramos con sensibilidad de centésimas de gramos, 2. Longitud de frutos. Se midieron todos los pepinos obtenidos en

las tres cosechas mediante el uso de una regla graduada en cm, 3. Diámetro de fruto. Se midieron todos los pepinos obtenidos en las tres cosechas y se utilizó un vernier. La producción por parcela se realizó pesando solo el fruto en fresco en una báscula calibrada en kg dentro de cada muestreo para sumarse al final (11 plantas en 1.8 m²) y para obtener el rendimiento de fruto fresco el resultado de producción total en fresco se extrapoló a kilogramos y a hectáreas, considerando las conversiones correspondientes.

Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó con el programa estadístico R Commander® versión R x64 4.0.5. Los supuestos de normalidad se verificaron con el estadístico de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) y homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett para confirmar el uso de estadística paramétrica. Se propuso establecer modelos de regresión lineal entre las variables evaluadas y calificar los modelos con el coeficiente de determinación (R^2), para ello se utilizó el paquete de Microsoft Excel.

Resultados y discusión

No se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables agronómicas evaluadas, por lo que, no fue necesario realizar la comparación de medias. Sin embargo, numéricamente sobresalen algunos resultados respecto a los tratamientos. En el Cuadro 1, se observa que el mayor peso del pepino se obtuvo con el tratamiento con la dosis alta del abono orgánico, representando un 17.3% de incremento respecto al testigo, en el cual se obtuvo el menor peso; este efecto pudo deberse a los aportes de nutrientes al suelo de los abonos orgánicos, que después de su mineralización, las plantas lo pueden asimilar de mejor manera, lo que favorece un óptimo desarrollo de los cultivos, lo cual, se manifestó en variables agronómicas.

Cuadro 1. Variables agronómicas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Poinsett con abono orgánico.

Tratamiento	Peso pepino (g)	Longitud (cm)	Diámetro de fruto (cm)
1. Testigo	197.3 a	15.73 a	3.42 a
2. Dosis normal	215.6 a	15.95 a	3.43 a
3. Dosis alta	238.7 a	17.11 a	3.57 a
EE±	9.74	0.27	0.59

^aMedias con la misma letra dentro de cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$). EE±= Error estándar.

Los resultados de la presente investigación son similares con lo reportado por Reyes *et al.* (2017), quienes evaluaron esta especie y no demostraron diferencias significativas en el peso del fruto en dos cosechas (60 y 65 días), con promedios de 248.43 y 332.67 g para los tratamientos con humus de lombriz y el control, respectivamente a los 60 días, y de 271.29 y 232.17 g, respectivamente para los dos tratamientos a los 65 días. Los resultados de la presente investigación coinciden con lo observado por Diédhiou (2017), quien evaluando diferentes abonos orgánicos y uno químico, no encontró diferencia significativa entre el compost y el fertilizante mineral en el peso del pepino, con resultados de 415.1 y 396.28 g, respectivamente.

En longitud del fruto (Cuadro 1), también sobresale el T3 con un promedio de 17.11 cm; con estos resultados se comprueba el efecto positivo de la aplicación de estos abonos al contribuir en elementos nutritivos para el desarrollo del fruto. Reyes *et al.* (2017) no observaron diferencia significativa en esta variable, en el fruto cosechado a los 60 días, incluso numéricamente la mayor longitud se encontró en el tratamiento testigo (20.31 cm) comparado con el tratamiento con humus de lombriz (18.21 cm); caso contrario se observó cosechando a los 65 días, con humus de lombriz se obtuvo 16.99 cm comparado con el control con 14.46 cm. El comportamiento es similar al reportado por Rodríguez-Fernández y Girón-Acosta (2021) los cuales muestran valores en longitud de 26.48 y 21.74 cm, respectivamente para tratamientos de lixiviado con humus de lombriz y un testigo; estos valores son superiores a los del presente estudio; sin embargo, los autores no mencionan la edad del fruto, a lo que puede atribuirse la mayor longitud. Law-Ogbomo y Osaigbovo (2018) no observaron diferencia significativa en

esta variable evaluando un testigo y compostas a base de estiércol de bovino y de aves, usando dosis de 5 y 10 t/ha, los resultados obtenidos de longitud fueron 14.75, 16.79 y 16.53 cm, respectivamente para el testigo y los dos niveles de compostas, aunque, numéricamente el testigo resultó con el promedio menor y se observa que estos resultados son similares a los obtenidos en la presente evaluación.

Aunque estadísticamente no se encontró diferencia significativa, numéricamente el mayor diámetro del fruto se observó también con el T3 (Cuadro 1); sin embargo, este valor es muy cercano a los obtenidos con los otros dos tratamientos. Reyes *et al.* (2017) cuando evaluaron pepino, informaron un diámetro promedio de 5.38 cm con humus de lombriz y 4.48 cm en el tratamiento testigo, cosechado a los 50 días; estos resultados son superiores a los obtenidos en el presente estudio; los autores atribuyen sus resultados al aporte que se ha mencionado anteriormente del humus de lombriz y del jacinto de agua o lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). La mineralización de las compostas depende de su composición (y esta del material con el cual se preparó) razón por la cual, el suministro de nutrientes como se diferencia entre abonos; siendo esta la causa de favorecer desarrollos diferenciados en el diámetro del fruto de los frutos (Reyes *et al.*, 2017). En la evaluación de tres abonos orgánicos en este cultivo, Calle (2017) no encontró diferencia significativa entre los tratamientos y muestra un promedio de 5.32 cm, el cual es superior al del presente estudio, posiblemente debido a que no especifican la fecha de corte y pudo ser posterior a la de este experimento; además, los abonos fueron adquiridos en casas comerciales lo que asegura un aprovechamiento más rápido comparado a los que se elaboran de forma tradicional.

El Cuadro 2 muestra la producción total de pepino (tres cosechas) por unidad experimental (1.8 m²), variable en la cual tampoco se demostró diferencia significativa; sin embargo, numéricamente se observa que la mayor producción se obtuvo con el tratamiento al cual se le aplicó la dosis alta de la composta con 3.7 kg, comparándose con el tratamiento control el cual observó la menor producción (2.5 kg).

Cuadro 2. Producción por parcela experimental y rendimiento en pepino variedad Poinsett manejado con abono orgánico.

Tratamiento	Producción de pepino por parcela (kg)	Rendimiento en fresco del fruto (kg/ha)
1. Testigo	2.87 ^a	1592.0 ^a
2. Dosis normal	3.85 ^a	2141.3 ^a
3. Dosis alta	4.07 ^a	2265.4 ^a
EE±	0.32	184.0

^aMedias con la misma letra dentro de cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$). EE±= Error estándar.

Esta variable es difícil de comparar con otros autores al no coincidir el tamaño de la parcela experimental; sin embargo, puede compararse el rendimiento, variable en la que tampoco se observó diferencia significativa, pero numéricamente el menor rendimiento se observó en el tratamiento testigo, seguido del tratamiento de dosis normal y el mayor rendimiento se observó en el tratamiento de la dosis alta del abono.

En la variable rendimiento, los resultados de la presente investigación coinciden con los obtenidos por Rosas y Bautista (2022) quienes en evaluación de rábano variedad Champions y Lechuga Orejona y tampoco no encontraron diferencias significativas en producción y rendimiento de las dos hortalizas utilizando tratamiento testigo, un abono sólido tipo compost y un abono líquido tipo biol; sin embargo, numéricamente el abono sólido mostró los mejores resultados. Estadística y numéricamente, los resultados del presente estudio coinciden con los de Reyes *et al.* (2017) quienes al evaluar pepino con humus de lombriz y un tratamiento testigo, no encontraron diferencia significativa en el rendimiento total el cual fue de 1380 y 1300 kg/ha, respectivamente. Contreras-Cauich *et al.* (2022) reportan rendimientos promedio en tratamientos testigo y con fertilización orgánica de 8.81 y 22.54 t/ha, respectivamente, claramente estos resultados son muy superiores a los del presente experimento, lo que se atribuye a que el abono orgánico contenía ácidos húmicos y microorganismos como humecto y nutro azomic elaborados por Megainsumos alternativos y tecnologías.

El coeficiente de determinación (R^2) indica la cantidad proporcional de variación en la variable de respuesta (y), explicada según las variables independientes (x) en el modelo de regresión

lineal; cuanto más cercana a la unidad absoluta sea el valor de R^2 , mayor será la variabilidad explicada por el modelo de regresión lineal. La ecuación obtenida es usada para predecir resultados de la variable dependiente longitud de fruto la cual resultó ser $Y = 0.026x + 10.621$ y la R^2 fue de 0.8868 lo que se califica como correlación buena entre ésta y el peso del pepino. Por ejemplo, en la ecuación se pueden predecir valores de la longitud del pepino (variable dependiente) sustituyendo cualquier valor (x) de peso del fruto (variable independiente). Como el R^2 mide qué parte de la variación de una variable viene explicada, es decir, se puede predecir, por la variación de la otra, en este caso, el valor de 0.8868 significa que el 88.68% en la variable dependiente es predicha por la variable independiente (Figura 1).

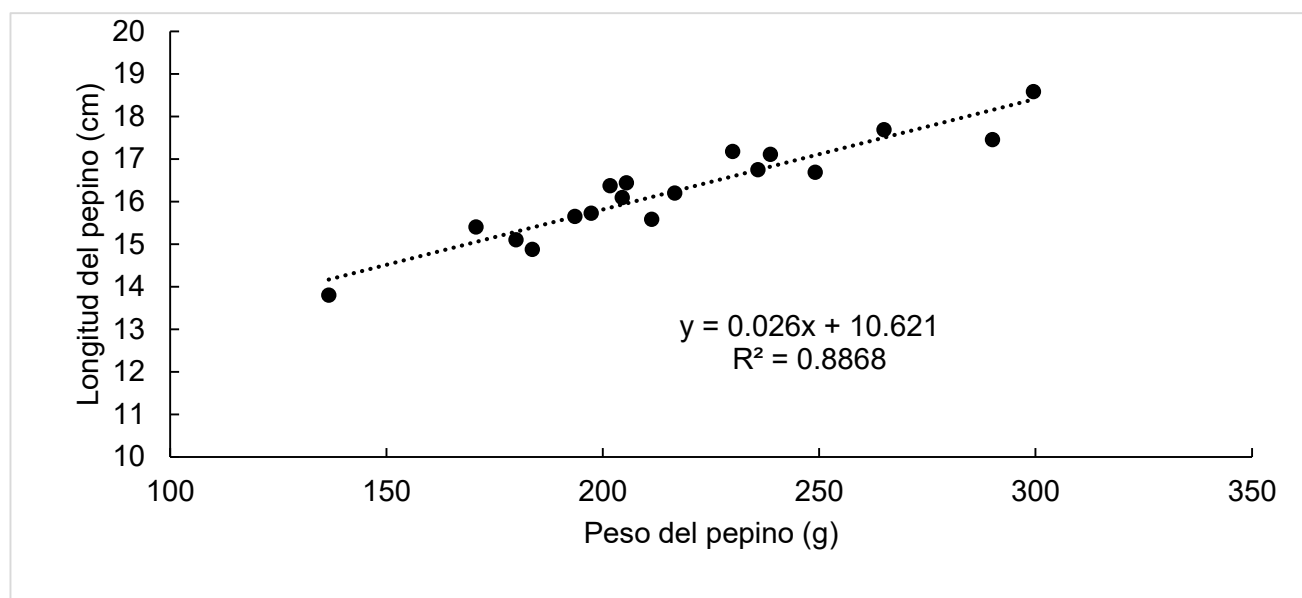


Figura 1. Ecuación de la recta con regresión lineal y el coeficiente de determinación entre las variables longitud y peso del pepino.

Con el análisis de regresión lineal del diámetro y peso fruto se obtuvo como ecuación de la recta $Y = 0.0054x + 2.2986$ y la R^2 de 0.8066 lo que se califica como correlación regular entre diámetro y peso del fruto siendo también una relación directamente proporcional entre las dos variables (Figura 2). Con la ecuación de la recta se pueden predecir valores del diámetro del pepino (variable dependiente) sustituyendo cualquier valor (x) en el peso del fruto (variable independiente). El R^2 mide qué parte de la variación de una variable viene explicada, es decir, se puede predecir, por la variación de la otra, en este caso, el valor de 0.8066 significa que el

80.66% en la variable dependiente es predicha por la variable independiente y además es un valor confiable para considerar una excelente estimación del modelo.

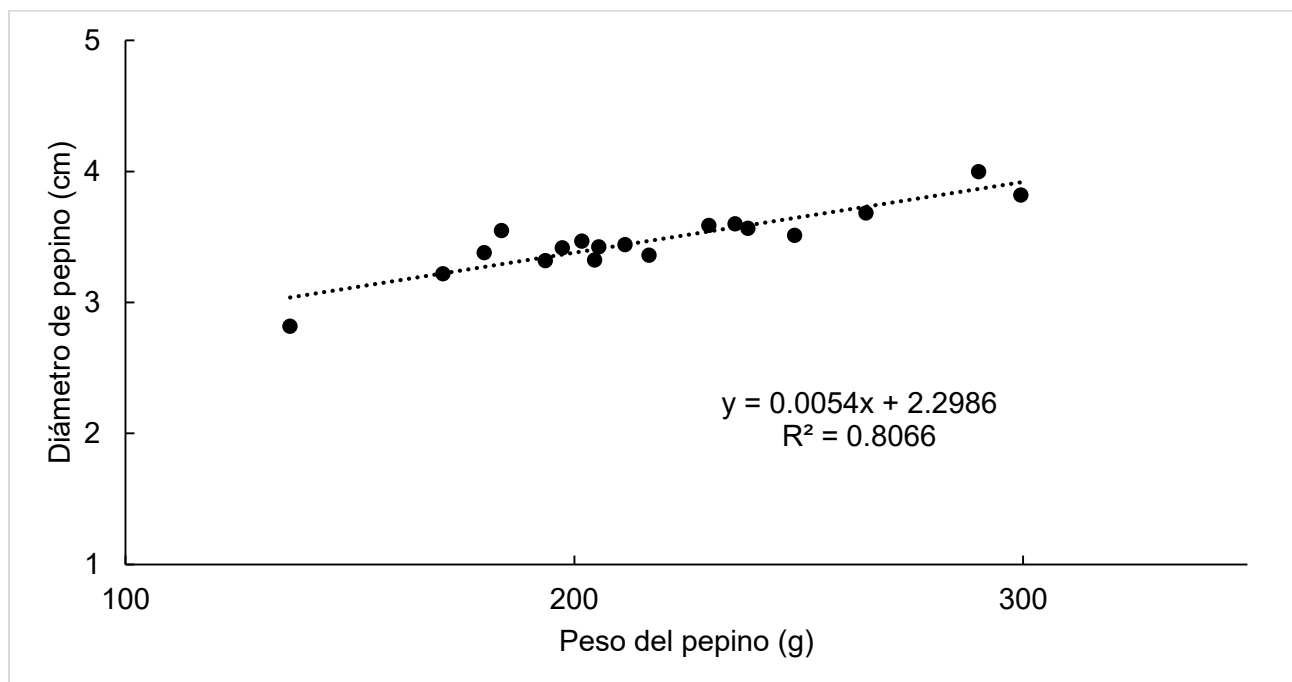


Figura 2. Ecuación de la recta con regresión lineal y el coeficiente de determinación entre las variables diámetro y longitud del fruto.

Con los modelos obtenidos se reduce el trabajo para estimar los rendimientos al momento de cosecha.

Conclusiones

Se evaluó el comportamiento agronómico del pepino variedad Poinsett fertilizado con abono orgánico, pero no se logró demostrar diferencias significativas, aunque sí, numéricamente. Los mayores valores, de peso, longitud, diámetro, producción y rendimiento en fresco del fruto se observaron en el tratamiento con dosis alta de composta con 238.7 g, 17.11 cm, 3.57 cm, 4.07 kg y 2265.4 kg/ha, respectivamente. Lo cual indica que el pepino presentó una respuesta positiva a la composta. Adicionalmente se generaron ecuaciones de regresión con valores de

R^2 cercanos a la unidad con las cuales se pueden predecir el diámetro y longitud del pepino con el peso del fruto, lo que reduce el trabajo para estimar los rendimientos al momento de cosecha.

Literatura citada

- Calle, S. R. R. 2017. Evaluación agronómica del pepinillo (*Cucumis sativus* L.) híbrido Diamante, cultivado aplicando diferentes abonos orgánicos comerciales en el Cantón Cumandá, Provincia de Chimborazo. Proyecto de Investigación de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ambato, Ecuador. 60 p.
- Contreras-Cauich, M. F., G. López-Tolentino, F. Rojas-Serrano, G. A. Muñoz-Osorio, E. E. Marín-Collí, E. Castillo-López *et al.* 2022. Eficacia de la fertilización orgánica en el desarrollo del pepino (*Cucumis sativus*) en campo abierto. RIIIT 10(56):57-64.
- Diédhiou, I. 2017. Respuesta del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a la aplicación de abonos orgánicos en diferentes sistemas de producción. Tesis de Postgrado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Soledad de Graciano Sánchez, S, L, P., México. 100 p.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Compostaje: Vamos a devolver algo al suelo. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/#:~:text=El%20compostaje%20es%20el%20proceso,los%20microorganismos%2C%20en%20condiciones%20controladas>. [consultado el 08 de junio de 2022].
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5ª ed. Serie Libros Núm. 6. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D.F. 90 p.

- InfoAgro. 2010. El cultivo del pepino (Parte I). Guía práctica para la producción profesional e intensiva del pepino, hortaliza de la familia de las cucurbitáceas. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pepino__parte_i_.asp [consultado el 10 de marzo de 2022].
- Law-Ogbomo, K. E. and A.U. Osaigbovo. 2018. Productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and postharvest soil chemical properties in response to organic fertilizer types and rates in an ultisols. Trop. Subtrop. Agroecosystems 21:513-520.
- Lira-Saldívar, R. H., E. Vázquez-Santiago, L. A. Valdez-Aguilar, A. Cárdenas-Flores, L. Ibarra-Jiménez y M. Hernández-Suárez. 2013. Producción orgánica de pepino (*Cucumis sativus* L.) en casasombra con biofertilizantes y acolchado plástico. Agricultura Sostenible 9:802-815.
- PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor). 2020. Alimentos Orgánicos. <https://www.gob.mx/profeco/documentos/alimentos-organicos?state=published> [consultado el 15 de junio de 2023].
- Reyes, P. J. J., R. A Luna M., M. del R. Reyes B., Á. J. Yépez, R., F. Abasolo P., K. A. Espinosa C. *et al.* 2017. Uso del humus de lombriz y jacinto de agua sobre el crecimiento y desarrollo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Biotecnia 19(2):30-35.
- Rodríguez-Fernández, P. y J. Girón-Acosta. 2021. Producción ecológica de pepino (*Cucumis sativus* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III Frente. Ciencia en su PC 1(2):71-81.
- Rosas, R. S. y E. I. Bautista A. 2022. Efecto de abonos orgánicos en la producción de Rábano (*Raphanus sativus* L.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.) a cielo abierto. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Amatlán de los Reyes, Ver., México. 101 p.

Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4):591.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. ¿Qué es la composta? Gobierno de México. <https://www.gob.mx/eprn/articulos/que-es-la-composta> [consultado el 6 de marzo de 2023].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2023). Acciones y Programas. Resumen por estado. Avance de Siembras y Cosechas. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [consultado el 8 de agosto de 2023].

SOPROCAL. 2022. Guía de uso cal agrícola. Punto Ganadero. https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cdc5dda3aa85.pdf [consultado el 20 de abril de 2022].

DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ NATIVO EN LA REGIÓN INTERMEDIA DEL ESTADO DE VERACRUZ

Mauro Sierra Macías^{174*}, Clara Ríos Isidro¹⁷⁴, Ana Isabel Marín Andrade¹⁷⁵, Pedro Díaz Reyes¹⁷⁶, Roberto Ojeda Castro¹⁷⁷, Idelfonso Trejo Flores¹⁷⁵, Héctor Chalate Molina¹⁷⁵, Michelle Fierro López¹⁷⁴ y Juan Manuel Hernández Casillas¹⁷⁸

Resumen

El Maíz Nativo, en la región intermedia del estado de Veracruz, se siembra en suelos de origen Volcánico, andosoles, con topografía accidentada y fuertes problemas de acidez; el clima es frío y con alta nubosidad durante la mayor parte del año y donde los productores son caracterizados de alta marginación. Con los objetivos de conocer la diversidad del maíz nativo y mejorar las capacidades de producción y conservación en la Región intermedia del estado de Veracruz, durante 2022 al 2024 se colectaron, caracterizaron y se hizo la identificación racial en 64 muestras de maíz. Se llevó a cabo el proceso de selección de la semilla en planta y mazorca. En la región de Coscomatepec, se colectaron 22 muestras de Maíz Nativo en las comunidades de Zacatla y El Mirador; para la región de Ixhuacán de los Reyes, Ver., se obtuvieron 42 muestras de maíz Nativo, principalmente en las comunidades de Cerro Boludo y Los Rodríguez y en comunidades aledañas en el municipio de Ayahualulco, Ver. En el proceso de selección en planta se utilizaron criterios de altura de mazorca baja, sanidad, vigor y carga de mazorca; y a la cosecha, seleccionando mazorcas de buen tamaño, sanas, pero, sobre todo, mazorcas completas, este último criterio, es una forma indirecta de seleccionar maíz nativo con tolerancia a los suelos ácidos y a la sequía. En la identificación racial, se encontraron 27 muestras de la Raza Coscomatepec, 6 Elotes cónicos, 5 de la raza Chalqueño; 4 muestras identificadas dentro de la Raza Celaya, 4 muestras de la Raza Arrocillo amarillo, 3 de la raza Cónico, 1 Mushito, 1 de la raza Pepitilla y 1 a la raza Ratón; asimismo, mezclas de razas: 1 Cónico-Arocillo amarillo, 2 Mushito-Coscomatepec, 2 Coscomatepec- Cónico, 2 Coscomatepec-Celaya, 2 Coscomatepec-Mushito, 2 Celaya-Coscomatepec, 1 Pepitilla-Celaya, 1 Coscomatepec-Pepitilla y 1 Coscomatepec-Olotillo.

Palabras clave: caracterización, identificación racial, variación, *Zea mays* L.

¹⁷⁴ Programa de Maíz Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
*sierra.mauro@inifap.gob.mx

¹⁷⁵ Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

¹⁷⁶ CADER Huatusco, Distrito de Desarrollo Rural de Orizaba, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

¹⁷⁷ Municipio de Coscomatepec, Veracruz.

¹⁷⁸ Recursos Genéticos Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada y generar el 36% del valor de la producción agrícola. El uso principal es el consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. Durante 2022, fueron sembradas en México, 7.474 millones de hectáreas con maíz, de las cuales 6.904 millones fueron para grano, con un rendimiento medio de 3.90 t/ha y una producción de 26.55 millones de toneladas y un consumo per cápita aparente de 338.10 kg; de la producción total, se utilizan para el consumo directo 19.35 millones de toneladas; de estas, el 33% es a través de la industria harinera y 67% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización. Durante 2022, se importaron 17.40 millones de toneladas de grano amarillo generalmente para la industria y en la alimentación de aves y cerdos (SIAP, 2022).

El maíz en México tiene múltiples usos como grano, forraje y el uso industrial, sin embargo, el más importante es el consumo directo en la alimentación humana y forma parte de la dieta de todos los mexicanos a través de las Tortillas, los Huchepos, las Corundas, los Atoles, los Totopos, las Tlayudas, el Pozole, entre otros. El maíz es una creación de los mexicanos, sin embargo, el proceso de la nixtamalización es una creación de las mexicanas y a través de este proceso, se han creado múltiples platillos. México, presenta la mayor diversidad genética en tipos y razas de maíz; Mesoamérica es considerada uno de los centros con mayor diversidad primaria; México supera a cualquier otro país en la diversidad de maíz y ha tenido un importante papel en el desarrollo de las razas modernas y altamente productivas de América (Hernández, 1971; Kato *et al.*, 2009). De las razas de maíz en México, Wellhausen *et al.* (1951) describieron 25 y siete sin definir; Hernández y Alanís (1970) agregaron cinco más; Ortega *et al.* (1991) identificó 41 y Sánchez *et al.* (2000), agruparon 59 en total. Los maíces nativos en poder de los agricultores continúan evolucionando, mejorando su rendimiento y características agronómicas (Reyes, 1971; Reyes, 2000; Herrera *et al.*, 2002; Ortega, 2003; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2008; Andrés *et al.*, 2014; Sierra *et al.*, 2019).

La raza Tuxpeño en el Trópico húmedo ha sido base en el mejoramiento genético para esta región; En el Istmo de Tehuantepec, las razas Zapalote chico y Zapalote grande maíces precoces, con tolerancia a la sequía y fuertes vientos, de las que se elaboran los totopos; la raza Bolita que se cultiva en los Valles Centrales de Oaxaca, con tolerancia a la sequía y de la

que se elaboran las Tlayudas; el maíz Cacahuazintle, apto para el pozole, los atoles y los elotes; y Arrocillo amarillo, razas adaptadas en altitudes mayores de 2500 msnm.

En la región intermedia, áreas marginales en donde se cultiva el maíz, con condiciones de frío y de alta nubosidad y suelos con pendientes pronunciadas, las Razas de Maíz Nativo más importantes son: Coscomatepec, Celaya, Arrocillo amarillo y Cónico (Sierra *et al.*, 2016). En esta región se obtienen rendimientos de maíz entre 1.0 a 1.2 t/ha; con la selección de semilla, nutrición basada en análisis de suelos, corrección de la acidez de los suelos con aplicación de cal agrícola, el control de plagas y de malezas, es factible aumentar el rendimiento de grano en Maíz en 50% y/o duplicar la producción, es decir, es factible obtener de 1.5 a 2.0 t/ha.

Objetivos generales. 1. Conocer la diversidad del maíz nativo en la región intermedia del estado de Veracruz. 2. Mejorar las capacidades de producción y conservación de maíces nativos mediante acciones de innovación, desarrollo de capacidades y aumento en la productividad.

Objetivos específicos. 1. Colectar muestras de Maíz Nativo en la Región Intermedia del estado de Veracruz. 2. Identificar a nivel de raza y caracterizar de acuerdo el formato de las hojas pasaporte, las muestras de maíz colectadas. 3. Desarrollar un modelo de producción y conservación específicos del maíz nativo en los municipios de Coscomatepec e Ixhuacán de los Reyes, Veracruz. 4. Practicar selección de la semilla en planta y mazorca en maíces Nativos para sembrar los lotes semilleros en terrenos de productores en la Región intermedia de Veracruz. 5. Enviar al banco de germoplasma del INIFAP las muestras de maíz colectadas para su conservación y promover el establecimiento y consolidación de bancos comunitarios de germoplasma e intercambio de semilla.

Materiales y métodos

Localización

El Maíz Nativo en la Región Intermedia del estado de Veracruz, se siembra en suelos de origen Volcánico, con topografía accidentada con pendientes pronunciadas y con fuertes problemas de acidez; el clima es (A)Cam de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por (García, 2004) es frío y con alta nubosidad durante la mayor parte del año, por lo que el

ciclo de cultivo dura 10 meses, es decir, se siembra un solo ciclo de siembra al año y donde los productores son caracterizados de alta marginación (Sierra *et al.*, 2013). Durante 2022 al 2024, el Campo Cotaxtla, la Secretaría de Agricultura y los Municipios de Coscomatepec e Ixhuacán de los Reyes, Ver., participaron del Proyecto Estratégico: “Desarrollo de Territorios Rurales con productores que custodian Maíces Nativos en México” Territorios Coscomatepec e Ixhuacán de los Reyes, Ver.

Descripción de actividades

Este proyecto considera actividades de capacitación y transferencia de tecnología a través de cursos, eventos demostrativos y recorridos técnicos, cubriendo los temas: La selección de semilla en planta y en mazorca, La colecta, identificación racial y caracterización de las muestras en mazorca y grano de acuerdo con el formato sugerido en la hoja pasaporte y tecnologías sustentables como la elaboración de abonos orgánicos, uso de biofertilizantes Micorriza INIFAP, aplicaciones de cal agrícola para corregir la acidez de los suelos. Se realizaron análisis de suelos para conocer el contenido nutricional y el grado de acidez

Colecta de maíz nativo

Durante el mes de marzo del 2023, los productores de las comunidades de Zacatla y El Mirador del municipio de Coscomatepec, febrero y marzo del 2024, en Ixhuacán de los Reyes y comunidades aledañas en el municipio de Ayahualulco, Ver., compartieron muestras de su maíz nativo, en las que se realizó la identificación racial y se enviaron las muestras al Banco de germoplasma del INIFAP sito en el Campo Experimental Valle de México, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México para su conservación.

Selección de maíz nativo

Durante 2022 a 2024, se practicó selección en plantas con competencia completa con criterios de altura de mazorca baja, sanidad, vigor y carga de mazorca y a la cosecha seleccionando mazorcas de buen tamaño, sanas, pero, sobre todo, mazorcas completas, este último criterio, es una forma de seleccionar maíz nativo con tolerancia a los suelos ácidos. Actualmente se tienen establecidos lotes de producción de semilla de este Maíz Nativo con la participación de los productores y se tienen representados maíz blanco, negro, amarillo. En la selección se

aprovecha la porción aditiva de la varianza genética presente (Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 2019) y se requiere semilla con buena calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Espinosa *et al.*, 2003a; Espinosa *et al.*, 2003b; Tadeo y Espinosa, 2003; Tadeo y Espinosa, 2004; Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2016a; Sierra *et al.*, 2016b;).

Variables y registro de datos

De las muestras de mazorcas que nos fueron compartidas se registraron las siguientes variables: peso de mazorca en kg, forma de la mazorca, número de hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca en cm, longitud de mazorca en cm, longitud del olote en cm, color del olote, color de grano, textura de grano, ancho de grano en mm, longitud de grano en mm, grosor de grano en mm, ancho/longitud, grosor/ancho, volumen de 10 granos en mm, peso de 100 semillas en g.

Resultados y discusión

Identificación racial

De las 64 muestras colectadas en la región intermedia del estado de Veracruz y registradas en las hojas pasaporte se tomaron fotos y fueron enviadas al Banco de germoplasma del INIFAP en Texcoco Edo. de México. Las muestras colectadas indican la importancia y diversidad del Maíz Nativo. Durante 2022 al 2024 se colectaron, caracterizaron y se hizo la identificación racial en 64 muestras de maíz; así también, se llevó a cabo el proceso de selección de la semilla en planta y mazorca. Particularmente, en la Región de Coscomatepec, se colectaron 22 muestras de Maíz Nativo en las comunidades de Zacatla y El Mirador. Para la Región de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, se obtuvieron 42 muestras de maíz Nativo, principalmente en las comunidades de Cerro Boludo y Los Rodríguez, y en comunidades aledañas en el municipio de Ayahualulco, Veracruz (Figura 1).

En la identificación racial, se encontraron 27 muestras de la Raza Coscomatepec, 6 Elotes cónicos, 5 de la raza Chalqueño, 4 muestras identificadas dentro de la Raza Celaya, 4 muestras de la Raza Arrocillo amarillo, 3 de la raza Cónico, 1 Mushito, 1 de la raza Pepitilla y 1 a la raza Ratón; asimismo, mezclas de razas: 1 Cónico-Arocillo amarillo, 2 Mushito-

Coscomatepec, 2 Coscomatepec-Cónico, 2 Coscomatepec-Celaya, 2 Coscomatepec-Mushito, 2 Celaya-Coscomatepec, 1 Pepitilla-Celaya, 1 Coscomatepec-Pepitilla y 1 Coscomatepec-Olotillo. Para la Región de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, de las 42 muestras de maíz Nativo, 14 muestras pertenecen a la Raza Coscomatepec, 10 muestras fueron identificadas dentro de la Raza Arrocillo Amarillo, 4 de ellas pertenecen a la raza Cónico, 1 de la raza Pepitilla y 1 a la raza Ratón; así también, mezclas de razas: 5 Cónico-Arrocillo Amarillo, 2 Coscomatepec-Cónico, 2 Coscomatepec-Celaya, 1 Celaya-Coscomatepec, 1 Pepitilla-Celaya y 1 Coscomatepec-Pepitilla (Cuadros 1 y Figura 2).



Figura 1. Diversidad genética de Maíz Nativo Región intermedia del estado de Veracruz.

Cuadro 1. Identificación racial del maíz nativo en la región de Coscomatepec, Veracruz 2023.

Muestra	Productor	Lugar de colecta	Raza	Coordenadas
1	Fidelia Juárez Rosas	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'22''N 97°08'13''W 2155 m
2	Josefina Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'14''N 97°07'39''W 2017 m
3	Imelda Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'29''N 97°08'26''W 2197 m

Muestra	Productor	Lugar de colecta	Raza	Coordenadas
4	Fidelia Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'19"N 97°08'05"W 2120 m
5	Ernesto Villa Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'13"N 97°06'58"W 1973 m
6	Elvira Alvarado Lino	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Celaya Negrito	19°00'09"N 97°07'37"W 2070 m
7	Zita Ojeda Hernández	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'08"N 97°06'32"W 1934 m
8	Quirino Hernández Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'05"N 97°07'23"W 2049 m
9	Fernando Juárez Ojeda	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Olotillo	19°59'46"N 97°06'11"W 1839 m
10	Guillermo Juárez Ojeda	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°59'46"N 97°06'11"W 1839 m
11	Reynalda Montalvo de Jesus	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'09"N 97°07'55"W 2126 m
12	Rosalía Juarez Gómez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'09"N 97°07'44"W 2098 m
13	Florentina Villa Montalvo	Zacatla, Coscomatepec, Ver	Coscomatepec	19°00'08"N 97°06'32"W 1934 m
14	Jose Albino Hernández Flores	Mirador, Coscomatepec, Ver	Coscomatepec	19°04'40"N 96°06'15"W 2070 m
15	Jose Albino Hernández Flores	Mirador, Coscomatepec, Ver	Coscomatepec	19°04'40"N 96°06'15"W 2070 m
16	Emilio Montalvo de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Mushito	19°00'22"N 97°08'13"W 2155 m
17	Jorge Vázquez Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'10"N 97°08'00"W 2141 m
18	Julia Bernardita Flores Vásquez	Zacatla, Coscomatepec, Ver	Coscomatepec	19°00'17"N 97°08'01"W 2119 m
19	Acelina Vázquez Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Mushito Coscomatepec	19°00'07"N 97°07'53"W 2100 m

Muestra	Productor	Lugar de colecta	Raza	Coordenadas
20	Camelia Martínez Pérez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'15''N 97°07'23''W 2042 m
21	Juana Villa Román	Zacatla, Coscomatepec, Ver	Mushito Coscomatepec	19°63'61''N 97°16'78''W 2120 m
22	Elvira de Jesus Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'22''N 97°08'13''W 1874 m

Muestras que se enviarán al Banco: 1,2,3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,19,21,22.



Coscomatepec



Celaya

Figura 2. Razas de maíz más importantes en Coscomatepec, Veracruz 2023

En cuanto a la variación en color de grano, las muestras de Maíz Nativo presentan variación en color siendo las más frecuentes Blanco, crema, negro, pinto, amarillo y rojo (Cuadro 2 y Figura 3)..

Cuadro 2. Maíz Nativo Ixhuacán de los Reyes, Ver., y comunidades aledañas 2024.

Orden	Productor	Localidad	Mazorcas	Color	Aspecto mazorca	Sanidad Mazorca	Latitud N	Longitud W	Asnm (m)	Raza maíz
1	Julián José Olarte Morales	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	20	Pinto	1.5	1.5	19.39718	-97.10986	2044	Coscomatepec
2	Inés Martínez Valdivia	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	24	Variable amarillo, blanco y rojo	2.0	1.5	19.39449	-97.1157	2059	Coscomatepec-Celaya
3	Adán Martínez Rodríguez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	14	10 crema y 4 pinto	1.5	1.5	19.39209	-97.11274	2044	Coscomatepec
4	Alfredo Olarte Pedraza	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	26	16 Negro y 10 pinto	1.5	1.5	19.39082	-97.10995	2044	Coscomatepec
5	Genoveva Zabaleta Martínez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	10	Blancas	1.5	1.5	19.39434	-97.1135	2044	Celaya Coscomatepec
6	Cornelio Olarte Aburto	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	14	9 pinto, 5 blancas	2.5	2.0	19.39561	-97.1025	2044	Celaya
7	Benito Olarte Pedraza	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	20	Blanco	1.5	1.5	19.3935	-97.10808	2044	Coscomatepec
8	Dulce María Olarte Martínez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	21	16 blancas, 3 crema, 3 pinto	1.0	1.5	19.39741	-97.10821	2044	Celaya
9	Gaudencio Olarte	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	19	8 blancas, 9 pinto, 2 rojas	1.5	1.5	19.39733	-97.10673	2044	Coscomatepec
10	José Laureano Olarte Miranda	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	22	11 crema, 11 pinto	2.0	2.0	19.39731	-97.10888	2044	Celaya
11	José Roberto Olarte Maldonado	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	33	blanco Crema	1.0	1.0	19.39433	-97.11126	2024	Cónico Pepitilla
12	Lorenzo Martínez Olarte	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	17	Pinto	1.5	2.0	19.39999	-97.12781	2044	Coscomatepec

Orden	Productor	Localidad	Mazorcas	Color	Aspecto mazorca	Sanidad Mazorca	Latitud N	Longitud W	Asnm (m)	Raza maíz
13	María de los Ángeles Imelda Olarte	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	20	Blanco y pinto	1.5	1.5	19.39727	-97.11018	2044	Coscomatepec-Pepitilla
14	Manuel Olarte Morales	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	12	10 crema, 1 roja, 1 rosada	2.5	2.5	19.39805	-97.10833	2044	Coscomatepec
15	Raymundo Martínez Rodríguez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	28	18 Negro, 9 pinto y 1 roja	1.0	1.0	19.39282	-97.12051	2044	Coscomatepec
16	Marlene Zabaleta Martínez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	10	blancas	2.0	2.0	19.40118	-97.09824	2044	Coscomatepec-Cónico
17	Patricia Morales Rivera	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	18	6 Negro, 2 rojo, 6 blanco, 4 pinto	1.5	1.5	19.39212	-97.1129	2044	Coscomatepec
18	Perfecto Martínez Rodríguez	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	20	11 rojas, 8 blancas, 1 rosada	1.5	1.0	19.39251	-97.11903	2044	Celaya Coscomatepec
19	Prisciliano Olarte Morales	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	20	6 crema, 14 pinto	1.5	1.5	19.39392	-97.1174	2044	Coscomatepec
20	Raymundo Martínez Olarte	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	19	16 blancas, 2 rojas, 1 rosada	1.5	2.0	19.39729	-97.1292	2060 msnm	Coscomatepec-Celaya
21	Rufina Valdivia Matla	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	8	8 blancas	2.0	2.0	19.39414	-97.11386	2044	Cónico
22	Teresa Itza Contreras	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	8	6 blancas, 2 rojas	2.0	1.5	19.39427	-97.10009	2044	Coscomatepec
23	Romualda Flores Morales	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	6	Blanco	1.5	1.5	19.39586,	-97.10296	2044	Celaya
24	Yadira Gonzalez Olarte	Cerro Boludo, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	26	13 blancas, 13 pinto	1.5	2.0	19.39264	-97.11226	2044	Coscomatepec
25	Arnulfo Rodríguez Morales	Los Rodríguez, Ixhuacán de los Reyes	19	blancas	1.0	1.0	19.4083	-97.14018	2568	Arrocillo amarillo-Cónico

Orden	Productor	Localidad	Mazorcas	Color	Aspecto mazorca	Sanidad Mazorca	Latitud N	Longitud W	Asnm (m)	Raza maíz
26	Jesús García García	Los altos, Ayahualulco, Ver.	14	Blanco	1.5	1.5	19.443	-97.2007	2880	Arrocillo amarillo
27	Jesús García García	Los altos, Ayahualulco, Ver.	10	Amarillo	2.5	2.0	19.443	-97.2007	2880	Arrocillo amarillo
28	Arnulfo Rodríguez Morales	Los Rodríguez, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	11	amarillas	1.0	1.0	19.4083	-97.14018	2568	Arrocillo amarillo
29	Julia Gonzalez Rivera	Los Laureles, Ixhuacán de los Reyes, Ver.	2 + 2kg grano	Rojo	2.0	2.0	19.4306	-97.1414	2766	Elotes cónicos
30	Perfecto Morales Martínez	Las Galeras Ayahualulco, Ver.	23	Negro	1.5	2.0	19.4158	-97.1968	2880	Elotes cónicos
31	Daniel Morales Ruíz	Las Galeras Ayahualulco, Ver.	8	3 Negro, 5 blanco	1.5	2.0	19.4158	-97.1968	2880	Cónico Arrocillo
32	José Colorado Pedraza	San José Aguazuelas Ayahualulco, Ver.	22	Blanco	1.5	1.5	19.4072	-97.1985	2868	Chalqueño
33	José Colorado Pedraza	San José Aguazuelas Ayahualulco, Ver.	23	Negro	1.5	2.0	19.4072	-97.1985	2868	Elotes cónicos
34	Irma Colorado Hernandez	San José Aguazuelas Ayahualulco, Ver.	23	Blanco	1.5	1.5	19.4072	-97.1985	2868	Chalqueño
35	Santiago Colorado Hernandez	San José Aguazuelas Ayahualulco, Ver.	38	Blanco	1.5	1.5	19.4072	-97.1985	2868	Cónico
36	Santiago Colorado Hernandez	San José Aguazuelas Ayahualulco, Ver.	26	Blanco	1.0	1.5	19.4072	-97.1985	2868	Chalqueño
37	Rebeca Alvarado Peña	Rinconada Ayahualulco, Ver.	22	Blanco	1.5	2.0	19.3822	-97.1870	2522	Cónico
38	Rebeca Alvarado Peña	Rinconada Ayahualulco, Ver.	15	Negro	1.5	2.0	19.3822	-97.1870	2522	Elotes Cónico

Orden	Productor	Localidad	Mazorcas	Color	Aspecto mazorca	Sanidad Mazorca	Latitud N	Longitud W	Asnm (m)	Raza maíz
39	José Abel Fausto García	Rinconada Ayahualulco, Ver.	25	Blanco	1.5	1.5	19.3822	-97.1870	2522	Chalqueño
40	Reyes Morales Alvarado	Rinconada Ayahualulco, Ver.	53	Blanco	1.5	1.5	19.3822	-97.1870	2522	Chalqueño
41	Reyes Morales Alvarado	Rinconada Ayahualulco, Ver.	20	Rojo	1.5	1.5	19.3822	-97.1870	2522	Elotes Cónicos
42	Reyes Morales Alvarado	Rinconada Ayahualulco, Ver.	50	Negro	1.0	1.0	19.3822	-97.1870	2522	Elotes Cónicos



Coscomatepec



Elotes Cónicos



Arrocillo Amarillo



Celaya



Cónico

Figura 3. Principales razas de maíz en Ixhuacán de los Reyes, Veracruz.

Rendimiento de maíz, masa y tortilla del Maíz Nativo de la Raza Coscomatepec

El día 14 de enero 2023 en la comunidad de Zacatla, Coscomatepec, Veracruz se llevó a cabo una evaluación sobre “Rendimiento de maíz, de nixtamal, de masa y de tortilla de Maíz Nativo en la Región de Coscomatepec, Veracruz”. Para lo anterior, se pesaron 2.176 kg de grano de maíz, de los cuales se obtuvieron 3.743 kg de nixtamal, 4.477 kg de masa y 3.386 kg de tortilla; lo anterior equivale a que por cada kg de grano se obtienen 1.72 kg de nixtamal, 2.07 kg de masa y 1.556 kg de tortillas. En este evento se contó con la asistencia de 36 participantes, de los cuales 34 son productores y 2 técnicos (Figura 4).



Figura 4. Evaluación del rendimiento de maíz nativo, de nixtamal, de masa y de tortilla, en la región de Coscomatepec, Veracruz.

Selección de semilla de maíz nativo en la Región intermedia del estado de Veracruz

Para la selección en planta se utilizaron criterios de altura de mazorca baja, sanidad, vigor y carga de mazorca; a la cosecha se seleccionó mazorcas de buen tamaño, sanas, sobre todo, mazorcas completas, este criterio, es una forma indirecta de seleccionar maíz nativo con tolerancia a los suelos ácidos y a la sequía. El método de selección practicado fue la selección masal que aprovecha la porción aditiva de la varianza genética presente en las poblaciones de maíz y consiste en acumular genes favorables a través de los ciclos de selección (Sierra *et al.*, 2019); dos características de este método son: variabilidad en la población de maíz para las características que se desea mejorar y se realiza seleccionando plantas con competencia completa. La selección se realizó en tres lotes de producción maíz nativo en Coscomatepec, uno de maíz blanco, otro de maíz amarillo y otro en maíz negro que pertenecen a la raza Coscomatepec y seis lotes de maíz nativo en la Región de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz. La Selección de semilla de maíz nativo, se llevó a cabo en dos oportunidades: a) en planta en

la etapa de elote, seleccionando y marcando plantas sanas, con altura de mazorca baja con la intención de seleccionar plantas con menor riesgo de acame, con buen vigor y con buena carga (Figura 5), y b) a la cosecha, misma que se realizó seleccionando aquellas mazorcas completas y sanas, de esta manera se selecciona el maíz con relativa tolerancia a la acidez de los suelos, problema generalizado en esa región (Figura 6).



Figura 5. Selección del maíz nativo en planta.



Figura 6. Selección del maíz nativo en mazorca.

Análisis de suelos

El análisis de muestras de los suelos permite un diagnóstico efectivo sobre las necesidades de fertilización de los cultivos. Se encontraron suelos ricos en materia orgánica pobres en nitrógeno para el territorio de Coscomatepec, asimismo, suelos ricos en nitrógeno para Ixhuacán de los Reyes; pobres en fósforo y potasio y valores de pH entre 5 y 5.5 en ambos municipios. Para reducir los costos de la fertilización química fosfatada, se recomienda utilizar 1 kilogramo del biofertilizante Micorriza INIFAP en lugar de un bulto de DAP.

Conclusiones

De las 64 muestras colectadas en la región intermedia del estado de Veracruz, 27 pertenecen a la raza Coscomatepec, seis elotes cónicos, cinco de la raza Chalqueño; cuatro dentro de la raza Celaya, cuatro muestras de la raza Arrocillo Amarillo, tres de la raza Cónico, uno Mushito, uno de la raza Pepitilla, uno a la raza Ratón y 12 mezclas de razas. Se capacitó a los productores y técnicos del sector agropecuario sobre la práctica de selección de maíz nativo en planta y en mazorca. Las muestras de maíz fueron enviadas al Banco de germoplasma del INIFAP para su conservación.

Literatura citada

- Andrés, M. P.; M. Sierra M., A. Espinosa C., N. Gómez M., A. Palafox C., F. Rodríguez M. *et al.* 2014. Hoja de Maíz (*Zea mays* L.), importante actividad en la zona norte del estado de Veracruz, México. Revista Agroproductividad 7(1):32-38.
- Espinosa, C. A., M. A. López P., N. O. Gómez M., E. Betanzos M., M. Sierra M., B. Coutiño E. *et al.* 2003a. Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM ó MCP) en México. Agron Mesoam. 14(1):105-106. 39.
- Espinosa, C. A., M. Sierra M. y N. O. Gómez M. 2003b. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Agron Mesoam. 14(1):117-121.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México D.F. México 293 p.

- Hernández, X. E. 1971. Exploración etnobotánica y su metodología, México, Colegio de Posgraduados, Escuela nacional de Agricultura, Chapingo, México. 43 p.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticos y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Herrera, C. B. E., A. Macias L., R. Díaz R., M. Valadez R. y A. Delgado A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:17-23.
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. A. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, D.F. 116p
- Ortega P., R. 2003. La diversidad de maíz en México. p. 123-154. *In*: Esteva, G. y C. Marielle (Eds.). *Sin Maíz no hay País*, CONACULTA, México.
- Ortega, P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. p. 161-185. *In*: Ortega, P. R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México.
- Reyes, C. P. 2000. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agric Tec Mex.* 26(1):49-62.
- Reyes C., P. 1985. *Fitogenotecnia Básica y aplicada*. AGT Editor México, D.F., México. 460 p.
- Reyes, C. P. 1971. *Genotecnia del maíz para tierra caliente*. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. ITESM. Monterrey N.L. México. 138 p

Sánchez, G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Econ. Bot.*, 54 (1):43-59.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas Producción agrícola. Disponible en: [http://www.gob.mx/siap/acciones y programas de producción agrícola](http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas-de-produccion-agricola). [consultado el 31 de julio del 2023].

Sierra, M. M., M. F. A. Rodríguez, N. Gómez M., A. Espinosa, C., F. J. Ugalde A. y P. Andrés M. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. p. 482-499. *In: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H. et al. (eds.). Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNM, Medellín, Ver.*

Sierra, M. M., I. Meneses M., A. Palafox C., N. Nestor F.; A. Zambada M., M. Uribe B. *et al.* 2013. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco. p. 51-62. *In: Mendoza, P. J. D., E. de la Cruz L., E. Martínez M., R. Osorio O., M. A. Estrada B. Tópicos selectos en agronomía tropical Volumen 2. Villahermosa, Tabasco.*

Sierra, M. M.; A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., N. Gómez M., F. Caballero H. *et al.* 2008. H-520. Híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric Tec Mex.* 34(1):119-122.

Sierra, M. M., F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Cordova O., R. Lezama G. y A. Pescador R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz. *Agric Tec Mex.* 30(2):169-181.

- Sierra M., M., P. Andrés M., A. Palafox C. e I. Meneses M. 2016. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Rev. Cienc. Nat. Agropecu.* 3(9):12-21.
- Sierra, M. M.; F. A. Rodríguez M., A. Palafox C., A. Espinosa C., P. Andrés M., N. Gómez M. *et al.* 2016a. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. *Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo* 13(1):19-32.
- Sierra, M. M., F. A. Rodríguez, M., A. Palafox C. y A. Espinosa C. 2016b. Adopción e impacto de la variedad VS-536 en la región tropical del sureste de México. *Revista de Desarrollo Económico* 3(9):32-40.
- Tadeo, R. M. y A. Espinosa C. 2003. Microempresas de semillas con híbridos “Pumas de maíz” alternativa para abastecimiento en México. *Revista FESC UNAM. Divulgación Científica Multidisciplinaria* 3(8): 5-10.
- Tadeo R., M. y Espinosa C., A. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC UNAM. Divulgación Científica Multidisciplinaria* 4 (14): 5-10.
- Wellhausen, E., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, México: Oficina de Estudios Especiales, S.A.G. 237 p.

DESARROLLO DE PLANTAS JUVENILES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) CON COBERTERAS VEGETALES Y HARINAS DE ROCAS

Sergio Alberto Curti Díaz¹⁷⁹, Rigoberto Zetina Lezama¹⁷⁹, Luis Alfonso Aguilar Pérez¹⁸⁰, Jaime Rangel Quintos¹⁸¹, Sergio Martínez Ortiz¹⁸⁰, Alexia Sánchez Pacheco¹⁸⁰, Nely Benítez Tejeda¹⁸⁰ y Lorena Jacqueline Gómez Godínez¹⁸²

Resumen

En 2021 Veracruz tenía 51,752 ha de limón Persa, 802 mil toneladas de fruta, con un valor de 4,945.7 millones de pesos. Sin embargo, a pesar de ser una fortaleza económica en el país, se ha venido cultivando como monocultivo, usando irracionalmente agroquímicos y maquinaria agrícola (suelo desnudo), que junto con otras prácticas han venido degradando al suelo. Para generar información que contrarreste los efectos de dicho manejo, se estableció un experimento durante un año, con árboles de un año, en Cotaxtla, Veracruz, México; en un suelo franco-arcilloso, pH de 6.9, 2.9% de materia orgánica y precipitación pluvial anual de 750 mm. El objetivo fue determinar el efecto de la *Canavalia ensiformis*, arvenses y de harina de rocas aplicada en dos dosis (2.5 kg y 5.0 Kg por año por planta) durante el desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa y en el tiempo para iniciar su floración. Se registraron las dimensiones del tallo y del árbol, asimismo, la intensidad de brotación vegetativa y floral. Se usó un diseño de tratamientos factorial, con arreglo en campo en parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a las coberteras y las chicas a la aplicación del Ormus y, dado que no hubo diferencia entre los factores estudiados, la información se analizó como bloques al azar para incluir el testigo. Los resultados que no mostraron diferencias estadísticas relevantes, fueron: el diámetro del tallo del patrón, se incrementó de 2.2 cm a 5.6 cm en seis meses, mientras que, el tallo del limón Persa lo hizo de 2.3 cm a 5.4 cm; la altura y diámetro de la copa crecieron de 90.1 cm a 159.9 cm y de 117.9 cm a 235.7 cm, respectivamente. Hubo brotaciones vegetativas en noviembre y diciembre de 2023 y en enero, febrero y marzo de 2024, cuyos valores fueron incrementado: 16.2, 19.7, 16.7, 48.4 y 32.3 brotes por árbol, respectivamente, sumando un total de 133.3 brotes por árbol y se registraron floraciones en febrero y marzo de 2024, pero, fueron muy incipientes y heterogéneas, promediando 1.70 y 4.28 brotes florales y flores por árbol, respectivamente.

Palabras clave: dimensiones del árbol, brotes vegetativos, flores

¹⁷⁹ Campo Experimental Cotaxtla. CIR Golfo Centro, Veracruz. INIFAP. *Autor por correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

¹⁸⁰ Profesionista independiente.

¹⁸¹ Campo Experimental La Posta. CIR Golfo Centro, Veracruz. INIFAP.

¹⁸² Centro Nacional de Recursos Genéticos, Jalisco. INIFAP.

Introducción

Como resultado de más de 60 años de manejo agrícola basado en los principios de la “Revolución Verde”, se ha sustituido el policultivo por monocultivos, se ha hecho un uso constante e irracional de agroquímicos, maquinaria agrícola para eliminar la maleza y la práctica de mantener el suelo desnudo, entre otras técnicas (Pazos-Rojas *et al.*, 2016; Huerta y Martínez, 2018). Estas prácticas han provocado una disminución y degradación paulatina de la fertilidad del suelo. La noble misión de la agricultura de producir frutos sanos para alimentar a la humanidad ha cambiado sustancialmente. Hoy en día, se busca producir cada vez más frutos, hojas, raíces, semillas con excelente apariencia, para ser comercializadas como mercancías, buscando el mejor precio en el mercado, sin importar si estos productos son inocuos y, menos aún, si poseen propiedades nutraceuticas.

Está bien documentado que los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo son afectados por el uso de herbicidas (Milosevic y Govedarica, 2002; Zaller *et al.*, 2014; Simón-Zamora, 2019), fungicidas (Chen *et al.*, 2001; Cernohlávková *et al.*, 2009; Cycon *et al.*, 2010; Zaller *et al.*, 2014), insecticidas (El-Ghamry *et al.*, 2002; Pandey y Singh, 2004), fertilizantes (Lekberg *et al.*, 2021), y la eliminación de residuos de cosecha (Blanco-Canqui y Lal, 2009). Todo esto ha contribuido a la degradación del suelo, en gran parte, debido a la disminución en cantidad y diversidad de los microorganismos presentes (Revillini *et al.*, 2016; Simón-Zamora, 2019; Meena *et al.*, 2020; Lekberg *et al.*, 2021). Estas prácticas y su abuso también dañan a la salud humana (Salas *et al.*, 2000; Mahmoud *et al.*, 2016) lo que, genera una necesidad entre los consumidores de alimentarse con frutas orgánicas e inocuas. Un manejo alternativo para lograr esto, siempre ha existido y consiste en abandonar el uso de agroquímicos y adoptar un manejo orgánico del cultivo, dando énfasis a toda práctica que ayuden a incrementar la materia orgánica, los minerales y los microorganismos del suelo.

La situación del limón persa no escapa a la tendencia ya citada, este es un cultivo muy redituable, del cual se exporta más del 60% de la producción. Esto ha llevado a un crecimiento acelerado en el uso de agroquímicos, cada vez con mayor diversidad de productos y especificidad para cada plaga y enfermedad. Algunas consecuencias del uso de estos productos son: elevación de sus costos de producción (50-80 mil pesos por hectárea), resistencia de plagas a los agroquímicos (Flores, 2022) y seguramente, la presencia de nuevas

plagas y enfermedades, como la Diaphorina, vector del HLB, picudo verde azul, o regreso de otras como la mosca prieta (Peralta-Gamas *et al.*, 2011) y alga roja (Dominguez-Monge *et al.*, 2024). El estudio investiga el efecto de varios componentes orgánicos en el desarrollo vegetativo o juvenil del limón Persa, una etapa en la que se hace poca investigación en comparación con la etapa adulta del árbol, cuando ya produce frutos. Sin embargo, la etapa juvenil es de gran importancia puesto que de ella depende el futuro del árbol. Es importante cuidar aspectos como el volumen y la sanidad de follaje, la altura, el diámetro y el vigor de copa, su estructura, que le da la resistencia mecánica, y la distribución de las ramas. El periodo juvenil se define como la incapacidad de inducir floración utilizando cualquier medio (Zimmerman, 1972) y el criterio más sólido que define su terminación es la presencia de flores y su capacidad de continuar floreciendo (Hackett, 2011); este último autor, señala que la juvenilidad es un fenómeno inherente a la genética, cuya longitud de periodo puede reducirse mediante el injerto de una yema ontogénicamente madura (Furr, 1961); el patrón no solo reduce el periodo juvenil sino que le infiere vigor a la variedad injertada (Castle, 2010).

Cabe mencionar que existen citricultores en el estado de Veracruz que han certificado sus huertas como orgánicas; sin embargo, poca investigación se ha hecho para medir los beneficios que se generan con este tipo de manejo. Este tipo de evaluación es importante para conocer cuáles son los componentes mayormente asociados a buenos rendimientos y alta calidad de la fruta producida e identificar cuales otros no aportan lo necesario para incrementar la rentabilidad de la huerta.

Las coberteras vegetales, una de las cuales es la *Canavalia* que se evaluó en este ensayo, se han usado para desplazar la maleza y como fuente de aportación de nitrógeno y algunos estudios han generado información sobre cambios que la *Canavalia* provoca en la biología del suelo a nivel macrofauna (escarabajos, lombrices y otros) y microflora (hongos) del suelo, con resultados alentadores (Rebolledo-Martínez *et al.*, 2011), en incremento a la fertilidad del suelo (da Silva-López, 2012). Arim *et al.* (2011) determinaron que *Canavalia ensiformis* incrementó el rendimiento de tres variedades de maíz en un promedio de 80.3% y disminuyó la pudrición de raíz y la población del nematodo *Pratylenchus zae*, en 50 y 30%, respectivamente.

Otro componente que se evaluó en el presente estudio fue la mineralización con harina de rocas; sin embargo, no se encontró información sobre resultados de investigación de la harina de rocas en cítricos, aunque si sobre su método de preparación que puede ser mezclado en

composta o bien al 1% en mezcla líquida con microorganismos de montaña y otros componentes (Hernández *et al.*, 2015; Gómez-Cruz *et al.*, 2021).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la *Canavalia* y las arvenses, asimismo, la aplicación al suelo de harina en dos dosis, durante el desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa, y en el tiempo para iniciar su floración.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el periodo de noviembre de 2023 a junio de 2024. Las plantas de limón Persa injertadas en patrón de limón Volkameriana, fueron establecidas el 30 de marzo de 2023, en la Localidad Paso de los Carros, Cotaxtla, Veracruz. El suelo presentó una textura franco arcilloso, con pH de 6.9 y 2.9% de materia orgánica. La precipitación pluvial promedio anual es de 750 mm. El arreglo topológico de los árboles es rectangular de 7 m x 4 m, lo que da un total de 357 árboles por hectárea.

Factores de estudio

Se están estudiaron dos factores que son: Factor a) aportación de materia orgánica con dos coberteras vegetales: *Canavalia* sp y plantas arvenses. La *Canavalia* se sembró en julio, una vez que se presentaron las lluvias, a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, dejando un espacio de 50 cm de la planta de limón. Factor b) dos dosis de harina de rocas fosfóricas, que son: 2.5 kg y 5.0 kg por año por planta, distribuidos en cuatro aplicaciones trimestrales en un radio de 30 cm a partir del tronco del árbol. El nombre comercial de las rocas fosfóricas es “Minutrer”, obtenido de roca natural, que contiene un porcentaje de: 3.0, 6.5, 2.2, 12.3, 23.3, 2.1, de N, P₂O₅, K₂O, Ca, SiO₂ y MgO, respectivamente, más varios micronutrientes, contenidos en menor concentración.

Diseño experimental

Se usó un diseño de tratamientos factorial 2³, con arreglo de tratamiento en campo de parcelas divididas, donde la parcela grande corresponde a las coberteras (factor 1) y las parcelas chicas

a las dosis de harina de rocas (factor 2), lo que hacen cuatro tratamientos, más uno adicional, que correspondió al testigo del productor, se tuvieron seis repeticiones, con dos árboles como unidad experimental. Los datos se analizaron con SAS (Programa Statistical Analysis System) versión 9.1, como bloques al azar para incluir el testigo, pues no hubo diferencia entre factores, y la separación de medias se hizo con la Prueba de Tukey al 0.05% de probabilidad de error.

Variables de respuesta

- a) Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa. Con un vernier plástico con precisión 0.1 mm, se midió el diámetro del tallo del injerto limón Persa y del patrón Volkameriana, a los 10 centímetros arriba y abajo de la unión patrón/injerto. Esta medición se realizó a los ocho y quince meses después del trasplante.
- b) Altura de la copa. Con un estadal se midió la altura total del árbol y la altura inferior, donde iniciaban las primeras ramas, partiendo en ambos casos desde el suelo y por diferencia se obtuvo la altura real de la copa. Las mediciones se realizaron en noviembre de 2023 y en junio de 2024.
- c) Diámetro de copa. Con una cinta flexible de 5 m, se registró el diámetro de la copa en el sentido Este-Oeste a 1 m de altura del suelo y siguiendo la forma normal de la copa; es decir, sin considerar las ramas largas que sobresalían de la misma, si hubiera sido el caso. Las mediciones se realizaron en noviembre de 2023 y en junio de 2024.
- d) Intensidad de brotación vegetativa. Se contaron todos los brotes vegetativos por árbol que emergieron en noviembre y diciembre de 2023, y enero, febrero y marzo de 2024.
- e) Intensidad de floración. Se contaron todos los brotes florales y las flores por árbol que ocurrieron en febrero y marzo de 2024.

Resultados y discusión

a) Diámetro del tronco del portainjerto y del limón Persa. Los diámetros del tallo del patrón y del limón Persa se presentan en el Cuadro 1. El valor promedio de diámetro del patrón, de los cinco tratamientos en junio de 2024 fue 151.2% mayor que el promedio registrado para los mismos tratamientos en noviembre de 2023; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas

entre tratamientos. El desarrollo del tronco del limón Persa fue de 128.2% mayor en junio 2024 en comparación del mismo valor en noviembre de 2023. Hubo diferencias entre tratamientos en noviembre de 2024, a los cinco meses de haberse aplicado la primera dosis de harina de rocas: el T2, con Canavalia y la dosis alta de harina de rocas superó estadísticamente al resto de los tratamientos, principalmente al T4 con una diferencia de 12.6%. Este resultado tiene sentido ya que, la Canavalia provee mayor humedad que las arvenses.

Cuadro 1. Diámetro del patrón y del limón Persa en etapa juvenil, establecido con dos coberteras vegetales y dos dosis de harinas de rocas.

T	Cobertera	Harina de rocas (kg/planta/año)	Diámetro del tronco (cm)							
			Patrón				Limón Persa			
			nov 2023	jun 2024	nov 2023	jun 2024	nov 2023	jun 2024	nov 2023	jun 2024
1	Canavalia	2.5	2.14	a ^z	5.59	a	2.37	b	5.56	a
2	Canavalia	5.0	2.40	a	5.62	a	2.58	a	5.45	a
3	Arvenses	2.5	2.20	a	5.60	a	2.25	bc	5.37	a
4	Arvenses	5.0	2.12	a	5.70	a	2.22	c	5.53	a
5	Testigo	---	2.19	a	5.27	a	2.35	bc	4.98	a
Promedio			2.213		5.558		2.358		5.381	
DMS			0.625		0.653		0.143		0.654	
CV (%)			24.323		10.128		5.25		10.474	

^z Harina de rocas distribuidas en aplicaciones trimestrales. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV: Coeficiente de Variación.

b) Altura y diámetro de la copa. No existió diferencia estadística entre los tratamientos en la altura y diámetro de copa (Cuadro 2). La altura efectiva de la copa (una vez disminuido la altura inferior a la superior del árbol), se incrementó numéricamente en un 77.3%, al pasar de 90.1 cm a 159.9 cm; mientras que el diámetro de la copa lo hizo en 117.7% en el mismo intervalo. Dicho desarrollo es muy bueno y fue debido principalmente a que la huerta cuenta con riego por aspersión, pues de otra manera no habría sido posible este crecimiento, considerando que en 2024 sólo hubo una lluvia en febrero y otra en marzo, que en conjunto no sobrepasaron los 40 mm.

Cuadro 2. Altura y diámetro de copa de limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras y dos dosis de harinas de rocas.

T	Coberteras	Harina de rocas (kg/planta/año)	Altura de copa (cm)			Diámetro de copa (cm)				
			Nov 23		Jun 24	Nov 23		Jun 24		
1	Canavalia	2.5	92.41	a ^z	171.33	a	123.42	a	202.42	a
2	Canavalia	5.0	94.00	a	160.83	a	131.50	a	366.00	a
3	Arvenses	2.5	84.66	a	149.08	a	113.25	a	208.42	a
4	Arvenses	5.0	89.50	a	167.25	a	111.58	a	207.58	a
5	Testigo	---	90.08	a	150.75	a	110.00	a	193.83	a
Promedio			90.133		159.85		117.95		235.65	
DMS			14.281		30.145		23.73		285.4	
CV (%)			13.646		16.241		17.327		104.308	

^z Harina de rocas distribuidas en aplicaciones trimestrales. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV: Coeficiente de Variación.

d) Intensidad de brotación vegetativa. En el Cuadro 3 se presentan las brotaciones vegetativas ocurridas en noviembre y diciembre de 2023, y enero, febrero y marzo de 2024. Se observa que las brotaciones vegetativas ocurrieron mensualmente desde noviembre a marzo de 2024; esto se debe por los riegos frecuentes y por las condiciones de temperatura que han sido altas (entre 32 y 34°C), favorables para brotación de las yemas. Las brotaciones más intensas son las de febrero y marzo de 2024. Conforme se desarrolla la copa, la producción de follaje es mayor y más uniforme; hasta ahora, la intensidad de las brotaciones ha sido muy heterogénea entre plantas, lo que explica los altos coeficiente de variación.

Cuadro 3. Brotación vegetativa del limón Persa en etapa juvenil, establecido con dos coberteras vegetales y dos dosis de harinas de rocas. Noviembre 2023 a marzo 2024.

T	Coberteras	Harina de rocas (kg/planta/año)	Número de brotes vegetativos											
			Nov 23		Dic 21		Ene 18		Feb 7		Mar 22		Total	
1	Canavalia	2.5	16.5	a ^z	12.5	a	14.8	a	65.3	a	24.0	a	134.0	a
2	Canavalia	5.0	16.4	a	23.3	a	14.1	a	50.9	a	33.2	a	137.9	a
3	Arvenses	2.5	15.8	a	25.0	a	26.4	a	42.6	a	35.7	a	145.4	a
4	Arvenses	5.0	20.1	a	21.7	a	17.8	a	47.9	a	35.0	a	140.5	a
5	Testigo	---	12.4	a	16.2	a	10.3	a	34.1	a	35.7	a	108.6	a
Promedio			16.233		19.733		16.667		48.350		32.300		133.283	
DMS			10.794		23.877		17.278		39.362		31.445		46.319	
CV (%)			57.269		104.211		89.282		68.334		83.845		29.931	

^z Harina de rocas distribuidas en aplicaciones trimestrales. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV: Coeficiente de Variación.

e) Intensidad de floración. Normalmente, el limón Persa inicia su floración de manera homogénea en toda la copa alrededor de 1.5 años después de haber sido plantado. Sin embargo, es posible observar floraciones incipientes, aunque muy heterogéneas entre árboles, durante el primer año de desarrollo. En los Cuadros 4 y 5 se muestra el total de brotes florales y de flores, respectivamente, de dos floraciones registrados el 7 de febrero y 22 de marzo de 2024. Estas floraciones fueron muy heterogéneas tanto dentro de los árboles como en la huerta en general., ya que la mayoría de los arbolitos aún no habían florecido. Además, la intensidad de floración en los que si la hicieron fue muy baja, lo que explica los altos coeficientes de variación observados. En este estudio, y con plantas de apenas un año de desarrollo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la cantidad de brotes florales, ni de flores por árbol. Por lo tanto, será necesario continuar evaluando el efecto de los tratamientos durante un segundo año de desarrollo.

Cuadro 4. Brotación floral del limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras y dos dosis de harina de rocas. 2024.

T	Coberteras	Harina de rocas (kg/planta/año)	Número de brotes florales por árbol					
			Feb 7		Mar 22		Total	
1	Canavalia	2.5	3.00	a ^z	1.58	a	4.58	a
2	Canavalia	5.0	1.58	a	2.58	a	4.17	a
3	Arvenses	2.5	2.08	a	1.75	a	3.83	a
4	Arvenses	5.0	1.92	a	0.67	a	2.58	a
5	Testigo	---	1.33	a	0.50	a	1.83	a
Promedio			1.983		1.412		3.400	
DMS			4.433		3.914		5.580	
CV (%)			192.480		237.945		141.335	

^z Harina de rocas distribuidas en aplicaciones trimestrales. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV: Coeficiente de Variación.

La floración que se observa en el Cuadro 5, de 6.5 y 2.2 flores promedio por árbol, para las que ocurrieron en febrero y marzo del presente año, es muy incipiente y corresponde al 36% de las plantas (marzo 2024), las cuales ya terminaron su periodo juvenil; sin embargo, a nivel de la población total de la huerta, la gran mayoría de los árboles (64%) siguen en su fase vegetativa, a un año de haberse plantado (31 de marzo de 2023), situación que seguramente cambiará en la siguiente floración que se presente y, será entonces cuando podrá contarse la información necesaria para determinar si la mineralización con harina de rocas fue capaz de acortar el periodo juvenil del limón Persa.

Cuadro 5. Cantidad de flores por árbol del limón Persa en etapa vegetativa, establecido con dos coberteras y dos dosis de harina de rocas. 2024.

T	Coberteras	Harina de rocas (kg/planta/año)	Número de flores por árbol					
			Feb 7		Mar 22		Total	
1	Canavalia	2.5	9.50	a ^z	4.00	a	13.50	a
2	Canavalia	5.0	4.50	a	5.00	a	9.50	a
3	Arvenses	2.5	7.50	a	3.75	a	11.25	a
4	Arvenses	5.0	7.42	a	1.58	a	9.00	a
9	Testigo	---	2.75	a	1.83	a	5.58	a
Promedio			6.333		2.233		9.567	
DMS			15.920		9.087		17.205	
CV (%)			216.495		242.044		154.889	

^z Harina de rocas distribuidas en cuatro aplicaciones trimestrales. DMS: Diferencia Mínima Significativa. CV: Coeficiente de Variación.

Conclusiones

A un año de iniciado el estudio se concluye lo siguiente:

Se conoció el efecto de dos coberteras vegetales (Canavalia y arvenses) y de la aplicación de harinas de rocas en dos dosis, en las dimensiones del tallo del patrón e injerto, de la altura y diámetro de copa, de la intensidad de brotación vegetativa y de floración del limón Persa; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. No hubo diferencias estadísticas con relación al periodo para producir la primera floración del limón persa, en respuesta a los tratamientos evaluados.

Literatura citada

Arim, O. J., J. W. Waceke, S. W. Waudu and J. W. Kimenju. 2006. Effects of *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* intercrops on *Pratylenchus zeae* damage and yield of maize in subsistence agriculture. Plant Soil 284(1):243-251.

- Blanco-Canqui., H. and R. Lal. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Crit. Rev. Plant Sci.* 28(3):139-163.
- Cernohlávková, J., J. Jarkovský and J. Hofman. 2009. Effects of fungicides mancozeb and dinocap on carbon and nitrogen mineralization in soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72:80-85.
- Chen S., K., C. A. Edwards and S. Subler. 2001. Effects of the fungicides benomyl, captan and chlorothalonil on soil microbial activity and nitrogen dynamics in laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 33:1971-1980.
- Cycon, M., Z. Piotrowska-Seget. and J. Kozdrój. 2010. Responses of indigenous microorganisms to a fungicidal mixture of mancozeb and dimethomorph added to sandy soils. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 64:316-323.
- Castle, W. S. 2010. A career perspective on citrus rootstocks, their development, and commercialization. *HortScience* 45(1):11-15.
- da Silva-Lopez, R. E. 2012. *Canavalia ensiformis* (L.) DC (*Fabaceae*). *Revista Fitos* 7(03):146-154.
- Dominguez-Monge S., J. D. Mendoza G., S. Ortiz S., R. Sarmiento T. y S. A. Curti-Diaz. 2024. Incidencia del alga (*Cephaleuros virescens*) en limón Persa (*Citrus latifolia*) en Tlapacoyan, Veracruz. Resumen 198. *Rev. Mex. Fitopatol.* 42(Suplemento 2024):S143.
- El-Ghamry., A. M., J. M. Xu, C. Y. Huang and J. Gan. 2002. Microbial response to bensulfuron-methyl treatment in soil. *J. Agric. Food Chem.* 50:136-139.
- Flores, D. C. J. 2022. Estado del arte en relación a la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile. 74 p.

- Furr, J. R. 1961. Earliness of flowering and fruiting of trees propagated from top and basal shopots of young fruiting seedlings. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19620303664> [consultado el 30 de julio de 2024]
- Gómez-Cruz., M. Á., L. Gómez-Tovar and B. G. Gómez-Ochoa. 2021. Transferencia de la innovación de producción orgánica, con bases agroecológicas, a los citricultores de Veracruz. p. 29-36. *In*: Zetina L. R., O. H. Tosquy V., A. L. del Angel P., Á. Rios U., M. V. Vázquez H., V. A. Esqueda E. *et al.* (eds.) Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario Veracruzano 2021. Paso del Toro, mpio. de Medellín, Ver., México.
- Hackett, W. P. 2011. Juvenility, maturation, and rejuvenation in woody plants. *Hortic. Rev.* 7:109-154.
- Hernández, M. C., R. C. Gómez y A. J. C. Aguilar. 2015. Evaluación de siete tipos de composta de materia orgánica. p. 23-28. *In*: Martínez, H. J., R. López L., M. Barrón A., B. Mejía J. XXVII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015 IV Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Tabasco, México.
- Huerta, S. K. K. y A. L. Martínez C. 2018. La revolución verde. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.* 4(8):1040-1052.
- Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy *et al.* 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nat. Commun.* 12(1):1-8.
- Mahmoud, A. F. A., Y. Ikenaka, Y. B. Yohannes, W. S Darwish, E. A Eldaly, A. E. Morshdy, *et al.* 2016. Distribution and health risk assessment of organochlorine pesticides (OCPs) residue in edible cattle tissues from northeastern part of Egypt: High accumulation level of OCPs in tongue. *Chemosphere* 144:1365-1371.

- Meena, R. S., S. Kumar, R. Datta, R. Lal, V. Vijayakumar, M. Brtnicky, *et al.* 2020. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. *Land* 9(2):34.
- Milosevic, N. A. and M. M. Govedarica. 2002. Effect of herbicides on microbiological properties of soil. *Zb. Matice Srp. Prir. Nauke* (102):5-21.
- Pandey, S. and D. K. Singh. 2004. Total bacterial and fungal population after chlorpyrifos and quinalphos treatments in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) soil. *Chemosphere* 55:197-205.
- Pazos-Rojas, L. A., V. Marín-Cevada, Y. E. Morales G., A. Baez, A., M. A. Villalobos-López, M. Pérez-Santos y J. Muñoz-Rojas. 2016. Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *RelbCi* 3(7):72-85.
- Peralta-Gamas, M., J. A. Villanueva J., y S. Nikolaevna M. 2011. Nuevos registros de Aleyrodidae y Diaspididae (Hemiptera: Sternorrhyncha) en plantaciones de Naranja (*Citrus sinensis* L.) de la Chontalpa, Tabasco, México. *BMEUV* 10(1):42-44.
- Rebolledo-Martínez, A., A. L. del Ángel-Pérez, J. V. Megchún-García, J. A. García, J. Nataren-Velázquez and Á. Capetillo-Burela. 2011. Coberturas vivas para el manejo de malezas en mango (*Mangifera indica* L.) Cv. Manila. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 13(3):327-338.
- Revillini, D., C. A. Gehring and N. C. Johnson. 2016. The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant–soil feedback systems. *Funct. Ecol.* 30:1086–1098.
- Salas, B. V., E. G. Duran and M. S. Wiener. 2000. Impact of pesticides use on human health in Mexico: a review. *Rev Environ Health.* 15(4):399-412.
- Simón-Zamora, J. I. 2019. Microbiótica y remineralización de los suelos en manos campesinas. Uruapan, Michoacán, México, 146 p.

Zaller, J. G., F. Heigl, L. Ruess and A. Grabmaier. 2014. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Sci. Rep.* 4(1):1-8.

Zimmerman, R. H. 1972. Juvenility and Flowering in Woody Plants: A Review. *HortScience* 7(5):447-455.

DEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE PIÑA EN FUNCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AUTÓCTONOS

María Enriqueta López Vázquez¹⁸³, Nain Peralta Antonio^{183*}, Andrés Rebolledo Martínez¹⁸³, Rosa Laura Rebolledo García¹⁸³, Saúl Nicerato Lagunes Roldán¹⁸⁴ y María Guadalupe Aguilar Uscanga¹⁸⁵

Resumen

Los microorganismos eficientes autóctonos son una alternativa para acelerar la velocidad de degradación de los residuos de la piña y otros cultivos que quedan en campo posterior a la cosecha. Su reproducción de forma artesanal puede reducir los costos de producción y hacer más accesible dicha tecnología. En esta investigación se determinó el porcentaje de degradación de residuos de piña manejado con diferentes concentraciones y frecuencia de aplicación de microorganismos eficientes, obtenidos de residuos de piña en proceso de descomposición y reproducidos artesanalmente de forma anaeróbica facultativa, con la finalidad de identificar la combinación que logre una mayor velocidad de degradación. El experimento se desarrolló en condiciones de macetas, en el Campo Experimental Cotaxtla. Se utilizó un suelo ácido y de textura franco-arenosa. Una misma cantidad de residuos de hoja y parte leñosa de la planta de piña fue depositada en las macetas y cubierta con suelo. Los tratamientos consistieron en la aplicación de microorganismos eficientes obtenidos de residuos de piña en descomposición y reproducidos artesanalmente de forma anaeróbica. Se combinaron las concentraciones de 5, 10 y 20% y la frecuencia de aplicación quincenal y mensual; comparados con aplicación de agua quincenal y mensual. El diseño experimental fue en bloques al azar, con tres repeticiones, la unidad experimental constó de cuatro macetas. Se encontró que, a los 45 días posteriores al inicio de la aplicación de los tratamientos (finales de junio, previo al inicio de la temporada de lluvia), el rango de porcentaje de degradación fluctuó entre 12 y 31%. A los 92 días después de inicio de la aplicación de tratamientos este rango fluctuó entre 39 y 55%. Sin embargo, en ambas fechas no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Se concluye que, previo al inicio de la temporada de lluvias y aplicando un riego semanal, la tendencia fue un mayor porcentaje de degradación de los residuos con los microorganismos eficientes aplicados en una concentración de 20%; sin embargo, esta tendencia cambió al iniciar la temporada de lluvias, ya que, se redujo la diferencia entre el porcentaje de degradación del suelo que recibió microorganismos eficientes y el suelo que solo recibió agua.

Palabras clave: *Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*, mineralización, reproducción artesanal

¹⁸³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 91700, México. *peralta.nain@inifap.gob.mx; peraltanain@gmail.com

¹⁸⁴ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. A. El Paraíso S/N, Campestre, C.P. 91667. Úrsulo Galván, Ver.

¹⁸⁵ Instituto Tecnológico de Veracruz. Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779. Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver. México. C.P. 91897

Introducción

En México, la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr. var. *comosus*) es el sexto frutal más producido, por debajo de la naranja, aguacate, limón, mango y plátano. La piña se siembra en densidades que van entre 30,000 y 80,000 plantas/ha (Rebolledo *et al.*, 2011); sin embargo, las densidades más utilizadas van de 40,000 a 60,000 plantas/ha. En una plantación de 50,000 plantas/ha, el peso fresco individual de planta fluctúa entre 3.1 y 4.2 kg, lo que representa entre 155 y 210 t/ha de biomasa fresca (Montiel Vicencio *et al.*, 2021). Del total de peso fresco producido, entre el 25 y 58% corresponde al fruto, mientras que, entre el 6 y 14% corresponde a los vástagos (Peña y del Pozo, 1984; Uriza *et al.*, 2018; Montiel *et al.*, 2021). Tanto el fruto, como el hijuelo, son retirados de la unidad de producción, esto significa que, entre el 28 y 69% de la biomasa fresca producida se mantiene en el campo.

Posterior a la cosecha de los vástagos, los residuos de la piña pueden tener diferente destino. En algunos casos, las plantas se mantienen en campo para obtener una segunda o tercera cosecha de frutas, en otros casos, las hojas de las plantas son utilizadas como forraje para bovinos. Una tercera posibilidad es que, los residuos sean quemados o bien incorporados al suelo para iniciar un nuevo ciclo de producción.

Los residuos de piña mantenidos en campo consisten básicamente de hojas, pedúnculo, tallo y raíz. Estos residuos vegetales se caracterizan por estar compuestos entre 7 y 18% de celulosa y entre 55 y 63% de lignina (Leng *et al.*, 2011). Esta característica hace que su proceso de descomposición sea lento. Cuando el productor tiene la intención de establecer una nueva plantación de piña o de cualquier otro cultivo agrícola en el mismo lugar donde se cosecharon los vástagos, debe realizar una serie de labores mediante el uso de maquinaria agrícola. Una alternativa es chapear los residuos de piña, incorporarlos al suelo a través de un paso de rastra y posteriormente esperar alrededor de tres o cuatro meses. Posterior a ese tiempo, se inicia el proceso de preparación de suelo y establecimiento del nuevo cultivo. Si su decisión es establecer de manera inmediata, la labor consiste en chapeo de los residuos de la piña y posteriormente aplicar entre seis y siete pasos de rastra para fragmentar lo más posible dichos residuos vegetales. Desde el punto de vista operativo, no es deseable una espera de tres o cuatro meses para establecer un nuevo cultivo, principalmente cuando se pretende aprovechar el agua de lluvia. De igual forma, tampoco es conveniente un uso excesivo de

maquinaria agrícola ya que, además de incrementar el costo de producción, también puede provocar un desequilibrio en la estructura del suelo, lo que se puede reflejar en mayor pérdida de suelo por erosión y menor eficiencia de fertilización (Gómez *et al.*, 2018).

El uso de microorganismos eficientes es una alternativa que puede ayudar a acelerar la degradación de los residuos de la piña, ya que, se ha comprobado que los microorganismos eficientes pueden acelerar el proceso de mineralización, siempre y cuando existan las condiciones ambientales necesarias. Ciertas especies de hongos, actinomicetos y bacterias producen enzimas específicas que tienen la capacidad de degradar los residuos vegetales (Pedraza *et al.*, 2010). En la actividad agrícola, en los últimos años, ha aumentado el uso de microorganismos. Dichos microorganismos han sido aislados del suelo y son reproducidos en condiciones controladas, a este tipo de productos comúnmente se les conoce como microorganismos eficientes (ME) o microorganismos de montaña. De acuerdo con la información disponible en el mercado, su diversidad y recomendación de uso es amplia, además, dependiendo del origen de dichos productos, el precio por litro puede ser desde \$100.00 hasta \$3,200.00 MXN. Debido a la gran diversidad de microorganismos presentes en el suelo, los microorganismos eficientes se recomiendan para diversos fines entre los que sobresalen la descomposición de residuos orgánicos, control fitosanitario, promotor de crecimiento de la planta y reciclaje de nutrientes (Elnahal *et al.*, 2022; Hidalgo *et al.*, 2022). Aunque en la literatura ya existe información sobre el uso de ME en diversos cultivos anuales y frutales, para el caso de piña, únicamente se reporta el uso de microorganismos como estrategia para la producción de bioetanol (Awasthi *et al.*, 2022). Por lo tanto, es necesario explorar el potencial de los microorganismos para acelerar la degradación de residuos de piña y su impacto en el reciclaje de nutrientes. Una estrategia que puede ayudar a reducir costos para la adquisición de microorganismos eficientes es la reproducción artesanal, ya que implica la colecta de microorganismos locales, la participación directa de los productores, así como una inversión mínima en la adquisición de insumos. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar el porcentaje de degradación de residuos de piña manejado con diferentes concentraciones y frecuencia de aplicación de microorganismos eficientes, obtenidos de residuos de piña en proceso de descomposición y reproducidos artesanalmente de forma anaeróbica facultativa, con la finalidad de identificar la combinación que logre una mayor velocidad de degradación de residuos vegetales.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en condiciones de macetas, en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, México, en las coordenadas 18° 49' 59" LN; 96° 22' 59" LW. El suelo utilizado se obtuvo de una plantación comercial de piña (de 0 a 20 cm de profundidad) ubicado en Cd. Isla, Ver, en las coordenadas 18° 03' 03.7" LN 95° 34' 20.9" LW. Las características del suelo fueron las siguientes: pH de 4.0, con 1.47% de materia orgánica, de textura franco-arenosa (11, 57 y 32% de arcilla, arena y limo). La concentración química del suelo de N (nitrógeno), P-PO₄⁻, S-SO₄⁻², K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Mn⁺ y B³⁺ fue de 24, 64, 20, 200, 1450, 220, 398, 0.6, 1.5, 2.3 y 0.2 ppm, respectivamente. El suelo se depositó en bolsas de polietileno de 36 x 19 x 19 cm de altura, largo y ancho, respectivamente. En cada maceta se agregaron 8 litros de suelo. Se realizó el registro de temperatura y precipitación durante el periodo del experimento (Figura 1).

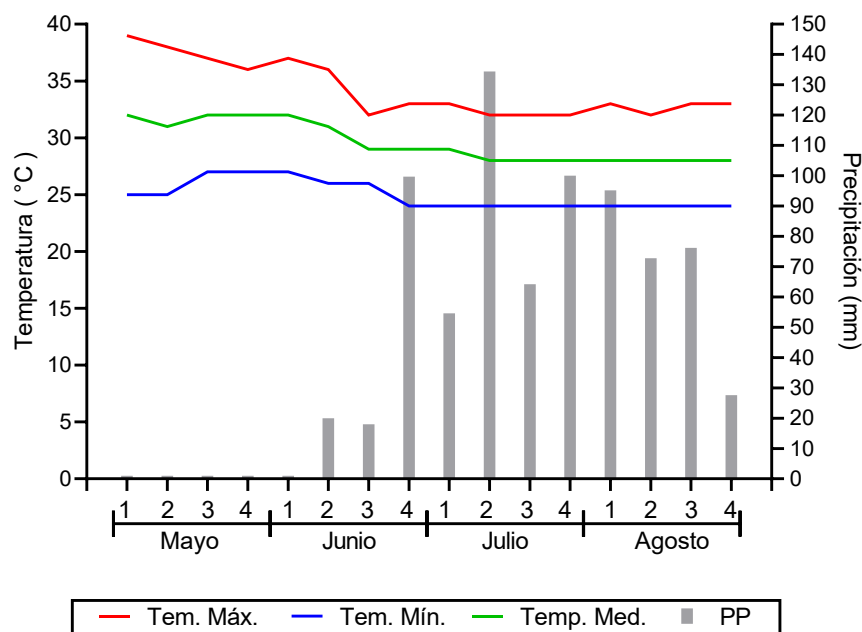


Figura 1. Comportamiento de la temperatura máxima (Tem. Máx), temperatura mínima (Tem. Mín.), temperatura promedio (Temp. Med.) y la precipitación (PP) de mayo a agosto de 2024, en Medellín, Veracruz.

Reproducción de microorganismos eficientes autóctonos

Los microorganismos eficientes se obtuvieron de residuos de plantas de piña colectados en un acahual, en la región de los Robles, municipio de Medellín, Veracruz. Los diferentes órganos de la planta se encontraban secos. Dichos residuos se trasladaron a un área sombreada, se depositaron sobre el suelo, se humedecieron una vez cada siete días, con agua de pozo y se mantuvieron cubiertos con un plástico negro. La reproducción anaeróbica de los microorganismos se detectó por una tonalidad blanquecina en la parte superficial de los residuos, lo cual es un indicador del proceso de degradación (Figura 2). La reproducción anaeróbica facultativa de los microorganismos autóctonos se realizó de forma artesanal, de acuerdo con las indicaciones de Rebolledo *et al.* (2012). Por cada 150 litros de agua se utilizaron, 2 kg de los residuos vegetales en degradación, 2 kg de salvadillo de trigo, 2 kg de harina de maíz y 0.5 kg carbón vegetal triturado en partículas de 0.5 cm de diámetro. Como fuente de energía se utilizó melaza diluida en agua al 10%. El producto se elaboró por una única vez y se comenzó a utilizar 15 días posteriores a su elaboración.



Figura 2. Hojas y raíces de la planta de piña en proceso de degradación, que presentan diferentes estructuras de microorganismos degradadores.

Diseño experimental y tratamientos

Los tratamientos consistieron en la combinación de los siguientes factores: la concentración del producto obtenido (aplicado al 5, 10 y 20%) y la frecuencia de aplicación (cada 15 y 30 días). Se utilizaron como testigos, agua aplicada cada 15 y 30 días. En total resultaron ocho tratamientos. El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones, la unidad experimental constó de cuatro macetas.

Residuos de piña para evaluar degradación

Los residuos utilizados corresponden a plantas de piña MD-2, los cuales se obtuvieron de una plantación comercial recién cosechada. Posterior a la cosecha, las plantas se chapearon con maquinaria agrícola, lo cual es una práctica común realizada por los productores de piña. Al momento de la colecta, las hojas ya estaban deshidratadas e iniciando el proceso de degradación. Para estimar la cantidad de materia seca por hectárea, se colectaron 10 muestras representativas al azar, de 1 m², cada una. Posterior a ello, se cuantificó la cantidad de biomasa presente y se separaron las hojas y la parte leñosa (compuesta por raíces, tallos y pedúnculos). De cada metro cuadrado, se tomaron muestras representativas y se colocaron en una estufa de aire forzado a 70°C hasta alcanzar peso constante.

Para estimar la cantidad de materia seca por maceta, se consideró la materia seca de los residuos de piña estimada por hectárea (21 t) y el volumen de suelo de una hectárea a 0.2 metros de profundidad (2,000,000 de litros de suelo), ya que, en este estrato se desarrolla el sistema radicular de la piña.

En cada maceta, se adicionaron 103 g de residuos de piña (76 y 27 g de materia seca de hoja y tallo, respectivamente). Para simular el efecto de una rastra, en cada bolsa, se colocó de fondo 3 L de suelo, posteriormente, se depositaron los residuos de piña, para finalizar, se adicionaron los 5 L de suelo restante.

Conducción del experimento

Un día antes de la aplicación de los tratamientos, todas las macetas se saturaron de agua. La primera aplicación de los microorganismos eficientes se realizó el 7 de mayo de 2024. Para definir la cantidad de solución por maceta, se consideró una densidad de plantación de 50,000 plantas/ha y la capacidad de un equipo de aspersión, que fue de 3000 L de solución. Cada

maceta se consideró como una planta, por lo tanto, se aplicaron 60 mL de la solución por maceta.

Durante todo el experimento las macetas se mantuvieron a capacidad de campo, por lo que, se realizaron riegos cada vez que fue necesario.

Al mantenerse el suelo húmedo, germinaron las semillas de arvenses locales, que en un 99% correspondió a coquillo (*Cyperus rotundus*), las malezas se podaron bimestralmente.

Degradación de residuos de piña

Para medir la degradación de residuos de piña, se realizaron dos muestreos, a los 45 y 92 días posteriores al inicio de la primera aplicación. En este tiempo se realizaron cuatro y siete aplicaciones de tratamientos que corresponden a una frecuencia quincenal y mensual, respectivamente.

Para cada fecha de muestreo, en cada unidad experimental, se recuperaron los residuos de piña. Para recuperar los residuos, el suelo se tamizó utilizando una malla con apertura de 0.4 mm. Los residuos de piña que no atravesaron la malla, se colectaron, se enjuagaron con agua para eliminar el exceso de suelo y posteriormente se colocaron en una estufa de secado de aire forzado a una temperatura de 70°C, hasta alcanzar peso constante.

El porcentaje de degradación se estimó considerando la cantidad de materia seca colocada inicialmente de las macetas y la cantidad de materia seca recuperada en cada fecha de muestreo. Se utilizó la siguiente ecuación (Bayas y García, 2022):

$$\text{Degradación (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{Cantidad de materia seca recuperada} \times 100}{\text{Cantidad de materia seca inicial}} \right)$$

Análisis de datos

Para comparar el efecto de los tratamientos se realizó un análisis de varianza y análisis de comparación medias de Tukey, ambos con un 95% de probabilidad ($p \leq 0.05$). Para los análisis estadísticos de porcentaje de degradación de los residuos de piña, los datos se transformaron a través de $\sqrt{x+1}$.

Resultados y discusión

A los 45 días posteriores al inicio de la aplicación de los tratamientos, el rango de porcentaje de degradación fluctuó entre 12 y 31%. A los 92 días después de inicio de la aplicación de tratamientos este rango fluctuó entre 39 y 55%. Sin embargo, en ambas fechas no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 3).

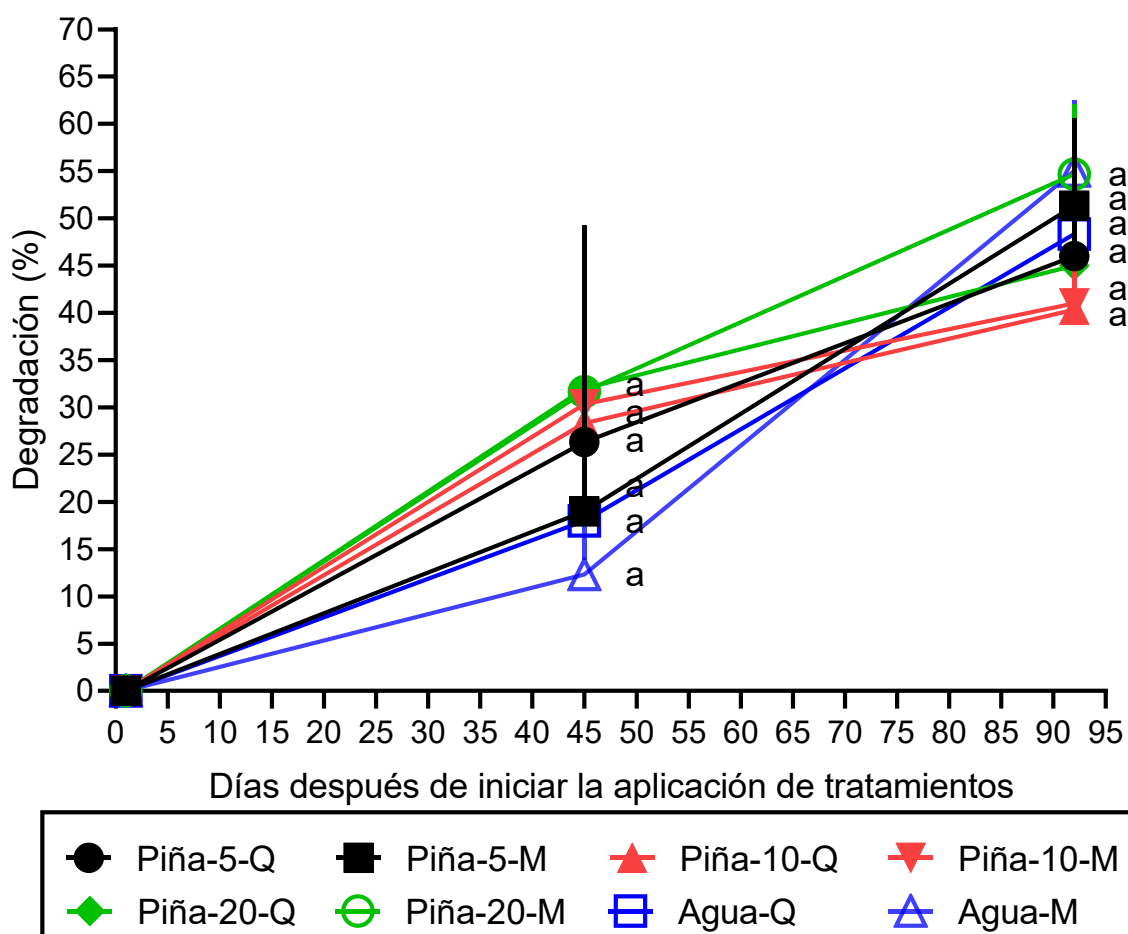


Figura 3. Porcentaje de degradación de residuos de piña colocados en macetas y manejados con microorganismos eficientes autóctonos colectados de residuos de piña en proceso de descomposición y multiplicados de forma anaeróbica facultativa. Se diluyó en agua en las concentraciones de 5, 10 y 20% (5, 10 y 20), aplicado con frecuencia quincenal (Q) o mensual (M).

Inicialmente se esperaba encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos, ya que, estudios previos han demostrado que la aplicación de microorganismos eficientes acelera la degradación de residuos orgánicos (Jusoh *et al.*, 2013; Ghasemzadeh *et al.*, 2022). Esta tendencia esperada se mantuvo en los primeros 45 días posteriores al inicio de la aplicación de tratamientos, ya que, se obtuvo hasta un 31% de degradación en las macetas donde se aplicaron microorganismos eficientes en una concentración del 20%, mientras que, donde se aplicó agua, el máximo porcentaje de degradación fue del 18%.

Estos primeros 45 días se cumplieron antes de la cuarta semana de junio, para este momento, la humedad del suelo dependía exclusivamente del agua de riego. Se especula que esta limitación de humedad favoreció principalmente a los microorganismos eficientes exógenos, mientras que, evitó la acción de los microorganismos que ya estaban originalmente en el suelo. Esta situación cambió a partir de la cuarta semana de junio, ya que, inició la temporada de lluvias y el suelo se mantuvo húmedo por un mayor periodo. Considerando que la temperatura ambiental fluctuó entre 24 y 34°C, se espera que, estas condiciones hayan favorecido la acción de los microorganismos del suelo en los tratamientos que solo incluyeron agua, en consecuencia, se redujo la diferencia en la velocidad de degradación entre tratamientos.

Estos primeros resultados pueden servir como antecedentes para estudios futuros, en nuestro caso, se utilizó un suelo ácido y degradado; por lo tanto, se prevé que los resultados puedan cambiar en suelos con características diferentes y otros residuos vegetales. Se recomienda considerar mayores concentraciones de los microorganismos eficientes y obtener microorganismos de otros tipos de residuo vegetal.

Conclusiones

Previo al inicio de la temporada de lluvias y con un riego semanal, la tendencia fue un mayor porcentaje de degradación de los residuos de la piña con los microorganismos eficientes autóctonos, aplicados en una concentración de 20%; sin embargo, esta tendencia cambió al iniciar la temporada de lluvias, ya que, se redujo la diferencia entre el porcentaje de degradación del suelo que recibió microorganismos eficientes y el suelo que solo recibió agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET), por el financiamiento otorgado al proyecto CP 1111 1707/2023 titulado: “Microorganismos autóctonos para acelerar la degradación de residuos de cosecha de piña”, del cual se originó la información presentada en este trabajo.

Literatura citada

- Awasthi, M. K., N. I. W. Azelee, A. N. M. Ramli, S. A. Rashid, N. H. A. Manas, D. J. Dailin and B. Ravindran. 2022. Microbial biotechnology approaches for conversion of pineapple waste in to emerging source of healthy food for sustainable environment. *Int. J. Food Microbiol.* 373:109714.
- Bayas, L. y D. García. 2022. Alternativa sustentable (Takakura) para la minimización de residuos orgánicos en la finca Saltos, cantón Salitre, Ecuador. *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien.* 16(2): 348-356.
- Elnahal, A. S., M. T. El-Saadony, A. M. Saad, E. S. M. Desoky, A. M. El-Tahan, M. M. Rady, and K. A. El-Tarabily. 2022. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *Eur. J. Plant Pathol.* 162: 759–792.
- Ghasemzadeh, S., R. Sharafi, G. Salehi J., E. Karimi, M. R. Ardakani and S. Vazan. 2022. Efficient lignocellulose degradation during rice straw composting with native effective microorganisms and chicken manure. *Org. Agr.* 12(3):397-409.09.
- Gómez, C. N., K. Villagra M. y M. Solórzano Q. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Tecnología en Marcha* 31(1):167-177.

- Hidalgo, D., F. Corona, and J. M. Martín M. 2022. Manure biostabilization by effective microorganisms as a way to improve its agronomic value. *Biomass Conv. Bioref.* 12: 4649–4664.
- Jusoh, M. L. C., L. A. Manaf and P. A. Latiff. 2013. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *J Environ Health Sci Engineer* 10(17):1-9.
- Leng, L. Y., M. H. A. Husni and A. W. Samsuri. 2011. Comparison of the carbon-sequestering abilities of pineapple leaf residue chars produced by controlled combustion and by field burning. *Bioresour. Technol.* 102(22):10759-10762.
- Montiel, V. G., N. Peralta A., A. Rebolledo M., L. Rebolledo M., M. E. López V., R. L. Rebolledo G. y D. E. Uriza A. 2021. Biomasa y rendimiento de piña MD2 en función del tipo de fertilizante y acolchado plástico. p. 512-524. *In.* Zetina L. R. *et al.* Ciencia y tecnología para el campo mexicano: Retos y Oportunidades. INIFAP, CIRGOC. Medellín, Ver., México.
- Pedraza, R. O., R. S. Teixeira K., A. Fernández S., I. García de Salome, E. Baca B., R. Azcón, L. D. Baldani V., R. Bonilla. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Ciencia Y Tecnología Agropecuaria* 11(2):155-164.
- Peña, P.M. y P. del Pozo. 1992. Explotación de pastos y forrajes. ISCAH: La Habana, Cuba. 106 p.
- Rebolledo, M. A., D. E. Uriza A., A. L. del Ángel P., L. Rebolledo M. y R. Zetina L. 2011. La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Rebolledo, M. A., J. Natarén V. y A. L. Del Ángel P. 2012. Elaboración de productos orgánicos: composta, bocashi, biostimulantes, humo líquido y sulfocalcio. Folleto Técnico para Productores Núm. 17. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz.

Uriza, A. D. E., A. Torres A., J. Aguilar A., V. H. Santoyo C., R. Zetina L. y A. Rebolledo M. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH.

DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y ETNOBOTÁNICA DE NOPAL (*Opuntia* spp.) EN EL MUNICIPIO DE OCOTEPEC, PUEBLA

Diana Leticia Reyes Martínez^{186*}, Ramiro Escobar Hernández¹⁸⁶, Luis Antonio Domínguez Perales¹⁸⁶,
Guillermo Jesuita Pérez Marroquín¹⁸⁶ y Raúl Berdeja Arbeu¹⁸⁶

Resumen

Conocer la diversidad de especies de *Opuntia* nos permite tomar decisiones para su uso racional que permita preservarlas, así como su obtención de posibles aplicaciones alternativas y el conocimiento de la distribución para la utilización y manejo agronómico de las diferentes localidades estudiadas para construir una base de datos que permita ampliar el conocimiento de las especies de este género. El estudio se realizó en las localidades del municipio de Ocotepec, en el estado de Puebla, se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado, se realizó encuestas al azar a 58 personas propietarios de especies de *Opuntia* en las localidades estudiadas con preguntas con relación al consumo y el conocimiento sobre los usos alternativos que se le pueden dar al nopal; los datos se representaron con gráficas de barras, al mismo tiempo en campo se obtuvieron datos morfológicos cuantitativos y cualitativos para la caracterización que se realizó en 99 plantas en total de *Opuntia* de los 58 encuestados, se realizó su georreferenciación y se elaboraron mapas de la distribución de las plantas caracterizadas en las localidades del municipio, además de la utilización de imágenes que se capturaron en campo. Con los datos de la caracterización de las plantas se elaboró una matriz para realizar un dendrograma usando la distancia euclidiana y el método de agrupamiento UPGMA y para las variables se realizó un análisis de componentes principales (ACP). El conocimiento de los habitantes acerca de los usos de nopal en donde predominó más los usos comestible y medicinal. De las especies de nopal identificadas, dos especies *Opuntia streptacantha* y *Opuntia ficus indica* presentaron características morfológicas que permiten dar mayor aprovechamiento en diferentes usos como forrajero, en la agricultura, el comercial e industrial. Este trabajo permitirá a futuras investigaciones que enriquezcan el acervo de conocimiento de las diferentes especies de *Opuntia* encontradas en el municipio de Ocotepec, Puebla.

Palabras clave: etnobotánica, usos, caracterización, distribución geográfica

¹⁸⁶ Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, San Juan Acateno, Teziutlan, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Autor de correspondencia: dianares92@gmail.com

TENDENCIAS EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE EMISIONES DE AMONIACO NH_3 EN LA AGRICULTURA MEDIANTE VOSVIEWER

Katya Álvarez Lagunes¹⁸⁷, Josafhat Salinas Ruiz¹⁸⁷, Irene Gutiérrez Mora¹⁸⁷
y Joel Velasco Velasco^{187*}

Resumen

La agricultura es una fuente de emisión de gases a la atmósfera como el amoníaco (NH_3), un compuesto de nitrógeno (N) altamente reactivo, que ejerce un impacto negativo tanto a nivel ecológico como agronómico. Ecológicamente, altera los ecosistemas naturales. En términos agronómicos, afecta la calidad del suelo debido a la pérdida de N del suelo, y al aumento de su acidez por la deposición de N, y, disminuye el rendimiento de los cultivos. El objetivo del estudio fue mostrar la evolución y las tendencias de las investigaciones sobre las emisiones de NH_3 en la agricultura, derivadas de la urea. Se utilizó el método prisma para la recopilación de documentos de la base de datos scopus® (www.scopus.com) de 1987 a 2024. Se utilizó términos como “ammonia emission” and urea presentes en título de artículos, resúmenes y palabras clave. El análisis bibliométrico utilizó 265 documentos. Se cuantificaron las publicaciones por año, países, revistas, áreas de interés y los artículos más citados. Se realizó un mapeo de co-ocurrencias de palabras clave empleadas en la literatura científica mediante el software VOSviewer®. El análisis reveló un aumento de las publicaciones científicas sobre emisiones de NH_3 en los últimos cinco años. China y Estados Unidos son los países líderes en publicaciones sobre el tema. Las revistas Journal Of Dairy Science y Atmospheric Environment destacan como las más prolíficas. El análisis de co-ocurrencias de palabras clave, asociadas con los términos “application fertilizer”, “nitrogen”, “agriculture” y “soil emission” resaltan los aspectos más relevantes y discutidos en la literatura científica, como son la estimación y mitigación de emisiones agrícolas asociadas al uso de fertilizantes nitrogenados como la urea hasta el impacto de la dieta animal. Estos hallazgos enfatizan la gestión de prácticas agrícolas, para asegurar la producción de cultivos, reducir las emisiones de NH_3 y el impacto ambiental.

Palabras clave: fertilizantes nitrogenados, estiércol y emisión de gases

¹⁸⁷ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. CP. 94953. *Autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx

CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS EN CÁLCICES DE *Hibiscus sabdariffa* EN FUNCIÓN DEL AMBIENTE DE PRODUCCIÓN

Jesús Mao Aguilar Luna^{188*}, Benjamín Barrios Díaz¹⁸⁸, Hipólito Hidalgo Manzano¹⁸⁸,
y José Ángel Alcántara Jiménez¹⁸⁹

Resumen

Lo más destacable de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) es su cáliz, el cual se usa para preparar infusiones con propiedades antioxidantes. Los tonos más oscuros de ellos son los que poseen más antocianinas; aunque la variedad, grado de madurez y ambiente de producción, influyen en la concentración de antocianinas. El objetivo fue evaluar la influencia del ambiente de producción en la concentración de antocianinas en cálices de jamaica. Los experimentos tuvieron un diseño factorial 4x4x4, en bloques al azar. Los tratamientos resultaron de la combinación de densidades de plantación (15625, 20833, 31250 y 41666 plantas/ha), variedades (Alma Blanca, Escarlata de Chiautla, Quinba R-TC y Sudán) y ambientes de producción (Guerrero, Oaxaca, Puebla y Quintana Roo). Se determinó el porcentaje de antocianinas más abundantes en jamaica (delfinidina-3-sambubiósido y cianidina-3-sambubiósido), mediante HPLC. Los datos se analizaron con Rstudio. A los 200 días después del trasplante se obtuvo más del 85% de cálices maduros. La variedad Sudán en un ambiente cálido seco (Oaxaca) con 15625 plantas/ha, alcanzó la mayor concentración de pigmentos con 4.0 mg/g. El porcentaje relativo más alto de delfinidina-3-sambubiósido (62.56%) y cianidina-3-sambubiósido (25.49%) se obtuvo en Sudán a 15625 plantas/ha (densidad baja) y ambiente seco (Guerrero). Valores bajos se encontraron en Alma Blanca (6.16 y 3.13% de delfinidina-3-sambubiósido y cianidina-3-sambubiósido, respectivamente) a 41666 plantas/ha (densidad alta) y ambiente húmedo (Quintana Roo). La concentración de antocianinas aumentó en todas las variedades, a medida que la densidad de plantación disminuyó y el ambiente de producción fue más seco.

Palabras clave: antioxidantes, cianidina, delfinidina

¹⁸⁸ Ingeniería Agroforestal, BUAP. *Autor por correspondencia: mao.aguilar@correo.buap.mx

¹⁸⁹ Centro de Estudios Profesionales, CSAEGRO.

ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL CULTIVO DE TOMATE

Miguel Ángel Rodríguez Chiunti^{190*}, Arturo Heribia Virues¹⁹⁰ y Adán Vidal Gamboa¹⁹⁰

Resumen

Para la producción óptima de cultivos el recurso hídrico es uno de los principales insumos, el cual se aplica mediante sistemas de riego para potencializar los rendimientos con un costo de energía eléctrica que representa el 10% del total del costo de producción del cultivo (FIRA, 2018). Datos del INEGI (2023) indican que el 99% de las viviendas habitadas en México cuentan con energía eléctrica; de ellas, el 0.25% utilizan como fuente alternativa la energía solar. Sin embargo, muchas zonas rurales poco pobladas del país y alejadas de las redes eléctricas no demandan tanta potencia como en lugares urbanos lo que hace más costoso extender la red eléctrica estas zonas rurales, que instalar sistemas solares fotovoltaicos. El objetivo general de este trabajo fue establecer un sistema de riego por goteo funcional, a través de energía solar fotovoltaica en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero en Cosamaloapan, Veracruz financiado por el COVEICYDET. Para ello, se determinó la evapotranspiración del cultivo (ETc) por medio del método de Blaney-Criddle dando como resultado un valor de 4.15 mm/día, posteriormente se determinó el volumen de agua diario requerido por planta (Var) (1.10 L/planta/día). El sistema de riego está constituido por dos paneles solares de 450 W cada uno, una bomba solar de 600 W, un reservorio de agua de 1100 L, un sistema de inyección venturi de ¾", 90 m de poliducto de 16 mm de diámetro y 300 goteros autocompensantes. En cuanto al material vegetal se utilizó la variedad de tomate Río Grande la cual posee frutos rojos de forma largada, con peso promedio de 120 gramos y un rendimiento potencial de 1.8 kg/planta bajo campo abierto y entre 3 y 4.5 kg/planta bajo invernadero. A través de la energía solar se genera energía de manera económica y sostenible ya que se puede alcanzar un ahorro del 50% anual haciendo una inversión única con una producción garantizada de energía de 25 a 30 años, mientras que la energía eléctrica se tendría que seguir pagando en cada uno de los ciclos del cultivo lo cual implica más gastos.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, agua, evapotranspiración, hídrico, plantas

¹⁹⁰ Tecnológico Nacional de México Campus Cosamaloapan. *Autor de correspondencia: agromiguelrc@gmail.com

EFFECTO DE LAS BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (BPCV) EN LA GERMINACIÓN DE MAÍCES CRIOLLOS

Karla Arroyo Guevara¹⁹¹, José Claudio Bernal Alzate*, Anayeli Torres Beltrán¹⁹¹,
y Daniel Ruíz Juárez¹⁹²

Resumen

El maíz es pilar en la industria alimentaria jugando un papel importante en la dieta de numerosas poblaciones, en la sierra norte de Puebla, en donde la humedad relativa es alta todo el año y los terrenos tienen pendientes de hasta un 40%; sumando a esto, los campesinos siembran variedades criollas, por lo que la germinación y el desarrollo óptimo del cultivo son retos importantes para la agricultura. El objetivo de este trabajo fue aislar, caracterizar y evaluar el efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) obtenidas en la sierra norte de Puebla. Se colectaron muestras de suelos en tres predios en el municipio de Zacatlán (19° 50' 06" N y 20° 08' 12" O) y Ahuacatlán (19° 58' 48" N y 20° 05' 18" O). El aislamiento se realizó mediante tres medios de cultivo diferentes (B. de King, YPD, TY). La caracterización de BPCV se realizó por morfología colonial, crecimiento en medios específicos y pruebas bioquímicas de las colonias. Para la germinación se dispusieron semillas de tres diferentes variedades de maíz criollo, desinfectadas con NaClO 1% y se adicionaron las bacterias en una concentración de 280×10^{-4} UFC durante 2 h, se colocaron en toallas de papel absorbente con 50 mL de agua destilada estéril y se mantuvieron en bolsas Ziploc® para llevarse a incubadora a una temperatura de $29 \pm 2^\circ\text{C}$, se monitoreó el porcentaje de germinación y el desarrollo radicular (longitud y número de raíces nodales) durante las primeras 96 h. Se realizó un ANOVA factorial en el programa SPSS Statistics® V23. Se identificaron las bacterias *Bacillus mycoides*, *Pseudomonas fluorescens* y *P. putida*. No se encontraron diferencias significativas para el porcentaje de germinación; pero, *B. mycoides* y *P. fluorescens* tuvieron efecto en la longitud radicular ($P \leq 0.05$). La interacción ($P \leq 0.05$) entre BPCV y variedades de maíz sólo se presentó en el número de raíces nodales. En conclusión, la inoculación de semillas de maíz con BPCV no influye en la germinación; sin embargo, estimula el crecimiento radicular y el número de raíces nodales, pudiendo ser una alternativa para mejorar el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: bio-estimulación, biotecnología agrícola, cultivos agroindustriales, seguridad alimentaria

¹⁹¹ Universidad Interserrana del estado de Puebla Ahuacatlán. Dirección Los llanos km1 carretera Amixtlán San Andrés Tlayehualancingo 73330, Ahuacatlán, Puebla.

¹⁹² Universidad Autónoma metropolitana Unidad Xochimilco. Dirección Calzada del hueso 1100, Coapa, Villa quietud, Coyoacán, 04960 Ciudad de México, CDMX.

ANÁLISIS DE ANTOCIANINAS EN PAPA OCA-NATIVA (*Oxalis tuberosa*) SECA Y FRESCA EN AHUACATLÁN, PUEBLA

Fátima Ortiz Trápala¹⁹³ y Anayeli Torres Beltrán^{193*}

Resumen

Las antocianinas son pigmentos flavonoides responsables de los colores rojos, morados y azules en muchas frutas y verduras, incluyendo la papa Oca Nativa (*Oxalis tuberosa*). Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes y beneficios para la salud. Este estudio evalúa la concentración de antocianinas en la papa Oca Nativa en diferentes formas de preparación y la influencia de la cáscara en su contenido. El objetivo fue analizar las variaciones en el contenido de antocianinas en la papa Oca Nativa dependiendo de la presencia de la cáscara y el estado de la papa (seca o fresca). La cuantificación de antocianinas se realizó por el método de pH diferencial, que permite una medición rápida y precisa de antocianinas, incluso en presencia de pigmentos degradados y otros compuestos de interferencia (pH 1 coloreadas y pH 4.1 incoloras). Se analizaron seis tipos de muestras: papa seca sin cáscara (PSSC), papa seca con cáscara (PSCC), cáscara seca (CS), cáscara fresca (CF), papa fresca sin cáscara (PFSC) y papa fresca con cáscara (PFCC). La absorbancia de cada muestra se midió a una longitud de onda de 520 nm y 700 nm, empleando la ecuación de Lambert-Beer. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey al 0.05. La mayor concentración de antocianinas se encontró en las papas secas con cáscara, con un valor de 335.64 mg/100 g de materia seca. Esto sugiere que el secado no solo conserva, sino que posiblemente concentra los niveles de antocianinas en la papa Oca Nativa. La cáscara es crucial en la retención de estos pigmentos, ya que la cáscara seca sola mostró una concentración de 321.96 mg/100 g ms, ligeramente inferior pero relativamente alta. En contraste, la papa fresca sin cáscara presentó una notable reducción en la concentración de antocianinas, con un valor de 203.72 mg/100 g ms. Esto resalta la significativa contribución de la cáscara al contenido total de antocianinas en la papa. La investigación revela que estos pigmentos se encuentran en niveles más altos en la cáscara, sugiriendo que este componente no solo protege los pigmentos, sino que también influye en la intensidad y estabilidad de su coloración.

Palabras clave: papa Oca Nativa, antocianinas, cáscara de papa

¹⁹³ Universidad Interserrana del estado de Puebla- Ahuacatlán. *Autor de correspondencia: anayeli.torres@uipea.edu.mx – Agrícola.

USO DE LIXIVIADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CHÍCHARO CON DOS SISTEMAS DE TUTORADO

Isabel Alemán Chávez¹⁹⁴, Luis G. Hernández Montiel¹⁹⁵, Guillermo Alafita Vásquez¹⁹⁴,
y Liliana Lara Capistrán^{194*}

Resumen

El hábito rastrero del cultivo de chícharo requiere un sistema de tutorado lo más eficiente posible y que facilite las labores de manejo. Aunado a esto, la utilización de diversos abonos orgánicos como los lixiviados puede ser una alternativa para reducir la aplicación de fertilizantes inorgánicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los lixiviados de heces de borrego y de pulpa de café, sobre la morfología, contenido proteico y rendimiento del cultivo de chícharo cv. Early Perfection, en sistemas de producción de tutorado con rafia agrícola y espaldera, ambos a cielo abierto. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis tratamientos: T1. Tutorado con rafia agrícola (TRA), 2. Tutorado con rafia agrícola más lixiviado a base de lombricomposta de pulpa de café en dosis de 240 mL por cada 8 L (TRA+LPC), 3. Tutorado rafia agrícola más lixiviado de heces de borrego en dosis de 240 mL por cada 8 L (TRA+LHB), 4. Tutorado tipo espaldera (TTE), 5. Tutorado espaldera más lixiviado a base de pulpa de café (TTE+LPC) y 6. Tutorado espaldera más lixiviado a base de heces de borrego (TTE+LHB); cada tratamiento con 3 bloques de 6 m² y cada uno con 1200 plantas. Se evaluaron altura de planta, diámetro de tallo, número de flores y vainas, contenido de proteína en vainas y rendimiento total, mediante la suma de cuatro cosechas. El análisis de varianza y prueba de Tukey se realizó con el programa Statistica con significancia de 0.05%. Se observaron diferencias significativas en el tratamiento TRA+LHB (Tukey, $P \leq 0.05$) con relación al tratamiento que obtuvo valores menores (TTE) en altura de planta (27.3%), diámetro de tallo (26.83%), número de flores y vainas (73.08%) e incrementos de proteína en vainas del 55%; tendencia que se repite para la variable producción total con incrementos del 66.45%. Con lo anterior se concluye, que el cultivo de chícharo fertilizado con lixiviado de heces de borrego y manejo de tutorado con rafia es una alternativa de producción que permite disminuir el uso de fertilizantes sintéticos.

Palabras clave: 'Early Perfection', proteína, fertilización orgánica

¹⁹⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas, Región Xalapa. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: lilara@uv.mx

¹⁹⁵ Grupo de Nanotecnología & Biocontrol Microbiano, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO FLORAL EN CULTIVO DE ANTURIO (*Anthurium andreanum* L.) BAJO INVERNADERO EN CUITLÁHUAC, VER.

Joaquín Murguía González^{196*}, Otto Raúl Leyva Ovalle¹⁹⁶, Pablo Andrés Meza¹⁹⁶,
María Elena Galindo Tovar¹⁹⁶, José Luis del Rosario Arellano¹⁹⁶, Ariel Calzada Medina¹⁹⁶
y Roberto Daniel Palacios Malpica¹⁹⁶

Resumen

Con el fin de programar la producción de flores de anturio (*Anthurium andreanum* L.) en fechas determinadas para la comercialización, en el Municipio de Cuitláhuac, Ver. México, se estableció un experimento bajo condiciones de invernadero para evaluar el desarrollo floral y la producción en el cultivo del anturio en respuesta al tipo de la variedad. Se utilizaron plantas de 13 años de edad y una altura de 45-50 cm de las variedades de anturio 'Fire', 'Santé', 'Ángel' y 'Polaco'. Las evaluaciones se realizaron de julio a noviembre del año 2022. El diseño experimental utilizado fue un Completamente al Azar, con cuatro repeticiones, las fuentes de variación fueron: variedad, planta y tiempo. Las variables evaluadas fueron apertura de flor: tiempo (días); altura (cm) y grosor del tallo floral (mm), largo (cm) y ancho (cm) de la bráctea; maduración de flor: tiempo (días), altura (cm) y grosor del tallo floral (mm), largo (cm) y ancho (cm) de la bráctea; y producción de flor: flores/planta (núm.) y flores/m² (núm.). Los resultados obtenidos mostraron que no hubo diferencias estadísticas entre las variables analizadas, solo hubo diferencias estadísticas significativas en el ancho de la bráctea. Los tallos florales en las variedades de anturio evaluadas, tuvieron desde la aparición, un periodo promedio de 13.25 a 17.50 días a la apertura floral y de 28.25 a 31.67 días a la maduración de las brácteas para su cosecha, siendo la variedad Fire la más precoz con 28.25 días. Durante el periodo evaluado de agosto a noviembre del año 2022, las variedades de anturio Fire, Santé y Polaco, fueron las menos productivas con 1.33 flores/planta y 21.33 flores/m²; la variedad más productiva fue Ángel, con 1.67 flores/planta y 26.72 flores/m². Lo anterior, demuestra que cada variedad presenta variaciones en el tamaño de la flor y la producción.

Palabras clave: tallo floral, apertura de flor, maduración de flor

¹⁹⁶ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: jmurguia@uv.mx

BIOESTIMULANTE GENIFIX® CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN CHILE JALAPEÑO

Félix David Murillo Cuevas¹⁹⁷, Jacel Adame García^{197*}, Ángel Antonio Saucedo Morales¹⁹⁷,
Adriana Elena Rivera Meza¹⁹⁷ y Héctor Cabrera Mireles¹⁹⁸

Resumen

En México hay cuatro variedades de chiles, destacando el chile jalapeño con el 31.2% del volumen de producción nacional, siendo una de las hortalizas de mayor importancia económica y cultural en México. La nutrición de las plantas es un factor clave en el rendimiento del cultivo del chile jalapeño, de tal forma que una deficiencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo se correlaciona con pérdidas en la producción. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del bioestimulante Genifix® en diferentes dosis de fertilización química sobre la calidad de frutos y producción de chile jalapeño. Se utilizó un macrotúnel con dos camas, con 120 plantas en cada cama. Se consideró como el 100% de fertilización química (FQ), una dosis mínima (68 kg/h de nitrógeno y 11 kg/h de fósforo). El bioestimulante Genifix® (Gen) es a base de bacterias *Bacillus* que se aplicó al 20% (v/v). Los tratamientos evaluados fueron: 1) 100FQ, 2) 75FQ, 3) 50FQ, 4) 25FQ, 5) Gen+100FQ, 6) Gen+75FQ, 7) Gen+50FQ, 8) Gen+25FQ y 9) Gen. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, considerando cada bloque como una cama del macrotúnel. Se utilizaron 13 plantas por tratamiento para evaluar producción y seis para la obtención de 20 frutos para evaluar su calidad. Las variables de respuesta fueron: producción en peso total de frutos, y el peso, diámetro ecuatorial y polar de 20 frutos. Se realizó un ANOVA y una comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$. La producción de chile jalapeño con fertilización química al 75 y 50% con Genifix® fue estadísticamente igual a la producción con el 100% de fertilización sin Genifix®. La producción con fertilización al 75% con Genifix® fue significativamente mayor a la producción con un 25, 50 y 75% de fertilización sin Genifix®. En peso, diámetro polar y ecuatorial de frutos, las dosis de fertilización química de 50 y 75% con Genifix® produjeron frutos con pesos y dimensiones estadísticamente iguales a los frutos de plantas con un 100% de fertilización química. El bioestimulante Genifix® permite reducir las dosis de fertilización química en el cultivo de chile jalapeño en condiciones protegidas.

Palabras clave: hortalizas, bacillus, producción protegida

¹⁹⁷ Tecnológico Nacional de México/I.T. Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia: jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

¹⁹⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla.

BIOESTIMULANTE GENIFIX® COMO COMPLEMENTO EN LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA DE JITOMATE

Jacel Adame García¹⁹⁹, Félix David Murillo Cuevas^{199*}, Luis Ángel Lara Morales¹⁹⁹,
José Antonio Fernández Viveros¹⁹⁹ y Adriana Elena Rivera Meza¹⁹⁹

Resumen

La fertilización es clave en el cultivo de jitomate, de tal forma que una deficiencia nutricional de nitrógeno y fósforo se relaciona con pérdidas en la producción; situación que ha llevado a un uso excesivo de fertilizantes químicos, que en la mayoría de los casos no son eficientes y contaminan el ambiente. Una estrategia que garantiza la eficiencia del aprovechamiento de los nutrientes con tasas reducidas de fertilizantes químicos es el uso de bioestimulantes microbianos. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del bioestimulantes Genifix® en diferentes dosis de fertilización química sobre la calidad de frutos y producción de jitomate. Se utilizó un macrotúnel con dos camas, 120 plantas en cada cama. Se consideró como el 100% de fertilización química (FQ), una dosis mínima (70 kg/h de nitrógeno y 30 kg/h de fósforo). El bioestimulante Genifix® (Gen) es a base de bacterias *Bacillus* que se aplicó al 20% (v/v). Los tratamientos evaluados fueron: 1) 100FQ, 2) 75FQ, 3) 50FQ, 4) 25FQ, 5) Gen+100FQ, 6) Gen+75FQ, 7) Gen+50FQ, 8) Gen+25FQ y 9) Gen. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, considerando cada bloque como una cama del macrotúnel. Se utilizaron 13 plantas por tratamiento para evaluar producción y seis para la obtención de 20 frutos para evaluar su calidad. Las variables de respuesta fueron: producción en peso total de frutos, y el peso, diámetro ecuatorial y polar de 20 frutos. Se realizó un ANOVA y una comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$. La producción de jitomate con fertilización química al 75 y 50% con Genifix® fue estadísticamente igual a la producción con el 100 y 75% de fertilización sin Genifix® y significativamente mayor a la del 50 y 25% sin Genifix®. En peso, diámetro polar y ecuatorial de frutos, todas las dosis de fertilización química con Genifix produjeron frutos estadísticamente iguales en peso y dimensiones, pero más grandes y pesados en comparación a los frutos de las plantas con fertilización química sin Genifix®. El bioestimulante Genifix® permite reducir las dosis de fertilización química en el cultivo de jitomate en condiciones protegidas.

Palabras Clave: hortalizas, *bacillus*, producción protegida

¹⁹⁹ Tecnológico Nacional de México/I.T. Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia: felix.mc@ugalvan.tecnm.mx

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR: UNA REVISIÓN CON VOSVIEWER

Irene Gutiérrez Mora²⁰⁰, Aleida Selene Hernández Cázares²⁰⁰, Juan Valente Hidalgo Contreras²⁰⁰, José Luis López Ayala²⁰¹ y Joel Velasco Velasco^{200*}

Resumen

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) enfrenta desafíos como desertificación por exceso de agroquímicos, escasez de agua y bajos rendimientos. La teledetección optimiza el uso de recursos y mejora la gestión agrícola. Para facilitar el análisis y comprensión de las tendencias de la información científica y enfocar la investigación en áreas con mayor potencial de desarrollo se han empleado los estudios bibliométricos. El objetivo de la investigación fue analizar la evolución de las investigaciones científicas sobre la aplicación de la teledetección remota en el cultivo de caña para identificar tendencias, avances y oportunidades. Se recuperaron documentos de la base de datos Scopus® mediante la ecuación de “sugarcane” OR “sugar cane” AND “remote sensing”. Se analizaron 567 documentos desde 1981 hasta el 30 de mayo de 2024, agrupados en cinco clústeres, destacándose términos como: mapping, time series, machine learning, precision agriculture, satellite image, vegetation index y landsat. Las áreas del conocimiento más representadas en la producción científica son: Earth and Planetary Sciences (20%), Agricultural and Biological Sciences (18%), Computer Science (17%) y Environmental Science (12%). El análisis bibliométrico permitió identificar cinco tendencias claves en relación al uso de teledetección en el cultivo de caña de azúcar: 1. Agricultura de precisión, 2. Aplicación de algoritmos inteligentes, 3. Análisis de datos, 4. Uso y generación de índices y 5. Uso y análisis de datos satelitales. A través del software SciMAT se identificó la evolución de los términos a lo largo del tiempo y los temas de mayor interés son el estudio de la cobertura terrestre, la disminución de errores en los modelos, el uso de redes neuronales en apoyo a la toma de decisiones, la combinación de datos terrestres con satélites y vehículos aéreos, así como el desarrollo de redes neuronales convolucionales. México ocupa el puesto número 19 en la producción científica con siete documentos publicados mostrando interés en gestión hídrica, efectos del cambio de uso de suelo y monitoreo fenológico y rendimiento del cultivo.

Palabras clave: agricultura de precisión, satélites, datos satelitales

²⁰⁰ Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable, Km 348 Carretera Córdoba – Veracruz. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. CP. 94953. *Autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx

²⁰¹ Tecnológico Nacional de México – Campus Zongolica. Km 4 carretera a la compañía s/n, Tepetitlanapa, Zongolica, Veracruz, México. C.P. 95005.

DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE LOS SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE CACAHUATE EN TLAXMALAC Y MOCHITLÁN, GUERRERO

Juan Antonio Chamú Baranda^{202*}, Ricardo Jafet Alcocer Bautista²⁰², Martín Solís Martínez²⁰², Norma Ávila Alistac²⁰³ y Mayra Isela Merlos Brito²⁰²

Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó durante el año 2021 en el Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CEP-CSAEGRO), con el propósito de determinar las características físicas y químicas de los suelos agrícolas dedicados a la producción de cacahuete en las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, en el estado de Guerrero, México y, conocer la variabilidad de las condiciones de suelo en que se adapta este importante cultivo. Se colectaron 21 muestras de suelo (11 de Tlaxmalac y 10 de Mochitlán) representativas de las parcelas objetivo. El muestreo se realizó en febrero por el método del zig-zag y las muestras de suelo se analizaron en los laboratorios de suelos y química ambiental del CEP. Los resultados indican que los suelos en estudio presentaron variabilidad en sus propiedades; las clases texturales de mayor presencia son las franco arcillo arenosa y franco arenosa con valores de densidad aparente de 0.97 a 1.30 g/L; de color predominante marrón grisáceo oscuro y marrón oscuro en suelo seco y húmedo, respectivamente; asimismo, los suelos presentan niveles de salinidad (conductividad eléctrica < 1.0 dS/m) que no tiene un efecto perjudicial sobre el cultivo; poseen niveles muy bajos, bajos y medios de materia orgánica (MO), carbono orgánico, nitrógeno total, magnesio y potasio y, contenidos altos y medios de fósforo extractable y, calcio intercambiable; el contenido de sodio intercambiable presentó valores inferiores a 1.0 meq/100 g s.s., y de acuerdo con la relación de adsorción de sodio y el porcentaje de sodio intercambiable los suelos son no sódicos y ligeramente sódicos. El análisis de correlación encontró que la MO del suelo presentó asociación positiva con el contenido de C, N, P, Ca²⁺, K⁺ y Na⁺ y, correlación negativa con el porcentaje de arena. La mayoría de los suelos dedicados al cultivo de cacahuete en Tlaxmalac, son moderadamente ácidos, con contenidos bajos y medios de materia orgánica y, en Mochitlán, son moderadamente alcalinos, con niveles muy bajos en materia orgánica.

Palabras clave: características fisicoquímicas, *Arachis hypogaea* L.

²⁰² Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. *Autor de correspondencia: antonio.chamu@csaegro.edu.mx

²⁰³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos.

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE DE CÁSCARA CON ESTIÉRCOLES, BAJO CONDICIONES DE CASA SOMBRA

Juan Antonio Chamú Baranda^{204*}, Emilio Patricio Morales²⁰⁴ José Emilio Bueno Jáquez²⁰⁴,
Martín Solís Martínez²⁰⁴, Norma Ávila Alistac²⁰⁵ y Enrique García González²⁰⁴

Resumen

La aplicación continua de fertilizantes químicos en la producción hortícola en México genera problemas de salinidad en los suelos debido a su uso irracional; razón por la cual, la búsqueda de alternativas de fertilización en los cultivos amigables con este recurso es pertinente. La presente investigación se realizó en el campo experimental del Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, donde se evaluó la respuesta de las plantas de tomate de cáscara a la incorporación de enmiendas orgánicas (20 kg/m²) al suelo del sitio experimental (textura: arcillosa, pH: 7.47, CE: 0.54 dS/m). Las enmiendas fueron: tierra lama (TL) (textura: arcillo arenosa, pH: 6.01, CE: 0.14 dS/m), estiércoles composteados de bovino (EB), caprino (EC) y guano de murciélago (GM) (textura: orgánico; pH: 7.19, 7.28 y 5.61; CE: 6.95, 5.70 y 5.06 dS/m, respectivamente). Los tratamientos evaluados fueron: T1: Testigo (sin adición de enmiendas al suelo), T2: TL100%, T3: TL50%+EB50%, T4: TL70%+EB30%, T5: TL50%+EC50%, T6: TL70%+EC30% y T7: TL70%+GM30%, los cuales se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por 20 plantas. Las variables respuesta fueron: diámetro del tallo, altura y peso fresco de la planta, peso fresco de la raíz y rendimiento. Los datos se sometieron a análisis de varianza y prueba de medias Tukey (probabilidad 5%) a través del sistema estadístico SAS versión 9.4. A los 39 días después del trasplante, la incorporación al suelo de TL+estiércol indujo mayor diámetro del tallo, altura de las plantas y peso de la raíz superando al testigo en un 61.73, 31.88 y 177.24% con respecto al TL70%+EB30%, TL50%+EC50% y TL70%+GM30%. Asimismo, con TL70%+EB30% el peso de la planta se incrementó significativamente ($p<0.01$) superando en 170.13% al testigo. El rendimiento del fruto alcanzó valores entre 0.382 (testigo) a 0.882 kg/m² (TL50%+EC50%) siendo estadísticamente similares ($p>0.05$). La incorporación de enmiendas orgánicas al suelo favoreció el crecimiento de las plantas y tuvo una tendencia de aumento en el rendimiento de fruto en el cultivo de tomate de cáscara.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa* Brot, estiércol bovino, caprino, guano de murciélago

²⁰⁴ Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. *Autor de correspondencia: antonio.chamu@csaegro.edu.mx

²⁰⁵ Colegio de Postgraduados Campus Montecillos.

EFFECTO DE FITOEXTRACTOS CONTRA *Pestalotiopsis mangiferae*

Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²⁰⁶, Sergio Ayvar Serna²⁰⁷, José Francisco Díaz Nájera^{207*}, Gerardo Casarrubias Ávila²⁰⁷, José Luis Arispe Vázquez²⁰⁸ y Patricio Torres Pastrana²⁰⁷

Resumen

El mango es un frutal tropical es de importancia económica y México es el principal país en exportación de mango a nivel mundial. Sin embargo, las enfermedades fúngicas son el principal problema fitosanitario en el cultivo afectando el rendimiento y calidad de la fruta. Las especies de *Pestalotiopsis* son patógenos comunes en muchos cultivos de importancia económica en el mundo y el mango no es la excepción. El objetivo de la presente investigación fue comparar la efectividad en condiciones *in vitro* de extractos botánicos comerciales contra el patógeno *Pestalotiopsis mangiferae* aislado a partir de hojas de mango. En el presente estudio se probaron los tratamientos: T1= Testigo; T2= Biotika-Gober®; T3= Progranic-CinnAcar®; T4= Biotika-Ricinus®; T5= Biotika-canela®; T6= Progranic-Mega®; T7= Azanim®; T8= Regalia-Maxx®; T9= Hidromet® y T10= Headline®. Estos dos últimos fungicidas sintéticos se incluyeron como tratamientos de referencia. Se utilizó una cepa de *P. mangiferae* con patogenicidad previamente comprobada. Se evaluaron mediante la técnica de cultivo en PDA envenenado, con un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió en una caja Petri con 20 mL de PDA, a la cual se transfirió un disco de PDA con micelio del hongo patógeno, previamente incubado durante 10 días. La incubación se realizó a temperatura y fotoperiodo natural en el laboratorio. Las mediciones del crecimiento micelar y el porcentaje de inhibición del hongo se midió cada 72 h durante 18 días, con los datos de las variables se llevaron a cabo un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$). Se encontró que los tratamientos mencionados presentaron efectividad de 36.47%, 31.76%, 50.59%, 16.47%, 43.53%, 63.53%, 100%, 100% y 100% de efectividad, respectivamente. De estos resultados, se infiere que los tres últimos productos tienen potencial para el control del asilamiento del hongo fitopatógeno obtenido de mango.

Palabras clave: control, tratamientos, mango, patógeno

²⁰⁶ INIFAP-Campo Experimental Valles Altos de Jalisco. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaagro.edu.mx

²⁰⁷ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero.

²⁰⁸ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

APLICACIÓN DE FITOEXTRACTOS *in vitro* CONTRA *Alternaria solani*

Sergio Ayvar Serna²⁰⁹, José Francisco Díaz Nájera^{209*}, Gerardo Casarrubias Ávila¹⁰⁹,
Elvia Temisqueño Teyuco²⁰⁹, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²¹⁰ y José Luis Arispe Vázquez²¹¹

Resumen

El jitomate es de las hortalizas más producidas a nivel mundial. El cultivo es afectado por el tizón temprano (*Alternaria solani*) que provoca defoliación, canchales en tallo y manchas necróticas en fruto. El objetivo de esta investigación fue comparar la efectividad de extractos botánicos y químicos comerciales para inhibir el crecimiento *in vitro* de una cepa de *A. solani* patógeno aislado de jitomate en un experimento en Guerrero. Se probaron los tratamientos T1=Cinn Acar®, T2=Progranic Omega®, T3=Progranic® Mega, T4=Cinna Mix®, T5=Azanim®, T6=Regalia® Maxx, T7=Candor®, T8=Bióloga® Secader y T9=Headline®. Estos dos últimos fungicidas sintéticos se incluyeron como tratamientos de referencia. Los tratamientos se evaluaron mediante cultivo en PDA envenenado y se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones cada uno. La unidad experimental fue una caja Petri con 20 mL de PDA, en donde se transfirió un disco de PDA (1 cm) con micelio del hongo previamente incubado por siete días. Las cajas se incubaron en el laboratorio a temperatura ambiente ($\approx 28^{\circ}\text{C}$) con un fotoperiodo de 12 h (luz/oscuridad). Cada 24 h por siete días se midió el crecimiento micelial y se calculó el porcentaje de inhibición. Se realizó análisis de varianza y se compararon las por la prueba de Tukey al 0.05. Los tratamientos presentaron efectividad de 23.33, 0, 65.93, 57, 60.40, 100, 100, 61.47 y 100% de inhibición, respectivamente. Se concluye que Regalia® Maxx, Candor® y Headline® tienen potencial para el manejo integrado de *A. solani*.

Palabras clave: control químico, hongo fitopatógeno, hortalizas

²⁰⁹ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Centro de Estudios profesionales Cocula Gro. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²¹⁰ INIFAP-Campo Experimental Valles Altos de Jalisco.

²¹¹ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

***Trichoderma* EN EL CONTROL *in vitro* DE *Stemphylium* sp. PATÓGENO DE GARBANZO**

Sergio Ayvar Serna²¹², José Francisco Díaz Nájera^{212*}, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²¹³,
José Luis Arispe Vázquez²¹⁴, Rogelio Velasco Gaytán²¹², Antonio Mena Bahena²¹²,
y Juan Manuel Pichardo Ocampo²¹⁵

Resumen

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una valiosa fuente de proteína, sin embargo, el hongo *Stemphylium* sp. representa un desafío significativo para los productores al causar importantes pérdidas. El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia *in vitro* de diversas cepas de *Trichoderma* sp. contra este patógeno, utilizando muestras aisladas en Rancho de Las Lomas, Guerrero. Para ello, se analizaron tres cepas nativas de *Trichoderma* (TsRLL, TsLF, TsCo) y tres cepas foráneas (*T. virens*, *T. harzianum* y T-22), así como *Trichoderma* sp. (Fithan^{MR}), todas obtenidas del laboratorio de Fitopatología. El estudio se hizo mediante un cultivo dual en cajas Petri con 20 mL de PDA, en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se colocó un disco de 10 mm con micelio de *Stemphylium* sp., cultivado durante 10 días en PDA, en el borde de cada caja. Después de 2 días, se añadió un disco de PDA con micelio de cada cepa de *Trichoderma* sp. en el lado opuesto. La incubación se realizó a temperatura ambiente ($\approx 28^{\circ}\text{C}$) con 12 horas de luz natural. Se evaluaron el tiempo de primer contacto entre el patógeno y las cepas de *Trichoderma*, el tipo de antagonismo (según la escala de Bell) y el porcentaje de inhibición del crecimiento radial del patógeno. Los datos fueron analizados en SAS con análisis de varianza y prueba de Tukey. *T. virens* fue particularmente efectivo, logrando el primer contacto con el patógeno en solo 1 día. Las cepas *Trichoderma* sp. (TsRLL, TsCo), *T. virens* y *Trichoderma* sp. (Fithan^{MR}) demostraron un antagonismo de clase 2, superando al patógeno en un 60%. Las cepas *Trichoderma* sp. TsLF y TsCo lograron la mayor inhibición, con un 53.5%. En conclusión, todas las cepas evaluadas mostraron capacidad de antibiosis y un nivel moderado de antagonismo contra *Stemphylium* sp.

Palabras clave: control biológico, efectividad, fitopatógeno

²¹² Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Centro de Estudios profesionales Cocula Gro. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²¹³ INIFAP-Campo Experimental Valles Altos de Jalisco.

²¹⁴ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²¹⁵ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

POTENCIADORES EN HERBICIDAS: USANDO MENOR CANTIDAD DE PRODUCTO

José Luis Arispe Vázquez^{216*}, Rocío Toledo Aguilar²¹⁶, David Heriberto Noriega Cantú²¹⁶,
José Francisco Díaz Nájera²¹⁷ y Sergio Ayvar Serna²¹⁷

Resumen

Las arvenses representan un problema significativo para los agricultores, ya que impactan directamente en sus ingresos y actúan como plantas hospedantes para plagas y enfermedades, causando efectos indirectos que agravan la situación. El uso de herbicidas químicos constituye la principal estrategia de manejo, pero se requieren alternativas que mitiguen los efectos negativos del uso de herbicidas y aborden los problemas de resistencia. En México, se han reportado casos de arvenses resistentes a herbicidas, por lo que es crucial implementar estrategias que prevengan la resistencia múltiple. En la actualidad, existen “potencializadores” que permiten que algunos herbicidas químicos, bioherbicidas o extractos vegetales sean igual de efectivos, o incluso más, utilizando una dosis menor en comparación con la dosis completa. Diferentes productos como aminoácidos, biofertilizantes, bioestimulantes aumentan el efecto de los herbicidas con solo usar 60 a 80% de la dosis. Se ensayó como potenciador polidimetilsiloxano, un polímero orgánico de silicio (comercial), a dosis de 2 mL/ 1 L de agua, en conjunto con bioherbicida herbitech un (herbicida sistémico y de contacto, de amplio espectro que se utiliza para el control post-emergente de malezas de hoja ancha y angosta), y con un herbicida químico, glifosato a dosis del 100% (de etiqueta). El aceite de semilla de soya (ASS) a dosis de 5 mL/ L potencializa el glifosato, el cual se puede reducir hasta un 50% de la dosis recomendada.

Palabras clave: arvenses, bioherbicidas, control

²¹⁶ INIFAP-Campo Experimental Iguala. *Autor de correspondencia: arispe.jose@inifap.gob.mx

²¹⁷ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero.

USO DE FITOEXTRACTOS Y FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE *Colletotrichum gloeosporioides* Penz

Cecilia Carranza Procopio²¹⁸, José Francisco Díaz Nájera^{218*}, Sergio Ayvar Serna²¹⁸,
José Luis Arispe Vázquez²¹⁹, Antonio Mena Bahena²¹⁸ y Pablo Castañeda de la Cruz²²⁰

Resumen

Colletotrichum gloeosporioides es un hongo fitopatógeno cosmopolita que afecta una amplia gama de cultivos agrícolas. En la actualidad, se implementa el uso de extractos vegetales por ser sustentables y con bajo impacto ambiental. Se colectaron muestras de hojas de orégano con manchas oscuras que se trasladaron al Laboratorio del CEP Iguala, en donde se aisló, purificó y preservó el patógeno causante de la enfermedad, para su identificación con base en su morfología y pruebas de patogenicidad. Se probó la efectividad biológica de los productos comerciales a las dosis recomendadas evaluando los siguientes tratamientos: 1) PROGANIC NeemAcar, 2) REGALIA MAXX, 3) PROGANIC, 4) PROGANIC OMEGA, 5) PROGANIC MEGA, 6) SWITCH, 7) HEADLINE, 8) Luna Experience, 9) Scala, 10) OXICOB, 11) Manzate 200 WP y un testigo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones, siendo la placa de Petri la unidad experimental. La variable de respuesta fue el diámetro de la colonia, para posteriormente calcular el porcentaje de inhibición. Se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos. La identificación morfológica del aislamiento monospórico y la prueba de patogenicidad determinaron que *C. gloeosporioides* es agente causal de la antracnosis. Los productos comerciales Progranic NeemAcar, Progranic Omega, Headline, Luna Experience, Scala y Manzate 200 WP son 100% efectivos para el control *in vitro* de *C. gloeosporioides*.

Palabras clave: antracnosis, extractos vegetales, fitopatógenos

²¹⁸ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²¹⁹ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²²⁰ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

USO DE MICROORGANISMOS CONTRA *Meloidogyne* sp. EN MELÓN

José Francisco Díaz Nájera^{221*}, Sergio Ayvar Serna²²¹, Rogelio Velasco Gaytán²²¹,
William Zárate Martínez²²², José Luis Arispe Vázquez²²³, Antonio Mena Bahena²²¹
y Pablo Castañeda de la Cruz²²⁴

Resumen

El nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) es un problema fitosanitario de importancia global y muy difícil de erradicar, por lo que es necesario probar alternativas sustentables. El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia de productos formulados con hongos, bacterias y extractos vegetales para disminuir la infección por *Meloidogyne* sp. y promover el crecimiento del melón. Se evaluaron los tratamientos: Tango® (consorcio de bacterias), Tri-plus® (consorcio fúngico), Biodie® (fitoextractos), Collision® (micorrizas), y Testigo (sin nematodo), que se aplicaron en plantas sin y con inoculación de juveniles (J2) de *Meloidogyne*. Se utilizaron 10 tratamientos con cinco repeticiones en diseño completamente aleatorio. La unidad experimental fue una maceta con 4 kg de sustrato y una planta de melón variedad Top Mark. Se inocularon 5,800 J2 obtenidos en laboratorio por maceta a los 4 días después de la siembra. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, peso de follaje seco, longitud de la raíz, peso de raíz seca y número de agallas radicales. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). En plantas con J2, el tratamiento Tango® registró los mayores promedios de las variables evaluadas, pero Tri-plus® fue el más efectivo para reducir el número de agallas en la raíz.

Palabras clave: control biológico, compuestos comerciales, fitopatógenos

²²¹ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²²² INIFAP-Campo Experimental Saltillo.

²²³ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²²⁴ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

EFFECTO DE DOS AGENTES ANTIMITÓTICOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y ANATÓMICAS DE BROTES DE *Vanilla planifolia* Jacks.

Gloria I. Cárdenas Vichique²²⁵ y Lourdes G. Iglesias Andreu^{225*}

Resumen

Vanilla planifolia Jacks. es una especie de la familia Orchidaceae de gran valor económico. Sin embargo, en México este cultivo presenta serias limitaciones productivas, que restringen su debida explotación comercial. Por ello y considerando las ventajas que ofrecen el uso de la colchicina y la orizalina en la inducción de poliploidía en plantas, en este trabajo se propuso determinar el efecto de estos agentes antimitóticos, sobre las características morfológicas, fisiológicas y anatómicas de *V. planifolia* genotipo R₃₅₀, a fin de establecer las bases para su mejoramiento genético. Para ello se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de colchicina (0, 30, 60, 90, y 120 mg/L) y orizalina (0, 2, 4, 6, 8, y 10 mg/L) en brotes de 1 cm de longitud, mediante un diseño completamente al azar. A las cuatro semanas de cultivo *in vitro* se determinó la supervivencia, el número de nuevos brotes formados, la longitud y grosor del hipocótilo, el número de hojas y raíces y la longitud de las raíces por cada tratamiento. Los resultados obtenidos confirmaron lo esperado sobre el efecto de la colchicina y orizalina sobre diversas características morfológicas y anatómicas de los dos agentes antimitóticos evaluados en *V. planifolia* R₃₅₀. Se constataron afectaciones en la supervivencia de los brotes a partir de la concentración de 60 mg/L de colchicina, mientras que no se apreciaron afectaciones en los tratamientos con orizalina. Estudios futuros de citometría de flujo permitirán comprobar los niveles de poliploidía inducidos en el material de estudio.

Palabras clave: colchicina, orizalina, poliploidía, cultivo *in vitro*, Orchidaceae

²²⁵ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Universidad Veracruzana, Av. De las Culturas Veracruzanos No. 101, Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte, Col. Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: liglesias@uv.mx

ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRODUCTIVO DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN TLACHICHILCO, VERACRUZ

Vianeth Méndez Cortés^{226*}, Cesar Enrique Martínez Sánchez²²⁶, Ariadna Faride Castillo Alanís, Alfredo Gonzáles Castro y María de La Luz Hernández Sánchez

Resumen

El café es uno de los cultivos más importantes en la economía de varios países y de los productos agropecuarios más comercializados a nivel mundial. En México, es uno de los principales productos de exportación agrícola. En el estado de Veracruz, el café es el sustento de un buen número de familias, pero a pesar de su importancia económica, se carece de estudios regionales sobre las características de productores y de sus fincas cafetaleras que sirvan de base para la toma de decisiones en política pública, por lo que el objetivo de la investigación fue realizar un análisis socioeconómico de unidades cafetaleras en el municipio de Tlachichilco, en la región norte de Veracruz. Se realizó un muestreo por conveniencia de 54 cafeticultores de la región, a través de una encuesta semiestructurada que incluía preguntas relacionadas con aspectos técnicos y socioeconómicos de la finca. Los productores tienen 62 años y 1.5 ha en promedio. Son minifundistas con una superficie de 0.25 a 2 ha, lo que dificulta la comercialización en las fincas cafetaleras; las familias diversifican sus ingresos, pero solo un 50% proviene de la producción y comercialización de café. Las fincas tienen una mínima aplicación tecnológica, por lo que sus ingresos son bajos, unos \$2,400.00 por la venta de café en verde en promedio. Estas carencias productivas y económicas se manifiestan en una cafeticultura de subsistencia; la baja escolaridad y la edad avanzada son factores desfavorables para modificar las plantaciones. Se recomienda buscar subsidios gubernamentales para capacitar a los productores, dar valor agregado a sus cosechas, identificar un mercado meta, y aprovechar las oportunidades para la toma de decisiones y estrategias diferenciadas de apoyo.

Palabras clave: cafeticultores. economía familiar, productores de subsistencia

²²⁶ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Poza Rica-Tuxpan. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: vimendez@uv.mx

CEPAS DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE PULGÓN (*Myzus persicae*) PLAGA DE HORTALIZAS

Brenda Colorado López²²⁷, Félix David Murillo Cuevas²²⁷, Jacel Adame García^{227*},
Adriana Elena Rivera Meza²²⁷ y José Antonio Fernández Viveros²²⁷

Resumen

Los pulgones son plagas de hortalizas que causan clorosis, transmisión de virus, marchitamiento y muerte de las plantas. El control de los pulgones se realiza principalmente mediante control químico; sin embargo, han surgido problemas de resistencia. Los hongos entomopatógenos proporcionan una alternativa de control que no causa resistencia en los insectos. El objetivo del trabajo fue evaluar *in vitro* cepas de hongos entomopatógenos para el control de pulgón (*Myzus persicae*). Se utilizaron seis cepas de hongos identificadas morfológicamente como *Beauveria* spp., resguardadas en el Tecnológico de Ursulo Galván e identificadas como cepas ITUG1, ITUG2, ITUG3, ITUG4, ITUG5 e ITUG6. Para la reactivación de las cepas, se utilizó el medio Agar Sabouraud Dextrosa (SDA) adicionado con 0.1% de extracto de levadura; para la estimulación de los hongos, se agregaron diez pulgones molidos por cada 100 mL de medio. Una vez que los hongos se desarrollaron en medio sólido SDA, se inocularon en medio líquido dextrosa y papa para obtener la suspensión fúngica e inocular con 20 µL a cada pulgón en cajas Petri (tres repeticiones). Las cajas se incubaron durante tres días entre 25°C y 30°C para observar el crecimiento del hongo en los insectos. Las variables respuesta fueron: número de pulgones infestados por caja y diámetro del hongo. Las seis cepas presentaron crecimiento en los insectos pulgones; sin embargo, ITUG2 sólo infectó dos de los cinco insectos con crecimiento del hongo de 3.0 y 9.5 mm de diámetro. Las cepas ITUG4 e ITUG5 infectaron los cinco insectos con crecimientos de hasta 17.3 y 14.4 mm de diámetro, respectivamente. La cepa ITUG3 e ITUG6 tuvieron el mayor crecimiento del hongo (20.0 y 18.7 mm de diámetro), respectivamente, pero sólo infectaron tres de los cinco insectos de la caja de Petri. Se considera que las cepas ITUG3, ITUG4, ITUG5 e ITUG6 son buenos candidatos para el control biológico de pulgones en hortalizas.

Palabras clave: *Beauveria*, control biológico, evaluación *in vitro*

²²⁷ Tecnológico Nacional de México/I.T. Ursulo Galván. Km 4.5 Carr. Cardel-Chachalacas, Ursulo Galván, Veracruz.México.

*Autor de correspondencia: jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DE CEBADA EN TEMPORAL DEL ESTADO DE TLAXCALA

Israel Rojas Martínez^{228*}, Rogelio Fernández Sosa²²⁸, Mauro R. Zamora Díaz²²⁹,
Adrián Zamudio Lara²³⁰ y Víctor Santiago Santiago²³¹

Resumen

El Programa Nacional de Mejoramiento Genético de Cebada del INIFAP ha generado variedades con calidad maltera para la industria cervecera en México, pero ahora amplía sus metas al desarrollo de variedades específicas para alimentación humana, forraje y elaboración de bebidas destiladas como el whisky artesanal. La transferencia de tecnología busca acercar los conocimientos tecnológicos generados y validados en parcelas demostrativas a los actores específicos en los territorios con potencial en el DDR 163-Calpulalpan en el estado de Tlaxcala. El objetivo del presente trabajo es transferir la tecnología a los actores principales de los eslabones de la cadena productiva de cebada que demandan variedades con atributos para diferente aprovechamiento, adaptabilidad, calidad y sanidad. En PV 2023 se establecieron en terrenos de productores dos parcelas demostrativas con las variedades Estelar OH, Maravilla y Montserrat vs los testigos de variedades comerciales Voyager, Brennus y Prunella. Se usó un diseño en parcelas en franjas con cuatro camas de cuatro surcos espaciados a 0.3 m de separación y 30 m de largo con el manejo agronómico recomendado por INIFAP. La transferencia de tecnología en campo fue en la etapa de llenado de grano t para ello se convocó a un evento demostrativo de campo en dos localidades. La principal demanda fue por semilla de las variedades generadas por INIFAP. En San José Nanacamilpa, Maravilla y Estelar OH superaron en rendimiento al promedio de los testigos comerciales en 43.9 y 28.7% respectivamente, y en Muñoz de Domingo Arenas, en 29.8 y 33.7%, respectivamente. Estelar OH tuvo el mayor rendimiento de grano con 4910 kg/ha en Muñoz de Domingo Arenas. Las variedades Montserrat, Maravilla y Estelar OH presentaron tolerancia a enfermedades foliares comunes y mayor precocidad con 55, 58 y 60 días a espigamiento, en tanto que las tres variedades testigos comerciales presentaron susceptibilidad y ciclo tardío. El costo de producción promedio fue de \$17,060.00 por hectárea, sin embargo, los testigos comerciales requieren dos aplicaciones de fungicida para el control químico de enfermedades con un costo de \$2,400.00 (14%), lo que incrementa su costo a \$19,460.00 por hectárea.

Palabras clave: demostraciones en campo, malta, precocidad, tolerancia a enfermedades foliares comunes

²²⁸ INIFAP, Sitio Experimental Tlaxcala. *Autor de correspondencia: rojas.israel@inifap.gob.mx

²²⁹ INIFAP, Campo Experimental Valle de México.

²³⁰ Estudiante de maestría del Tecnológico Nacional de México.

²³¹ Profesor del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.

VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE VARIEDADES DE FRIJOL EN TEMPORAL EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Rogelio Fernández Sosa^{232*}, Israel Rojas Martínez²³² y Carmen Jazmín Cruz Mendez²³³

Resumen

Los análisis de la cadena productiva de frijol (*Phaseolus vulgaris* L), indican que la disponibilidad de variedades es una limitante para su adopción de la tecnología, con preferencia en los mercados los de azufrados, pintos, flor de mayo y negros con diferenciación en precio de hasta 50% y un consumo *per cápita* de 10 kg. En Tlaxcala durante el periodo 2011 a 2021 se sembraron en promedio 3,484 hectáreas con rendimiento promedio de 925 kg/ha donde el 37 y 39% corresponden al DDR 164-Tlaxcala y 165-Huamantla, respectivamente. La actualización de la tecnología disponible de frijol se realiza de forma continua con validación de componentes que demandan los productores, donde la variedad es la protagonista principal del paquete tecnológico. El objetivo del presente trabajo fue transferir tecnología a principales actores de los eslabones de la cadena productiva que demandan variedades con atributos de adaptabilidad, rendimiento, calidad culinaria y sanidad. En primavera verano 2023 en terrenos de productores se establecieron dos parcelas demostrativas con 16 variedades por tipo de frijol: pintos (Pinto Saltillo, Ojo de cabra y Huitel), negros (Primavera 28, Albicampo y Otomi), flor de mayo (Flor de durazno, Mam-38, Mayomex y Eugenia), bayos (Bayo Azteca, Bayomex y Altiplanomex), azufrados (Azufradoro), peruano y el testigo Criollo Chorreado. Las fechas de siembra fueron 14 junio en Cuauila, Calpulalpan y 12 de julio en Espíritu Santo, Ixtacuixtla. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fueron cuatro surcos de 5 m de longitud con separación de 0.8 m. El manejo agronómico del cultivo se realizó siguiendo las recomendaciones del INIFAP. En apoyo a la transferencia de tecnología durante la etapa de llenado de grano de las variedades, se realizó un evento demostrativo por localidad, con 39 y 40 asistentes en Cuauila y Espíritu Santo, respectivamente. En los análisis de varianza se detectó significancia estadística ($p \leq 0.01$) en días a madurez y rendimiento, en ambas localidades. La variedad pinto Saltillo en Cuauila y Flor de mayo Eugenia en Espíritu Santo fueron las más productivas con 2.1 y 1.2 ton/ha y ciclo de madurez de 90 y 110 días, respectivamente.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento, difusión, calidad

²³² INIFAP, Sitio Experimental Tlaxcala. *Autor de correspondencia: fernandez.rogelio@inifap.gob.mx

²³³ Residente de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García sede Cuapiaxtla-Tlaxcala.

ANÁLISIS SIMULTÁNEO DE FITOHORMONAS MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADO A ESPECTRÓMETRO DE MASAS

Fredy Morales Trejo^{234*}, Juan Antonio Villanueva Jiménez²³⁴, Aída Martínez Hernández²³⁵
y Luis Alfredo Pérez Zárate²³⁴

Resumen

Las fitohormonas regulan las respuestas protectoras de las plantas contra el estrés biótico y abiótico mediante acciones sinérgicas o antagónicas denominadas interacciones de señalización. Un obstáculo en la investigación de las interacciones es la cuantificación de numerosas fitohormonas y reguladores implicadas. La cuantificación de los ácidos benzoico (BA), *t*-cinámico (*t*CA), salicílico (SA) y jasmónico (JA), normalmente se logra mediante el uso de metodologías separadas y complejas. La presente investigación abordó este problema empleando metilcloroformato (MCF) como reactivo derivatizante y el análisis mediante cromatografía de gases acoplado a espectroscopía de masas (GC-MS), para conocer el contenido de fitohormonas en diversas matrices vegetales. Para la extracción de fitohormonas se molieron hojas de cada matriz en presencia de nitrógeno líquido, se transfirieron 100 mg a un tubo de microcentrífuga. La extracción y derivatización se realizó siguiendo la metodología de Villas-Boas *et al.* (2003). Posteriormente se transfirieron 100 μ L a un vial de vidrio con inserto para su análisis GC-MS. Para la cuantificación se emplearon los datos validados, obtenidos previamente en el laboratorio. Se encontraron valores (ng/g FW) para *Citrus aurantium* L.: 32257.7 ± 1746.5 , 174.7 ± 11.7 , 55.7 ± 7.3 , 150.9 ± 7.0 ; *Solanum lycopersicum*: 770.7 ± 69.3 , 49.8 ± 2.3 , 1234.2 ± 2.0 , 120.4 ± 4.3 ; *Psidium guajava*: 2667.7 ± 70.0 , 167.9 ± 9.9 , 66.2 ± 5.1 ; n.d.; *Citrus x limonia*: 25123.6 ± 2388.2 , 187.4 ± 24.6 , 52.0 ± 14.6 , 329.5 ± 80.8 ; *Citrus aurantifolia*: 7668.6 ± 394.4 , 200.7 ± 0.5 , 142.4 ± 11.6 , 239.8 ± 38.4 ; *Prunus persica*: 49902.2 ± 3434.2 , 1933.1 ± 37.3 , 6416.0 ± 199.6 , 251.5 ± 5.5 ; *Citrus latifolia* Tanaka: 4839.3 ± 330.6 , 129.6 ± 6.9 , 438.5 ± 17.3 , 166.2 ± 2.0 ; *Capsicum chinense*: 196.9 ± 22.9 , 58.0 ± 1.5 , 234.1 ± 20.3 , 198.1 ± 16.2 , de BA, *t*CA, SA y JA, respectivamente. Los resultados obtenidos permiten visualizar la simplicidad del método para cuantificar estas fitohormonas y su potencial como herramienta para analizar las interacciones de señalización presentes en cada una de las matrices.

Palabras clave: respuesta inmune, análisis instrumental, metabolómica

²³⁴ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: fredy.morales@colpos.mx

²³⁵ Colegio de Postgraduados Campus Campeche.

APLICACIÓN DE *Trichoderma* spp. EN EL CONTROL DE *Stemphylium* sp.

Sergio Ayvar Serna²³⁶, José Francisco Díaz Nájera^{236*}, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²³⁷,
José Luis Arispe Vázquez²³⁸, Elvia Temisqueño Teyuco²³⁶, Antonio Mena Bahena²³⁶
y Juan Manuel Pichardo Ocampo²³⁹

Resumen

El hongo *Stemphylium* sp. causa pérdidas en rendimiento y calidad del grano de garbanzo. Los objetivos del estudio fueron evaluar la efectividad biológica *in vitro* de cepas de *Trichoderma* sp. contra este hongo aislado de muestras obtenidas en Rancho de Las Lomas, Guerrero. Se evaluaron tres cepas nativas de *Trichoderma* sp. (TsRLL, TsLF, TsCo) y tres foráneas: *T. virens*, *T. harzianum* y *Trichoderma* sp. (Fithan^{MR}), las cuales se confrontaron con el patógeno en cultivo dual, en diseño completamente aleatorio con cinco repeticiones. Se usó como unidad experimental una caja Petri con 20 mL de PDA, en donde se depositó en la orilla, un disco de 10 mm de diámetro con micelio de *Stemphylium* sp. de 10 días de crecimiento en PDA; después de 2 días, se colocó en el lado opuesto otro disco de PDA con micelio de cada cepa de *Trichoderma* sp. Se incubó a temperatura ambiente ($\approx 28^{\circ}\text{C}$ y 12 h luz natural); se midieron los días al primer contacto, clase de antagonismo y porcentaje de inhibición del crecimiento del patógeno. Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza y prueba de Tukey. Se encontró que, *T. virens* destacó porque tardó 1 día en hacer contacto con el patógeno. Las cepas *Trichoderma* sp. (TsRLL, TsCo), *T. virens* y *Trichoderma* sp. (Fithan^{MR}) tuvieron antagonismo de 60% sobre el patógeno. Las cepas *Trichoderma* sp. TsLF y TsCo presentaron la mayor inhibición (53.5%).

Palabras clave: inoculación, efecto, plantas

²³⁶ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Centro de Estudios profesionales Cocula Gro. *Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²³⁷ INIFAP-mpo Experimental Valles Altos de Jalisco.

²³⁸ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²³⁹ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

USO DE EXTRACTOS VEGETALES Y FUNGICIDAS QUÍMICOS CONTRA *Colletotrichum gloeosporioides*

Sergio Ayvar Serna²⁴⁰, José Francisco Díaz Nájera^{240*}, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²⁴¹,
José Luis Arispe Vázquez²⁴², Ernesto Escobar Bahena²⁴⁰, Antonio Mena Bahena²⁴⁰
y Juan Manuel Pichardo Ocampo²⁴³

Resumen

La antracnosis en naranja por *Colletotrichum gloeosporioides* causa severos daños al cultivo, tanto en producción como en postcosecha. En la presente investigación se evaluó *in vitro* la efectividad de seis fungicidas químicos (Switch®, Headline®, Luna® Experience, Scala®, Oxicob®, Manzate® 200 WP) y cinco extractos vegetales (PROGRANIC® NeemAcar, Regalia® Maxx, PROGRANIC® Alfa, PROGRANIC® Omega, PROGRANIC® Mega) sobre *C. gloeosporioides*. Los once antifúngicos más un testigo (12 tratamientos) se distribuyeron completamente al azar con cinco repeticiones (60 unidades experimentales). La unidad experimental consistió en una caja de Petri con 16 mL de medio de cultivo (PDA + jugo v8). Se midió el diámetro, así como los porcentajes de crecimiento e inhibición de la colonia del patógeno cada 48 h en seis evaluaciones. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los productos presentaron porcentajes de crecimiento inferiores al testigo. Los tratamientos PROGRANIC® NeemAcar, PROGRANIC® Alfa, Oxicob® y Manzate® 200 WP ejercieron 100% de inhibición del patógeno. Los resultados revelaron que tanto los fungicidas químicos como los extractos vegetales son eficaces en el control *in vitro* de *C. gloeosporioides*, lo cual indica que los extractos vegetales pueden ser considerados como una buena alternativa para el manejo del hongo.

Palabras clave: antracnosis, efecto, inoculación

²⁴⁰ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Centro de Estudios profesionales Cocula Gro*Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²⁴¹ INIFAP-Campo Experimental Valles Altos de Jalisco.

²⁴² INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²⁴³ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

FUNGISTÁSIS DE *Trichoderma* spp. CONTRA *Botrytis cinerea*, *in vitro*

Sergio Ayvar Serna²⁴⁴, José Francisco Díaz Nájera^{244*}, Susana Elizabeth Ramírez Sánchez²⁴⁵,
José Luis Arispe Vázquez²⁴⁶, Elvia Temisqueño Teyuco²⁴⁴, Antonio Mena Bahena²⁴⁴
y Juan Manuel Pichardo Ocampo²⁴⁷

Resumen

Botrytis cinerea provoca pérdidas de 40-100% en el cultivo de rosal. El control con *Trichoderma* spp. es una alternativa sostenible para su manejo. Los objetivos fueron aislar e identificar morfológicamente el agente causal del moho gris de rosas, comprobar la patogenicidad y susceptibilidad a la antibiosis de *Trichoderma* spp. De rosas infectadas se aisló y se identificó el hongo mediante los postulados de Koch y se procedió a realizar el experimento con *Trichoderma* spp. (TsJu), *Trichoderma asperellum* (TaCo, TaST) y cepas autóctonas de Guerrero, mediante la técnica de cultivo duales; además, se usaron cepas foráneas: *T. virens* G-41, *T. fasciculatum*, *T. reesei*, *T. harzianum*, más el testigo. Se evaluó la antibiosis mediante la prueba del celofán, en diseño completamente al azar con cinco repeticiones, en caja Petri con 20 mL de PDA+metabolitos de cada *Trichoderma* spp., en donde se sembró el patógeno, se incubó por 4 días a 26°C; se obtuvo el porcentaje de inhibición del patógeno. Se realizó el ANOVA y prueba de Tukey en el programa SAS. Se diagnosticó que *Botrytis cinerea* causa el moho gris en rosas colectadas en Coatepec Harinas, Estado de México. El aislado del hongo causó infección después de tres días post inoculación. Las cepas tuvieron promedios de efectividad de: 50.5, 41.9, 52.7, 37.63, 37.63, 39.78, 27.9%, contra *B. cinerea*, por lo que se tuvo efecto fungistático contra el patógeno.

Palabras clave: hongo, control, enfermedad

²⁴⁴ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Centro de Estudios profesionales Cocula Gro*Autor de correspondencia: francisco.najera@csaegro.edu.mx

²⁴⁵ INIFAP-Campo Experimental Valles Altos de Jalisco.

²⁴⁶ INIFAP-Campo Experimental Iguala.

²⁴⁷ BEDR No. 90, Iguala, Gro.

RESPUESTA FENOLÓGICA Y AGRO MORFOLÓGICA DEL MAÍZ SAN PABLEÑO BAJO DIFERENTES FÓRMULAS DE FERTILIZACIÓN

María Eugenia Casiano Sánchez²⁴⁸, Héctor Ezequiel Aké Tuz^{248*}, Julio Narcizo Ek Maas²⁴⁸
e Iván Xicotencatl Pérez Guzmán²⁴⁸

Resumen

El maíz es el cultivo de mayor importancia en México y en el estado de Campeche. En la producción agrícola se necesita de recursos económicos y materiales, que conllevan al incremento del costo de producción. El objetivo de este estudio fue evaluar las características fenológicas y agro morfológicas en el desarrollo de plantas de maíz nativo San Pableño bajo diferentes fórmulas de fertilización para su aprovechamiento en la agricultura. La siembra se realizó en el mes de abril del 2024 en las coordenadas geográficas latitud: 20° 22' 53.33" N y longitud: 90° 3' 29.93" O, en Calkiní Campeche. Se emplearon cinco tratamientos y tres repeticiones en un diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron: T1. 110-46-00, T2. 220-92-190, T3. 160-69-150 + 4 t/ha de Bocashi + 1 kg de Azospirillum y 1 kg de Micorrizas, T4. 110-46-100 + + 4 t/ha de Bocashi + 1 kg de Azospirillum y 1 kg de Micorrizas, estos microorganismos a razón de 1.0 kg por 19 kg de semillas y T5 como testigo absoluto sin fertilizar. La unidad experimental consistió en tres surcos de 3 m de largo. La fertilización nitrogenada se aplicó en dos etapas, antes y a los 30 días después de la siembra, el potasio se incorporó al momento de la siembra y el fósforo se aplicó antes de la siembra. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, fenología, altura de planta, diámetro del tallo, largo de raíz, índice de acame. Se realizó un ANOVA para constatar diferencias significativas entre las variables. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Se presentaron diferencias altamente significativas en la variable largo de raíz para el tratamiento T4 donde se registraron 25 cm de largo, el resto de los tratamientos no presentaron diferencias significativas excepto para el índice de acame en el tratamiento T3 con 26% por lo tanto, es necesario realizar una fertilización de arranque en la siembra del cultivo.

Palabras clave: altura, nutrición, nativo, desarrollo, crecimiento

²⁴⁸ Licenciatura en Ingeniería en Agricultura y Agronomía, Sede Calkiní, Campeche. Universidad para el Bienestar Benito Juárez García *Autor de correspondencia: julioem234@gmail.com

COMPORTAMIENTO AGROMORFOLÓGICO DEL MAÍZ SAN PABLEÑO (*Zea mays* L.) EN DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACIÓN

Leodegario Gerardo Góngora Ek²⁴⁹, Dreydi Virginia Arena Laínes^{249*}, Julio Narcizo Ek Maas²⁴⁹
e Iván Xicotencatl Pérez Guzmán²⁴⁹

Resumen

El manejo intensivo del maíz genera una búsqueda de alternativas para potenciar su rendimiento, la densidad de siembra ha sido un factor crucial modificable para el maíz, por tanto, afectan el crecimiento y rendimiento de este cultivo. La densidad óptima en maíz para grano o forraje depende del genotipo, fertilidad y manejo de su producción. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento agro morfológico del maíz San Pableño (*Zea mays* L.) en diferentes densidades de población. El experimento se realizó en abril del 2024 en las coordenadas geográficas Latitud: 20° 22' 53.33" N y Longitud: 90° 3' 29.93" O, en Calkiní Campeche. La labranza se realizó con arado un mes antes de la siembra y regó conforme el requerimiento de las plantas. Se fertilizó con 110-46-00 al momento de la siembra. La siembra se realizó con una sembradora comercial circular. Se consideró una distancia entre plantas de 16.5 cm para todos los tratamientos, los tratamientos fueron con base a la distancia entre surcos. El T1 a una separación de 1.2 m (50,505 plantas/ha), el T2 a 1 m (60,606 plantas/ha) y T3 a 0.8 m (75,758 plantas/ha) como testigo. Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de germinación, Fenología (Hojas con lígula), Altura de planta, Diámetro del tallo, Longitud de la raíz, Índice de acame, Largo de hoja y Ancho de hoja. Se realizó un ANOVA, con un análisis de bloques al azar para constatar diferencias significativas entre las variables. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Se encontraron diferencias significativas en longitud de raíz para T2 con 23 cm. El T3 obtuvo mayor altura con 73 cm, a mayor altura mayor índice de acame con 28%. Para diámetro de tallo el tratamiento T3 con 2.6 cm, por lo que hay que considerar la variación genética de este material genético, se confirma que la altura, índice de acame, diámetro de tallo en una densidad alta de siembra puede generar un efecto negativo.

Palabras clave: surcos, distancia, siembra

²⁴⁹ Licenciatura en Ingeniería en Agricultura y Agronomía, Sede Calkiní, Campeche. Universidad para el Bienestar Benito Juárez García *Autor de correspondencia: julioem234@gmail.com

REPRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS MAÍCES NATIVOS EN LA ZONA NORTE DE GUERRERO

Pablo Castañeda de la Cruz²⁵⁰, Rubén Santos Echeverría^{251*}, José Luis Arispe Vázquez²⁵⁰,
Lorena Silva Colin²⁵⁰ y Juan Manuel Pichardo Ocampo²⁵⁰

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) se deriva de un teosinte (teocinte, o teocintle). El estado de Guerrero se considera uno de los principales centros de origen del maíz y de la biodiversidad genética. Aquí se siembran 32 razas de maíces nativos de un total de 64 identificadas y más de 300 variedades en todo el territorio nacional. El origen geográfico más antiguo del teosinte domesticado que conocemos hasta ahora, se encuentra en los relieves montañosos al sur del altiplano central y de la sección media del río Balsas, conocido como Xihuatotla, donde se encontraron vestigios y es endémico, entre el Valle de Bravo del actual Estado de México, y baja al sur hasta llegar a Arcelia, Apaxtla de Castrejón, Cuetzala del Progreso, Teloloapan, Cocula, Tepecoacuilco de Trujano y Huitzuco de los Figueroa. El objetivo de este trabajo fue conservar los maíces nativos de esta región ya que poco a poco se están perdiendo al ser remplazados por los maíces mejorados. En el municipio de Apaxtla de Castrejón se sembraron 10 materiales de maíces nativos: pepitilla, arrocillo, tremesino, maíz amarillo, el palula, maíz negro, maíz perla, maíz trompo, maíz ancho y maíz rojo en una superficie de 6 surcos de 50 metros de largo de cada material a una distancia entre planta y entre surco de 80 cm. Se sugiere que los productores conserven sus maíces nativos ya que es patrimonio de México. Es recomendable que en estos trabajos se realice la estimación de cosecha y se de asesoría y asistencia técnica a los productores.

Palabras clave: maíces nativos, agrobiodiversidad, razas de maíces, domesticación

²⁵⁰ Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 90, Iguala, Guerrero. *Autor de correspondencia: pablo_degeta@hotmail.com.

²⁵¹ INIFAP - Campo Experimental Iguala.

ADAPTACIÓN Y RENDIMIENTO DE CINCO VARIEDADES DE JAMAICA EN EL MUNICIPIO DE APAXTLA DE CASTREJÓN

Pablo Castañeda de la Cruz²⁵², Rocío Toledo Aguilar^{253*}, Lorena Silva Colin²⁵²
y Juan Manuel Pichardo Ocampo²⁵²

Resumen

La flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) destaca por sus propiedades medicinales, contiene grandes cantidades de vitaminas A, B1, C, E y minerales como el hierro, fósforo y calcio. La producción de jamaica genera ingresos importantes y representa una alternativa para pequeños y medianos productores, sobre todo en lugares con poca precipitación. En México, la producción de flor de jamaica proviene en más del 98% de variedades criollas, establecidas durante el ciclo agrícola primavera-verano. Por ello, el objetivo fue validar el rendimiento de cinco variedades de jamaica en Apaxtla de Castrejón, Guerrero. El sitio de validación se encuentra a 1,250 m. Se establecieron cuatro surcos de 30 m de cada variedad, 80 cm entre surcos y entre plantas, y 3 a 4 plantas por mata, no se presentaron testigos en el cultivo, la finalidad fue obtener el rendimiento con el productor. Las variedades de jamaica fueron estrella costeña, patriota, quinbarina, roja costeña y rosita. Se registraron las variables de número de ramas, altura de la planta, número de cálices por rama, rendimiento de cálices deshidratados de los cuatro surcos. Los análisis estadísticos de la validación mostraron que la variedad estrella costeña fue la que se adaptó mejor y tuvo mayor rendimiento de cálices de 800 t/ha seguido por patriota, con 750 t/ha; la que presentó menor rendimiento fue la variedad rosita, con 300 t/ha, ésta última presentó los cálices más pequeños, 5 cm de largo y 3 cm de ancho. La variedad roja costeña y quinbarina, aunque también mostraron adaptación su rendimiento fue medio. Es de destacar que, estrella costeña presentó los cálices de mayor tamaño con 12 cm de ancho y 10 cm de largo, de color púrpura oscuro; y patriota tuvo cálices de tamaño mediano con 10 cm de largo y 5 cm de ancho y de color rojo intenso, en conclusión, la variedad que mostró el mejor rendimiento fue estrella costeña.

Palabras clave: *Hibiscus sabdariffa* L. validación, variedades mejoradas, producción

²⁵² Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 90, Iguala, Guerrero. *Autor de correspondencia: pablo_degeta@hotmail.com.

²⁵³ INIFAP - Campo Experimental Iguala.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE HELICONIAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Ariadna Linares Gabriel^{254*}, Nereida Rodríguez Orozco²⁵⁴ y Mario Alejandro Hernández Chontal²⁵⁴

Resumen

Los sistemas agroforestales son prácticas sostenibles que proporcionan múltiples servicios ecosistémicos. En estos sistemas la floricultura tropical toma relevancia, principalmente el cultivo de heliconias. Dado que esta actividad promueve la generación de ingresos y empleos para incentivar la producción sostenible en regiones tropicales. Por ello, se compararon características de los macollos y las características de las inflorescencias de heliconias en función de los sistemas de producción y los cultivares en tres localidades de una comunidad del municipio de Fortín, Veracruz, México, con la finalidad de identificar el comportamiento del cultivo en diferentes ambientes y sistemas de manejo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas (A x B) y seis repeticiones. Los factores son: A) la ubicación *in situ* del cultivo, correspondiente a tres parcelas (sitio 1: sistema agroforestal con heliconias, sitio 2: sistema agroforestal/monocultivo con heliconias y sitio 3: monocultivo solo heliconias) y B) los cultivares de heliconias (*Heliconia bihai*, *Heliconia wagneriana* y *Heliconia psittacorum*). Las variables evaluadas fueron rasgos de macollos y características de la inflorescencia. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el factor A (sitio), el sistema monocultivo mostró mejores resultados en número de inflorescencias (6.3) y altura (316 cm). Para el factor B (cultivares) se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), destacando con el mayor número de variables *H. bihai*; tallos por macollo (25.8), altura (371.3 cm), altura pseudotallo (145.5 cm), longitud de hoja (139.6 cm), ancho de hoja (26.9 cm), longitud de peciolo (86.6 cm) y longitud de inflorescencia (31.9 cm). En la interacción sitio x cultivar, con base a la prueba de medias (Tukey, $p \leq 0.05$), sistema agroforestal x *H. bihai* (sitio 1 x cultivar 1) mostró mejor rendimiento en siete variables; tallo por macollo (45.8 cm), altura más alta (466 cm), altura pseudotallo (174 cm), longitud hoja (147 cm), ancho de hoja (29.6 cm), longitud de peciolo (101.8 cm) y longitud de inflorescencia (34.4 cm). *Heliconia bihai* muestra su potencial agronómico en los tres diferentes ambientes y sistemas de manejo.

Palabras clave: prácticas agrícolas sostenibles, floricultura tropical, silvicultura social

²⁵⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa, Universidad Veracruzana *Autor de correspondencia: alinares@uv.mx

COMPATIBILIDAD ENTRE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO Y CORMOS DE GLADIOLO DURANTE LA GERMINACIÓN

Jesús Ricardo Sánchez Pale^{255*}, Gabriela Sánchez Viveros²⁵⁶ y Roberto Chiquito Contreras²⁵⁶

Resumen

Gladiolus grandiflorus es la ornamental más importante dentro de las bulbosas. La majestuosa, forma, tamaño y color de sus espigas florales le dan atributos para su uso en decoración, arreglos florales y como “homenaje” en nuestra cultura. Se ubica después de rosa y crisantemo en importancia como flor de corte. Su producción implica la explotación de los componentes nutricionales del suelo, que no son restituidos durante o después de cosecha, así como un nulo uso de microorganismos que promuevan su crecimiento. El objetivo fue determinar la compatibilidad entre seis cepas nativas de microorganismos promotores del crecimiento (PGPM) y cormos de gladiolo en la germinación y crecimiento durante la etapa vegetativa. El ensayo se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Zona Xalapa. Cormos calibre 10-12 de gladiolo línea T-70 fueron sembrados a una profundidad de 5 cm, en Macetas de 5 kg con sustrato (2:1:1 v/v, de lombricomposta, tepetzil y arena) esterilizado. Cinco cormos fueron colocados en inmersión por 24 horas en cada una de las seis cepas (P61, BT1, BT20, K1 y K2) y una segunda reinoculación a los 30 días posteriores de la siembra. Se cuantificó los días a emergencia, así como altura (cm) y diámetro de tallo (mm). Los resultados indicaron que BT20 y K2 expresaron los mayores porcentajes de germinación, en comparación al testigo. El crecimiento vegetativo se expresó con mayor altura de planta y diámetros de tallo con las cepas BT20, P61 y K2. Preliminarmente, estas tres cepas bacterianas presentan compatibilidad para su inoculación de cormos durante el desarrollo inicial de gladiolo.

Palabras clave: bacterias, ornamentales, desarrollo vegetativo, *Gladiolus*

²⁵⁵ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Autor de correspondencia
jrsanchezp@uaemex.mx

²⁵⁶ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana.

DIVERSAS PROPORCIONES DE LOMBRICOMPOSTA EN PARÁMETROS MORFOFISIOLÓGICOS DE *Helianthus annuus* L.

Luz María Bolaños López²⁵⁷, Cirilo Martínez González²⁵⁷, Celeste Olmos Gómez²⁵⁷, Isabel Alemán Chávez²⁵⁸, Guillermo Alafita Vásquez²⁵⁸ y Liliana Lara Capistrán^{258*}

Resumen

Actualmente el girasol (*Helianthus annuus* L.) se cultiva como una planta ornamental, en maceta, utilizando cultivares enanos y frecuentemente para su nutrición se utilizan fuentes de fertilización inorgánica, lo que representa una contaminación. Diversos estudios han mostrado a los abonos orgánicos como una alternativa para mejorar variables de crecimiento y calidad, sin embargo, se requiere más información sobre la cantidad requerida por planta, para hacer más eficiente su empleo. En este sentido, se planteó como objetivo, evaluar el efecto de diversas proporciones de lombricomposta en los parámetros morfofisiológicos de girasol cv. Big Smile en condiciones de invernadero. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos: Testigo absoluto sin fertilizar, ninguna fuente orgánica e inorgánica (TA), Fertilizante químico 13-40-13 N-P-K, con 5 g/L por planta (FQ), y tres tratamiento con variaciones en la proporción de: Suelo, Tepecil y Lombricomposta: S:T:L 3:2:1., S:T:L 3:2:2 y S:T:L 3:2:3, cada uno con 20 repeticiones. A los 22, 36 y 57 días después de la siembra (dds) se midió la altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas. A los 57 dds se midió el área foliar; número y diámetro de capítulos, así como biomasa fresca y seca. Se empleó el programa Statistica y la prueba de medias de Tukey con nivel de significancia de 0.05%. Los tratamientos mostraron diferencias significativas para las variables evaluadas ($P \leq 0.05$), desde los 22 hasta los 57 dds donde los mejores resultados fueron los tratamientos con lombricomposta, destacando S:T:L 3:2:2 con incrementos de 33.81, 38.72 y 79.18%, en altura de plantas, número de hojas y área foliar respectivamente. Los mejores resultados para tamaño de capítulos (variable de importancia comercial) fueron obtenidos por los tratamientos S:T:L 3:2:2 con 68.33 cm y S:T:L 3:2:3, con 68.66 cm, lo que resulta como una alternativa para mejorar el desarrollo y calidad de esta planta de ornato.

Palabras clave: Big Smile, girasol, floricultura, invernadero, sustratos

²⁵⁷ Facultad de Ciencias Agrícolas, Región Xalapa. Universidad Veracruzana.

²⁵⁸ Académicos de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: lilara@uv.mx

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO

Martín Solís Martínez^{259*}, Alfredo Damián López²⁵⁹, José Emilio Bueno Jáquez²⁵⁹,
Juan Antonio Chamú Baranda²⁵⁹ y Mayra Isela Merlos Brito²⁵⁹

Resumen

La presente investigación se realizó en el año 2020, en el Centro de Estudios Profesionales (CEP), del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), con la finalidad de diagnosticar el estado de la fertilidad de los suelos agrícolas del municipio de Zacualpan, Estado de México. Se trabajó con 33 muestras de suelo, las cuales fueron colectadas en diferentes localidades. El muestreo se efectuó mediante el método de zig-zag, colectando 10 submuestras por sitio, a una profundidad de 20 cm, para formar una muestra compuesta. Los análisis se realizaron en los laboratorios de Suelos y Química Ambiental del CEP. Los resultados obtenidos mostraron una gran variación en las características físico-químicas de los suelos analizados; el 63% de éstos presentó una textura franco-arcillo-arenosa, mientras que el 15.2% y el 12.1% fueron arcillosos y franco-arcillosos, respectivamente. El color predominante en seco fue marrón amarillento claro, mientras que en húmedo presentaron color marrón amarillento oscuro. Los valores de la densidad aparente variaron de 0.85 a 1.19 g/cm³, con un promedio de 1.08 g/cm³. El 75.76% de los suelos se clasificó con un pH moderadamente ácido, mientras que 24.24% resultaron neutros, sin problemas de salinidad. La mayoría de los suelos mostraron contenidos altos de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extractable, calcio y magnesio intercambiables, mientras que los valores de potasio intercambiable se ubicaron en los niveles medios y bajos. El análisis de correlación presentó asociaciones significativas entre el pH y el Ca intercambiable, P extractable y K intercambiable, así como la materia orgánica y N total. En general, los suelos presentan un estado nutrimental adecuado para los cultivos, principalmente debido a su pH; sin embargo, se recomienda prestar atención a la aplicación de potasio para complementar los niveles presentes en el suelo.

Palabras Clave: nutrimentos, materia orgánica, pH, salinidad

²⁵⁹ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Centro de Estudios Profesionales. Iguala, Guerrero.

*Autor de correspondencia: martin.solis@csaegro.edu.mx

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE ZITLALA, GUERRERO

Martín Solís Martínez^{260*}, Yadira Gasparillo Mariano²⁶⁰, Juan Antonio Chamú Baranda²⁶⁰, Norma Ávila Alistac²⁶⁰ y Rubén Santos Echeverría²⁶¹

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el Centro de Estudios Profesionales (CEP) del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), en el año 2022, con el propósito de realizar un diagnóstico físico y químico de los suelos agrícolas del municipio de Zitlala, Guerrero, donde se siembran cultivos de importancia como maíz, frijol, garbanzo y calabaza. Se colectaron 20 muestras de suelo, representativas del municipio, mediante el método de muestreo en zig-zag, a una profundidad de 20 cm, las cuales se etiquetaron de acuerdo con la norma vigente. Posteriormente, las muestras de suelo se llevaron al laboratorio de Suelos del CEP, donde se secaron bajo sombra sobre papel periódico, se molieron y tamizaron en tamices de mallas No. 10 y 20, para determinar sus características físicas y químicas. Los resultados mostraron variación en las propiedades de los suelos: la mayoría de estos (70%) presentaron una textura arcillosa. La densidad aparente, mostró valores de 0.93 a 1.12 g/cm³. El color varió, en seco de marrón (7.5YR 4/2) a gris (2.5YR 4/1), y en húmedo de marrón oscuro (7.5YR 2.5/3) a gris oscuro (7.5YR 3/1). Los valores del pH en su mayoría resultaron moderadamente alcalinos (7.7-8.2) y sin problemas de salinidad (0.185- 0.499 dS m⁻¹). Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total presentaron concentraciones de bajas (1.9% y 0.10%) a muy altas (8.9% y 0.45%); la mayoría de los suelos fueron bajos en carbono orgánico (2.20%). Los cationes intercambiables (calcio, magnesio y potasio) se clasificaron como medios y altos, en su mayoría, al igual que el contenido de fósforo extractable (7.17- 20.70 mg/kg). El análisis de correlación resultó en una asociación altamente positiva y significativa entre la materia orgánica y el carbono orgánico del suelo y el nitrógeno total. Se concluye que, los suelos en estudio se consideran con niveles adecuados de la mayoría de los nutrientes analizados, requiriendo atención aquellos en los cuales se presente una concentración baja del elemento.

Palabras clave: diagnóstico, análisis, cationes, fósforo

²⁶⁰ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Centro de Estudios Profesionales. Iguala, Guerrero. *Autor de correspondencia: martin.solis@csaegro.edu.mx

²⁶¹ CIRGOC-INIFAP.

EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN LA ZONA CENTRO DE COAHUILA

David Sánchez Aspeytia^{262*}, Dagoberto Flores Marín²⁶² y Lourdes Ledesma Ramírez²⁶³

Resumen

En la zona centro del estado de Coahuila, se siembran aproximadamente 3500 has de trigo harinero, los municipios con más hectáreas sembradas son: Abasolo, San Buenaventura, Nadadores y Frontera. Más del 70% de la superficie sembrada se riega por medio de gravedad y con un bajo nivel tecnológico, con el objetivo de plantear nuevas alternativas en variedades de trigo harinero para la región se sembraron en 2023, en predios del señor Ramiro Reyes Rodríguez del municipio de Abasolo, cuatro nuevas variedades de trigo harinero (Bacorehuis, Conatrigo, Hans y Noreste) todas desarrolladas por INIFAP más un testigo comercial que fue la variedad Bourlaug, se sembraron en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones en parcelas de 100 m² cada una, el manejo fue realizado por el productor con una fertilización base de 120-60-00 de NPK. Los resultados indicaron que no se encontraron diferencias significativas entre variedades, y fueron las variedades Noreste y Bacorehuis las más rendidoras con 3.53 y 3.51 ton/ha, respectivamente. La media local es de 3.22 ton/ha por lo que estas variedades superaron en un 10% al promedio de producción local. El mayor número de espigas por m² lo presentaron Noreste y Bourlaug con 347 y 340 respectivamente con peso de mil semillas de 46 y 45 g respectivamente, siendo Noreste una variedad de grano más grande con la característica principal que se usa en la industria para la panificación y como mejorador de harinas de trigos suaves y tenaces, por lo que se recomienda a la variedad Noreste como una alternativa prometedora para la región centro de Coahuila.

Palabras clave: trigos, industria, nuevas variedades, rendimiento

²⁶² Campo Experimental Saltillo, CIRNE-INIFAP. *Autor de correspondencia: aspeytia.david@inifap.gob.mx.

²⁶³ Campo Experimental Bajío CIRCE-INIFAP.

EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE NO_3^- EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO

Maricela Catalina Pedraza Suárez²⁶⁴, Angel Natanael Rojas Velázquez^{264*},
Oscar Iván Guillén Castillo²⁶⁴ y Jorge Alonso Alcalá Jauregui²⁶⁴

Resumen

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), es una de las hortalizas más consumidas y de importancia mundial. La hidroponía permite garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de las personas. El nitrógeno es importante en la fertilización y tiene influencia en crecimiento y desarrollo de las plantas. El análisis de nitratos en el Extracto Celular de Pecíolo (ECP) es útil para determinar la cantidad de nitrógeno en hortalizas. El objetivo es establecer la concentración de nitrógeno para lechuga a través del ECP en un cultivo hidropónico. Se realizaron dos experimentos con lechuga en un sistema hidropónico de raíz flotante: se utilizaron tratamientos con diferentes porcentajes de la solución Steiner. Experimento uno (25, 50, 75 y 100% de N). Experimento dos (25, 50, 75, 100, 125 y 150% de N), además se añadió 25% a los 10, 15, 20 y 25 días a 3 plantas del tratamiento 25, 50, 75 y 100%, dan un total de 11 tratamientos. Las variables evaluadas fueron el peso seco de hoja, raíz y total, área foliar, ECP de nitrato, SPAD y NDVI. En el peso fresco, área foliar, peso seco de hoja, peso seco total en los dos experimentos mostraron diferencias de 30% a partir la solución 50. En los dos experimentos la mayoría de las variables de crecimiento, unidades SPAD y NDVI los mejores tratamientos fueron los de concentración 75 y 100 de N. El contenido de nitratos en el ECP en los dos experimentos estuvo por encima del nivel crítico 2300 mg NO_3^-/L . El contenido de nitratos en la solución fue mayor conforme aumentaba la cantidad de nutrientes, los mayores valores se observaron en el tratamiento 100 del experimento 1 y en el 150 del experimento 2, esto se confirma con el extracto celular de pecíolo donde presentaron los valores más altos. El ECP es una excelente herramienta para ayudar a determinar la cantidad de NO_3^- a aplicar en la solución nutritiva en el cultivo de lechuga.

Palabras clave: hortalizas, nitratos, nutrición

²⁶⁴ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. *Autor de correspondencia: angel@uaslp.mx

Luis Alfredo Pérez Zárate²⁶⁵, Aída Martínez Hernández^{266*}, Juan Antonio Villanueva Jiménez²⁶⁵
y José López Collado²⁶⁵

Resumen

La enfermedad del Huanglongbing (HLB), causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), afecta a todas las variedades de cítricos, incluidas las tolerantes como la lima persa. La fenotipificación mediante la captura y análisis de imágenes midiendo la fluorescencia de clorofila, permite evaluar de manera rápida y no invasiva de la actividad del fotosistema II. El objetivo de este trabajo fue determinar cambios en parámetros de fluorescencia de clorofila en plantas de lima persa sanas e inoculadas con CLas. Las plantas fueron inoculadas mediante injerto de yema con material vegetal de árboles sintomáticos y dos años después se agruparon según la presencia de síntomas foliares. Se realizaron pools de nervaduras de hojas por grupo de síntomas para extracción de ADN y PCR. Las plantas sanas no mostraron amplificación para el gen 16S de CLas, contrario a las inoculadas, donde 9 de 14 pools resultaron positivos. Hojas de cada grupo de plantas se fenotipificaron con el módulo de imágenes de fluorescencia de clorofila (Closed Fluorcam FC-800), en el sistema de fenotipificación PlantScreen Compact System de Photon Systems Instruments. Se realizaron tres análisis multivariados: análisis de redes de similaridad, UMAP para reducción de dimensiones y componentes principales para discernir los parámetros asociados con cada grupo de plantas. El UMAP mostró la separación completa de los grupos de plantas sanas y enfermas, lo que indica diferencias entre ambos grupos para los parámetros de fluorescencia. La selección de parámetros no correlacionados para componentes principales indicó que los parámetros QY_Lss, Fv_Lss, F0_Lss, qP_Lss y qN_D3 se asociaron en mayor medida con el grupo de plantas enfermas, mientras que el parámetro NPQ_Lss se asoció con el grupo de plantas sanas. Las plantas de lima Persa mostraron cambios en los parámetros de fluorescencia de clorofila por efecto del HLB. Estos resultados preliminares son fundamentales para comprender el proceso fisiopatológico del HLB en variedades de cítricos tolerantes como la lima Persa.

Palabras clave: eficiencia fotosintética, imágenes hiperespectrales, *Candidatus Liberibacter asiaticus*

²⁶⁵ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

²⁶⁶ Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Autor de correspondencia: aida.martinez@colpos.mx

NIVELES DE PODA EN SANDÍA (*Citrullus lanatus*)

Diana Laura Ferrer Ramírez²⁶⁷, Jesús Marcos Pérez Cruz²⁶⁷, Vetzy Melia David Cruz²⁶⁷,
Karen De Los Santos²⁶⁷, Daniela Correa Castillo²⁶⁷ y Vinicio Calderón Bolaina^{267*}

Resumen

La poda en el cultivo de sandía estimula la aparición temprana de frutos, aumenta la concentración de azúcares y facilita el manejo y control de enfermedades. La presente investigación tuvo como objetivo: Determinar el efecto de dos niveles de poda y un testigo (sin poda) a nivel de campo. El trabajo se desarrolló en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Huimanguillo (ITHUI), preparando el suelo con un paso de arado y dos rastreos, sembrando plántulas de sandía variedad Sunsugar, las cuales se germinaron previo a la siembra el 16 de marzo del 2024, transcurridos doce días, se trasplantaron en campo, aplicando 0.5 gramos de hidrogel por planta previamente hidrolizado y raizal a los diez días del trasplante. La fertilización se realizó con la fórmula (N-120) (P-80) (K-180), posteriormente se realizaron aplicaciones cada 15 días de insecticida comercial a base de aceite de girasol y un fungicida, Oxicu-Mancozeb. Se evaluaron tres tratamientos: T1, consistió en dejar desarrollar desde el principio dos ramas principales; T2, se dejó desarrollar desde el principio cuatro ramas principales; en ambos tratamientos se podaron las plantas luego de que tuvieran de cinco a seis hojas. En cuanto al tratamiento 3, se dejó que la planta desarrollara libremente. Las variables respuesta fueron: longitud de las guías en (cm) (LTg), número de flores (NF). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Luego de 58 días, los resultados indicaron que no hubo respuesta al estímulo por la poda en el crecimiento y desarrollo de la planta. No se identificaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en las variables LTg y NF. A modo de conclusión, durante el periodo de estudio, los tratamientos se comportaron igual.

Palabras clave: hidrogel, sandía variedad Sunsugar, fertilización química

²⁶⁷ Departamento de Ingeniería, Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Tecnológico Nacional de México. Campus Huimanguillo. *Autor de correspondencia

HIELITO HECHO CON DÁTIL: UN HELADO NATURAL Y AGRIDULCE (*Phoenix dactylifera*)

Abel García Tovar²⁶⁸, Juan Alfredo Solís Álvarez²⁶⁸, Cesar Manuel Rodríguez Guitiérrez²⁶⁸,
Denisse Moreno González²⁶⁸ y Juan Cristóbal Hernández Arzaba^{269*}

Resumen

Hielátil se destaca como un helado innovador, que utiliza los excedentes de dátiles del Valle de Mexicali para crear un manjar naturalmente picante y dulce. Elaborado a mano, este helado aprovecha ingredientes locales y naturales para ofrecer una experiencia única y saludable. La misión de Hielátil no es solo deleitar las papilas gustativas, sino también apoyar la sostenibilidad e impulsar la economía local. Para obtener una comprensión más profunda del mercado y las necesidades de los clientes, se realizaron encuestas y estudios de mercado en el Valle de Mexicali. Esta investigación implicó la recopilación de datos sobre las preferencias de los consumidores, el análisis de los ingredientes disponibles localmente y la evaluación de la viabilidad técnica y económica del producto. Se prestó especial atención a los estándares de calidad, higiene y seguridad, asegurando el cumplimiento de las regulaciones nacionales para entregar un producto de alta calidad. Los hallazgos revelaron una fuerte aceptación del Hielátil por parte de los consumidores, particularmente entre aquellos que buscan alternativas saludables y sostenibles. El uso de ingredientes naturales y locales no solo redujo los costos de producción, sino que también ofreció importantes beneficios nutricionales, como la fibra soluble beneficiosa para las personas con diabetes. Los comentarios de los consumidores destacaron la calidad y el sabor únicos del helado, junto con su impacto positivo en la comunidad local. En conclusión, Hielátil se ha consolidado como una opción atractiva y viable en el mercado de los helados. Su enfoque en la sostenibilidad, la calidad y el apoyo económico local lo distingue de la competencia, brindando una experiencia de consumo deliciosa y responsable. Hielátil satisface la demanda de productos saludables a la vez que contribuye al bienestar del medio ambiente y de la comunidad del Valle de Mexicali.

Palabras clave: dátil, artesanal, sabor único, sostenible, medio ambiente

²⁶⁸ Centro de Innovación: Mercados Agropecuarios Competitivos, Facultad de Ciencias Administrativas, Sociales e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México, C.P. 21720.

²⁶⁹ Facultad de Ciencias Administrativas, Sociales e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México, C.P. 21720.

*Autor de correspondencia: juan.cristobal.hernandez.arzaba@uabc.edu.mx

CONTROL INTEGRADO DE *Sitophilus zeamais* (Mostchulsky) (Coleoptera: Curculionidae), LA AMENAZA DEL 2050

Pablo Antonio Mendoza del Ángel²⁷⁰, Daniel Arturo Rodríguez Lagunes^{270*}, Nicolaza Pariona Mendoza²⁷¹, María Leonor López Meraz²⁷², Odón Castañeda Castro²⁷³ y Luis Alberto Solano Rodríguez²⁷³

Resumen

Dentro de los cultivos de mayor importancia nutricional mundial para la alimentación humana se encuentra el maíz. Actualmente más de un tercio de la población mundial depende del maíz como alimento básico. En 2021 se produjeron 1,483 millones de toneladas de maíz a nivel mundial. Se estima que la demanda de este cultivo aumente un 30% para el año 2050. Dentro los principales retos para el año 2050 es satisfacer la demanda de alimentos básicos a nivel mundial. El crecimiento demográfico y el cambio de uso de suelo, limitan la producción agrícola de manera significativa, lo que compromete la seguridad y la soberanía alimentaria de cada nación. El futuro de la producción de maíz para 2050, no solo comprende los factores del crecimiento demográfico y el cambio de uso de suelo, sino que engloba diferentes temas de importancia, dentro de los que destacan el control de insectos plaga que residen durante el almacenamiento de los granos de maíz. Actualmente se reportan 70 especies de insectos plagas, donde “el gorgojo de maíz” (*Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera:Curculionidae) es considerado el insecto de mayor importancia económica. Se estima que el porcentaje de pérdida a nivel global por *S. zeamais* es del 20% lo que representa más de 250 millones de toneladas de maíz anuales a nivel mundial. La presencia de este insecto genera una pérdida significativa en la disponibilidad de este alimento para la población mundial; lo que repercute en el cumplimiento de los Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ODS), principalmente en el ODS 2 (Hambre cero). Con la finalidad de aportar una solución a la problemática mencionada, se presentará un panorama general de las técnicas de manejo integrado actuales para el control de *S. zeamais*, que van desde métodos mecánicos, control biológico y nanoinsecticidas, principalmente; con el propósito de contribuir a los objetivos de la ODS.

Palabras clave: granos almacenados, MIP, nanoinsecticidas, ODS

²⁷⁰ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: darodriguez@uv.mx

²⁷¹ Red de estudios moleculares avanzado, Instituto de Ecología.

²⁷² Instituto de investigaciones cerebrales, Universidad Veracruzana.

²⁷³ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana.



Pecuaria

CIRUGÍA ORTOPÉDICA DE HÚMERO EN BECERRA Y EL REINGRESO A PRODUCCIÓN. PRIMER REPORTE DE CASO

Ronnie de Jesús Arieta Román²⁷⁴, Olga Patricia Juárez Culebro²⁷⁴
y Eduardo Manuel Graillet Juárez²⁷⁴

Resumen

En la producción bovina nacional se presentan diferentes patologías que limitan la obtención de carne y leche, una de ellas son las fracturas humerales, que ocurren con poca frecuencia en el ganado y representan menos del 5% de todos los tipos de fracturas y el 18% de todas las fracturas de huesos largos. El objetivo del presente estudio fue realizar el primer reporte de caso de cirugía ortopédica de húmero con clavo intramedular en becerra Brahman y el reingreso a la producción bovina. Se realizó una valoración mediante imagenología del húmero derecho, observándose fractura helicoidal en el tercio distal, en una becerra Brahman de 60 días de edad. La cirugía ortopédica consistió previa asepsia, en la colocación de un clavo de Steinmann calibre 5.2 mm, previa coaptación manual, iniciando con una incisión en piel, luego se separaron el tejido subcutáneo y la fascia superficial para revelar el bíceps braquial, músculos braquiocefálico, deltoides y tríceps braquial. Los músculos fueron cortados para exponer la cabeza del húmero y tener cuidado de evitar arterias y nervios sanguíneos importantes, como el nervio radial. Se procedió a insertar el clavo intramedular, atravesando la epífisis proximal con un taladro eléctrico hasta llegar al tercio distal del mismo, palpando enseguida hasta sentir la rigidez total. Después se suturaron los planos musculares con surgete continuo anclado con el uso de sutura de ácido poliglicólico del número 1 y puntos en U con nylon del 1 en piel. Se utilizó una férula de Thomas para la fijación externa por período de 30 días y retiro del clavo. El resultado fue la completa recuperación del paciente al día 45, teniendo un desplazamiento normal del miembro torácico intervenido. Se concluye que la ortopedia realizada permitió en regreso de la becerra a la producción bovina en un período de 45 días.

Palabras clave: Cirugía ortopédica, reingreso, becerra

²⁷⁴ Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria, Universidad Veracruzana. Acayucan Ver, México. roarieta@uv.mx

Introducción

México se ubica en el 6° lugar del ranking mundial en la producción de carne de bovino, los estados de mayor producción son Veracruz, San Luis Potosí, Durango, Jalisco y Baja California con una producción cárnica de 902182 toneladas. Para el caso de la producción de leche de bovino, el país se ubica en el lugar 15° del ranking mundial, y son los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco y Guanajuato los de mayor producción láctea con 7857 millones de litros (SIAP, 2024). En este contexto, en la producción bovina nacional se presentan diferentes patologías que limitan la producción de carne y leche, una de ellas son las fracturas humerales, que ocurren con poca frecuencia en el ganado y representan menos del 5% de todos los tipos de fracturas y el 18% de todas las fracturas de huesos largos (Rakestraw, 1996). En el ganado vacuno, las fracturas de huesos largos son más o menos frecuentes y en la literatura científica se ha informado de una gran variedad. La causa más común es la desproporción feto-materna asociada con el parto asistido mediante dispositivos mecánicos (St-Jean *et al.*, 1992a; Ferguson, 1994; Nichols *et al.*, 2010). Las fracturas diafisarias en el ganado bovino todavía se consideran un desafío para los veterinarios sobre todo al tamaño y la masa del animal (Rodrigues *et al.*, 2009). La selección del método adecuado para el tratamiento de las fracturas de huesos largos es el mayor reto. (Ferguson *et al.*, 1990). Algunas complicaciones postoperatorias comunes en el tratamiento conservador incluyen retraso en la cicatrización, consolidaciones defectuosas, infecciones, decúbito prolongado con las consiguientes heridas por presión y problemas en la extremidad contralateral (McClure *et al.*, 1998). Se han utilizado varias técnicas quirúrgicas para la estabilización de fracturas de huesos largos en el ganado: fijación intramedular con clavos, cerclaje con alambre, fijación con clavos entrelazados intramedulares, fijación con clavos, fijación esquelética externa, placas y tornillos para hueso (St-Jean *et al.*, 1992b; Aithal *et al.*, 2004; Nichols *et al.*, 2010). En este sentido, el objetivo del presente estudio fue realizar el primer reporte de cirugía ortopédica de húmero con clavo intramedular en becerro Brahman y el reingreso a la producción bovina.

Materiales y métodos

Localización

El caso clínico se presentó en el municipio Medellín de Bravo, Veracruz, México. Esta comprendido entre las coordenadas geográficas 19°03'42"N y 96°09'44"O.

Ejemplar

Se intervino quirúrgicamente una becerria Brahman con un peso de 65 kg y 60 días de edad, observándose fractura helicoidal en el tercio distal del húmero derecho (Figura 1).



Figura 1. Fractura helicoidal tercio distal del húmero derecho.

Descripción de la técnica quirúrgica

Preoperatorio

La piel del área operatoria se lavó con jabón quirúrgico, se practicó tricotomía y embrocó tres veces con gasas saturadas de yodo, frotándose fuerte. Para la sedación se aplicó xilazina (0.2

mg/kg) vía intramuscular y se sujetó al paciente manteniéndolo en posición decúbito lateral izquierdo. Se realizó un bloqueo de campo infiltrando el plexo braquial. Para este bloqueo se empleó clorhidrato de lidocaína al 2% a dosis de 25 mL en el sitio de infiltración.

Transoperatorio

Se realizó una valoración mediante imagenología del húmero, observándose fractura helicoidal en el tercio distal, en una becerra Brahman de 60 días de edad. La cirugía ortopédica consistió previa asepsia, el cirujano procedió a la colocación de un clavo de Steinmann calibre 5.2 mm (Figura 2), previa coaptación manual, iniciando con una incisión en piel, luego se separaron el tejido subcutáneo y la fascia superficial para revelar el bíceps braquial, músculos braquiocefálico, deltoides y tríceps braquial.



Figura 2. Colocación de clavo de Steinmann en húmero.

Los músculos fueron cortados para exponer la cabeza del húmero con cautela para evitar arterias y nervios sanguíneos importantes, como el nervio radial, se procedió a insertar el clavo intramedular, se atravesó la epífisis proximal con un taladro eléctrico hasta llegar al tercio distal del mismo, palpando después y hasta sentir la rigidez total. A continuación, se suturaron los planos musculares con surgete continuo anclado y uso de sutura de ácido poliglicólico del número 1 y puntos en U con nylon del 1 en piel.

Posoperatorio

Se utilizó una férula de Thomas para la fijación externa por un período de 30 días y retiro del clavo (Figura 3). La recomendación postoperatoria, incluyó penicilina G procaína a dosis de 20 000 UI/kg cada 12 h por 7 días, vía intramuscular profunda, además de curaciones locales, durante 7 días, por último, se retiraron los puntos el día 12 posoperación y el clavo al día 30.



Figura 3. Férula de Thomas para la fijación externa.

Resultados y discusión

El resultado del presente estudio fue la completa recuperación del paciente al día 45, quien mostró un desplazamiento normal del miembro torácico intervenido (Figura 4).

Estos resultados coinciden con lo reportado en Bangladesh, donde menciona que las fracturas de húmero en el ganado bovino son raras pero desafiantes para los cirujanos veterinarios debido al crítico papel del húmero en el soporte de peso y la movilidad. En este sentido, exploraron el éxito del manejo quirúrgico de una pantorrilla con una fractura conminuta del eje del húmero distal izquierdo en el que se usaron técnicas de cableado y enclavamiento de clavos. El estudio analiza la presentación clínica, evaluación diagnóstica radiológica, abordaje quirúrgico y cuidados postoperatorios y seguimiento del caso. Los resultados indicaron un

resultado favorable, con la pantorrilla que recuperó la función de las extremidades y soportar peso después de la cirugía.



Figura 4. Recuperación completa del paciente al día 45.

Este informe de caso enfatizó la importancia de una intervención quirúrgica rápida y adecuada para preservar la salud de la pantorrilla y facilitar la recuperación funcional en fracturas de húmero (Alam, 2023). Los resultados obtenidos en el presente estudio, también concuerdan con lo reportado en otro estudio realizado en Bangladesh, donde el becerro toleró bien el clavo intramedular y la fractura sanó por completo. Durante los exámenes clínicos y radiológicos postoperatorios, sin cambios en la configuración del clavo intramedular o lisis ósea. No hubo evidencia de deformidad debido al exceso de peso y sin evidencia de daño a los nervios o vasos sanguíneos. No se encontraron complicaciones importantes como osteomielitis. El becerro con la extremidad operada tocó el suelo al séptimo día y comenzó a soportar peso después de 1 mes (Imtiaz, 2020).

Conclusiones

Se concluye que la ortopedia realizada permitió en regreso de la becerro a la producción bovina en un período de 45 días. La cirugía ortopédica es de gran ayuda para recuperar animales de alto valor genético con traumatismos en húmero.

Literatura citada

- Aithal, H.P., Singh, G.R., Hoque, M., Maiti, S.K., Kinjavdekar, P., Amarpal Pawde and A.M., Setia, H.C. 2004. The use of a circular external skeletal fixation device for the management of long bone osteotomies in large ruminants: an experimental study. J. Vet. Med. Series A, 51 (6):284-293.
- Alam P.R. 2023. Surgical Management of Humerus Fracture in Calf by Using Wire and Interlocking Nails. A clinical report submitted in partial satisfaction of the requirement for the fulfillment of the degree of Veterinary Medicine. Department of Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Faculty of Veterinary Medicine Chattogram Veterinary and Animal Sciences University, Chattogram-4225, 20p.
- Ferguson, F.G., 1994. Femoral fractures in the newborn calf: biomechanics and etiological considerations for practitioners. Can. Vet. J. 35: 626-630.
- Ferguson, J.G., Dehghani, S and Petrali, E.H., 1990. Fractures of the femur in newborn calves. Can. Vet. J. 31: 289-291.
- McClure, S.R., Watkins, J.P., Ashman, R.B., 1998. In vivo evaluation of intramedullary interlocking nail fixation of transverse femoral osteotomies in foals. Vet. Surg. 27, 29–36.

- Nichols, S., Anderson, D.E., Miesnerb, M.D. and Newmana, K.D., 2010. Femoral diaphysis fractures in cattle: 26 cases (1994–2005). *Aust. Vet. J.* 88: 39-44.
- Intiaz C.N. 2020. Internal Fixation of Fracture in Humerus of Cattle by Using Intramedullary Pinning. A Clinical Report Presented in Partial Satisfaction of the Requirements for the Degree of Doctor of Veterinary Medicine (DVM) Faculty of Veterinary Medicine, Chattogram Veterinary and Animal Sciences. University Khulshi, Chattogram-4225, 20p.
- Rodrigues, L.B., Lopes, D.S., Folgado, J., Fernandes, P.R., Pires, E.A.C.B., Las Casas, E.B., Faleiros, R.R., 2009. Bone remodeling analysis of a bovine femur for a veterinary implant design. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng.* 12 (6): 683-690.
- Rakestraw, P. C. 1996: Fractures of the humerus. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 12: 153–168.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2024. Escenario mensual de productos agroalimentarios. <https://www.gob.mx/siap>
- St-Jean, G., DeBowes, R.M., Hull, B.L., Constable, P.D., 1992a. Intramedullary pinning of femoral diaphyseal fractures in neonatal calves: 12 cases (1980–1990). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 200 (9), 1372–1376.
- St-Jean, G., DeBowes, R.M., Rashmir, A.M., Engelken, T.J., 1992b. Repair of a proximal diaphyseal femoral fracture in a calf, using intramedullary pinning, cerclage wiring, and external fixation. *J Am. Vet. Med. Assoc.* 200, 1701–1703.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONDUCTA REACTIVA EN MANGA DE MANEJO EN PRODUCCIÓN INTENSIVA DE BOVINOS

Víctor Fernando Torres Aburto^{275*}, Adolfo Apolo Carrasco García²⁷⁵,
Bertha Clementina Hernández Cruz²⁷⁵, Belisario Domínguez Mancera²⁷⁵
y Adrián Gutiérrez Cervantes²⁷⁶

Resumen

La producción intensiva de ganado en México, requiere instalaciones que permitan el manejo minimizando el estrés y favoreciendo el comportamiento natural de los animales; por ello, se realizó la evaluación económica de una manga recta con paredes cerradas y su efecto en el tiempo de manejo. Se evaluaron 432 animales de cruza de razas *Bos indicus* (Brahmán n=152), y cruza de *Bos indicus* con *Bos taurus* (Brahmán/Suizo Americano n=280;) con un peso promedio de 180 ± 2 kg y un rango de edad de 16 a 18 meses. Se realizó la evaluación de la conducta reactiva en manga clasificándola en cinco categorías: dócil (D), ligeramente agresivo (LA), moderadamente agresivo (MA), agresivo (A) y muy agresivo (MA); se determinó el tiempo de manejo (TM, seg), transcurrido por el animal desde su ingreso hasta la prensa, se calculó el costo de horas (CH) mediante el número de operadores asignados al área de trabajo y la cantidad de horas utilizadas. Se realizó el análisis del tiempo de velocidad de salida, de acuerdo con las diferentes categorías de comportamiento expresado y, el tiempo de procesamiento por la prueba de Kruskal-Wallis empleando el software estadístico Statistica v.10 (StatSoft, 2011). Se encontró diferencia estadística significativa ($p < 0.005$), en las categorías D y LA 12 17% en comparación con MOA, A y MA, estas últimas concentraron el 83% de la población evaluada. El TM y CH presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.005$), entre las categorías D y LA, 22.25 ± 1.42 y 25.12 ± 1.25 s en comparación con MOA, A y MA con 33.56 ± 1.37 , 41.01 ± 1.21 y 43.23 ± 1.57 s; siguiendo el mismo orden en las categorías de comportamiento los costos por horas de manejo también presentaron diferencias estadísticas entre ellas fueron de 0.33 ± 0.15 y 0.38 ± 0.21 c (00/MXN); en relación, con 0.50 ± 0.18 , 0.62 ± 0.22 y 0.67 ± 0.21 c (00/MXN). Se concluye que el tipo de comportamiento que expresa el bovino durante su desplazamiento tiene una relación directa con el tiempo de manejo, la cantidad de tiempo empleado y el costo del mismo.

Palabras clave: temperamento, producción, instalaciones, rentabilidad

²⁷⁵ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Región Veracruz. Universidad Veracruzana.*Autor de correspondencia: victortorres@uv.mx

²⁷⁶ Instituto Tecnológico de Boca del Río. Región Veracruz.

Introducción

La producción de carne es un sector de vital importancia para el país, esta se realiza en diferentes tipos de sistemas productivos, dentro de los cuales destacan los sistemas intensivos que aportan el 65% de la producción nacional de carne de res contribuyendo a satisfacer la demanda nacional e internacional de proteína animal; además, ayudan a la economía nacional, desarrollo rural y adopción de nuevas tecnologías productivas (Torres *et al.*, 2023).

No obstante, uno de los principales desafíos que enfrenta la industria ganadera se encuentra relacionado con el diseño de las instalaciones para brindar al ganado bovino las condiciones adecuadas para expresar de forma natural su comportamiento; el cual se encuentra relacionado directamente a las acciones y reacciones de los bovinos en respuesta a los estímulos internos y externos presentes en su entorno; e incluye patrones de actividad como rumia, descanso, interacción social y manejo; además de ser influenciado de manera positiva o negativa por factores ambientales, sociales, salud, interacciones humanas e instalaciones (Romo-Valdez *et al.*, 2021).

Con respecto a estas, la manga para el manejo del ganado es una instalación que contribuye en asegurar la eficacia y bienestar de los bovinos, así como de los trabajadores, es una herramienta clave en la operatividad de la empresa ganadera, debido a que su función consiste en desplazar el ganado hasta la prensa de manejo donde se le suministra protocolos de sanidad de acuerdo a su etapa productiva permitiendo un manejo más efectivo y económico del ganado (Ujita *et al.*, 2021).

Esta estructura, se encuentra conformada principalmente por una puerta de entrada, carril de acceso, puerta de salida y paredes de lámina en ambos lados y con un diseño curvo, esto contribuye a reducir el estrés al impedir que los bovinos puedan observar lo que se encuentra delante de ellos, reduce las distracciones por la presencia de objetos externos y facilita que se desplacen de manera fluida, ordenada y con menor resistencia debido a que avanzan de manera voluntaria reduciendo la necesidad de forzar su desplazamiento lo que disminuye la probabilidad de lesiones en el ganado así como en los operadores (Grandin, 2020).

Por otra parte, durante el recorrido del bovino en la manga de manejo puede manifestar diferentes tipos de conductas las cuales se clasifican de acuerdo al comportamiento exhibido en: no agresivo, ligeramente agresivo, moderadamente agresivo, agresivo y muy agresivo,

esta clasificación tiene un efecto directo sobre el tiempo empleado por los operadores para lograr desplazar el ganado; sin embargo, las categorías más reactivas pueden generar mayores concentraciones de cortisol afectando la calidad de la carne y ocasionando pérdidas económicas relacionados con los cortes oscuros que se presentan en la canal durante su procesamiento (Chen *et al.*, 2021).

Todo lo anterior, tiene un efecto sobre el tiempo de manejo, este indicador se refiere a la cantidad de tiempo invertido para el manejo de los animales en la manga de manejo, este tiempo es crucial ya que puede afectar el bienestar, salud, productividad del ganado y en la rentabilidad de la empresa (Tucker *et al.*, 2015). Es por esto, que dicho indicador influye en los costos de producción, al aumentar los costos por mano de obra debido a que el ganado reactivo necesita más tiempo para ser manipulado para evitar un mayor desgaste en las instalaciones por el mantenimiento debido por los daños ocasionados por los animales; además, un manejo inadecuado en el ganado produce un mayor consumo de medicamentos debido a las enfermedades ocasionadas por el estrés y lesiones en el ganado, así como, el incremento en la alimentación al necesitarse un mayor número de días para que el ganado se recupere de y alcance el peso requerido para su envío al rastro (Harrison y Oltjen, 2020). Por lo expuesto, es de vital importancia que los sistemas intensivos cuenten con instalaciones que faciliten el manejo seguro de bovinos y su manipulación de forma segura, que contribuya a mantener el flujo de ganado en la operación, contribuyendo así, a la viabilidad económica de la empresa; es por esto, que el objetivo de este estudio fue realizar una evaluación económica del tiempo de manejo en la manga de manejo de acuerdo al comportamiento expresado por los bovinos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en un sistema intensivo de producción bovina ubicado en la localidad de Santa Rita, municipio de Veracruz en una ubicación geográfica 18°26'56"N 96° 21'26"O con una altitud de 20 m.s.n., presenta una precipitación pluvial promedio de 866 milímetros y una temperatura promedio anual de 27°C.

Diseño experimental

La información fue recolectada en el periodo de enero a febrero del 2024, se evaluaron 432 animales de cruza de razas *Bos Indicus* (Brahmán $n=152$), y cruza de *Bos indicus* con *Bos taurus* (Brahmán/Suizo Americano $n=280$), los animales contaban con un peso promedio de 180 ± 2 kg con un rango de edad de 16 a 18 meses, se asignó a cada uno de los animales una categoría de acuerdo al comportamiento expresado durante su recorrido en la manga; además, se contabilizó el tiempo de manejo para cada uno de ellos, con esta información se calculó la cantidad de horas empleadas por los operadores para el manejo de cada categoría, así como el costo por el pago de las mismas.

Diseño de la manga de manejo

La manga de manejo era recta y de paredes cerradas contaba con 20 m de largo y estaba conformada por secciones de lámina con una altura y longitud de 1.80 y 1.2 m, respectivamente, presentaba una rampa lateral externa construida de acero, el suelo era de concreto y presentaba ranuras en toda su extensión con un ancho de 2.5 cm y separación de 10 cm entre cada una de ellas, se disponía de sombra en toda el área.

Manejo del ganado

Para el manejo del ganado los operadores empleaban la rampa lateral externa para conducirse por ella, el manejo estaba a cargo de dos operadores capacitados para realizar esta actividad, el primero permitía el ingreso de un solo animal en la manga y el segundo operador lo conducía a través de esta hasta su ingreso en la prensa, para posteriormente repetir la misma acción con el resto de los animales.

Evaluación de comportamiento

Se utilizó la prueba de comportamiento propuesta por Grandin (2015), esta prueba clasifica a los animales en cinco categorías: Dócil (D), Ligeramente agresivo (LA), Moderadamente agresivo (MOA) y Muy agresivo (MA) (Cuadro 1), y evalúa la respuesta conductual de los mismos durante el recorrido en la manga de manejo, la puntuación fue asignada por medio de la observación directa de acuerdo al criterio de un colaborador previamente capacitado para realizar esta función durante todo el proceso de recolección de datos.

Cuadro 1. Clasificación de categorías de comportamiento expresado en la manga de manejo.

Categoría de comportamiento	Características
Dócil	Camina lentamente sin ser estimulado por personas o instalaciones
Ligeramente agresivo	Camina lentamente pero detiene su avance ante la presencia de las personas.
Moderadamente agresivo	Permanece en el grupo de atrás, con la cabeza erguida y muy consciente de los humanos, puede tropezar con cercas y puertas incluso a cierta distancia
Agresivo	Corre al interior de la manga, levanta la cabeza y se detiene antes de golpear las puertas de la prensa, evita el contacto con los humanos.
Muy agresivo	Corre y choca contra cercas, atropella humanos y cualquier objeto en el camino.

Tiempo de manejo

Se empleó la técnica de Grandin (2007), para el registro de la cantidad de tiempo expresado en segundos mediante el uso de un cronometro digital manipulado por un colaborador iniciando el registro del tiempo cuando el animal ingresaba a la manga de manejo y deteniendo el contador al momento que este llegaba a la puerta de la prensa.

Costo

Se elaboró un registro diario de la cantidad de horas utilizadas por parte de los operadores relacionadas con el manejo del ganado, esta información se empleó para determinar la cantidad total de horas hombres al multiplicar el número de operadores asignados al área de trabajo por la cantidad de horas utilizadas; para el cálculo de costos por concepto de mano de obra se utilizó la metodología de costos propuesta por Aguilar (1989), se multiplicó el salario percibido por hora para cada operador por la cantidad de horas destinadas al manejo por el número de días laborados por operador.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el software estadístico Statistica v.10 (StatSoft, 2011). Se llevó a cabo los análisis del tiempo de velocidad de salida de acuerdo con las diferentes categorías de comportamiento expresado y el tiempo de procesamiento por la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias en el tiempo de velocidad, tomando como grupos los diferentes comportamientos observados, los resultados se presentan como medias $\pm$ desviación estándar, un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se encontraron diferencias estadística significativas en las categorías de comportamiento menos reactivas D y LA acumulando sólo 12%, en comparación con MOA, A y MAO, que concentraron el 83% de la población evaluada, algo similar es reportado por Daigle *et al.*, (2023), en donde se evaluó la conducta del ganado en sistemas de producción intensiva reportando un máximo de 10% de conductas deseables en el ganado en las primeras ocasiones en el que se desplazó en el interior de la manga de manejo, esto como consecuencia al escaso o nulo manejo en instalaciones durante el desarrollo del ganado de pastoreo extensivo; por otra parte, las categorías de comportamiento más reactivas concentraron un 83% de la población analizada, este tipo de conducta reactiva que presentó el ganado se encuentra relacionado con el tipo de temperamento característico de las razas evaluadas, esto coincide con lo obtenido por Reichhardt *et al.*, (2023), en donde se comparó el tipo de conductas de becerros estabulados de razas *Bos tauro* y *Bos indicus* durante la aplicación de protocolos de salud, encontrando que el ganado cebú presentó un temperamento nervioso, siendo más reactivas al manejo por parte de los operadores, dando como resultado comportamientos defensivos de mayor intensidad cuando se sienten amenazados dificultando considerablemente su manejo.

Cuadro 2. Distribución del número de animales en relación con su comportamiento expresado.

Categoría de comportamiento	Número de animales por categoría
Dócil	22 ^a
Ligeramente agresivo	31 ^a
Moderadamente agresivo	123 ^b
Agresivo	147 ^b
Muy agresivo	131 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.005$).

En el Cuadro 3, se observa que la categoría de comportamiento tiene una relación directa con la velocidad de salida, los resultados demostraron que las conductas menos reactivas D y LA estuvieron por debajo de los 25 s y presentan una diferencia estadística significativa en relación con el tiempo de manejo en contraste con las conductas MOA, A y MA donde se superan los 30 s, los datos obtenidos concuerdan con lo reportado por Bandini *et al.*, (2020), quienes analizaron la influencia del comportamiento sobre el tiempo de procesamiento, demostrando que aquellos bovinos que fueron sometidos a situaciones de estrés y dolor por un manejo inadecuado al emplear objetos puntiagudos, electrónicos o gritos, así como, la frecuencia con la que eran empleados estos métodos provocaba que los animales se mostraran renuentes para ser movilizados, en las instalaciones, afectando considerablemente el flujo del ganado en las operaciones del sistema intensivo al tener que emplear una mayor cantidad de tiempo por animal.

Cuadro 3. Clasificación del tiempo promedio de manejo para cada categoría de comportamiento.

Categoría de comportamiento	Tiempo de manejo
Dócil	22.25 $\pm$ 1.42 ^a
Ligeramente agresivo	25.12 $\pm$ 1.25 ^a
Moderadamente agresivo	33.56 $\pm$ 1.37 ^b
Agresivo	41.01 $\pm$ 1.21 ^c
Muy agresivo	43.23 $\pm$ 1.57 ^c

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.005$).

La Figura 1, muestra la cantidad de tiempo acumulado expresado en horas para cada una de las categorías de comportamiento evaluadas, las conductas A y MA superaron las 5 h, MOA obtuvo 3 h, D y LA estuvieron por debajo de las 2 h, la cantidad de horas está estrechamente relacionadas con el tiempo de procesamiento debido a que los operadores deben de tener una mayor precaución y seguridad para evitar ser embestidos o pateados por animales con una conducta agresiva, para lo cual requieren emplear estrategias para calmar al ganado como desplazarse lentamente, hablar con un tono de voz bajo y evitar movimientos bruscos, con lo que se evita minimizar la posibilidad de lesiones en el ganado que puedan provocar lesiones que afecten el rendimiento de la canal por la presencia de cortes oscuros y evitar accidentes laborales relacionados con el ganado los cuales presentan una participación del 67% con incapacidades permanente o temporales (Baidwan *et al.*, 2021; Steel *et al.*, 2022).

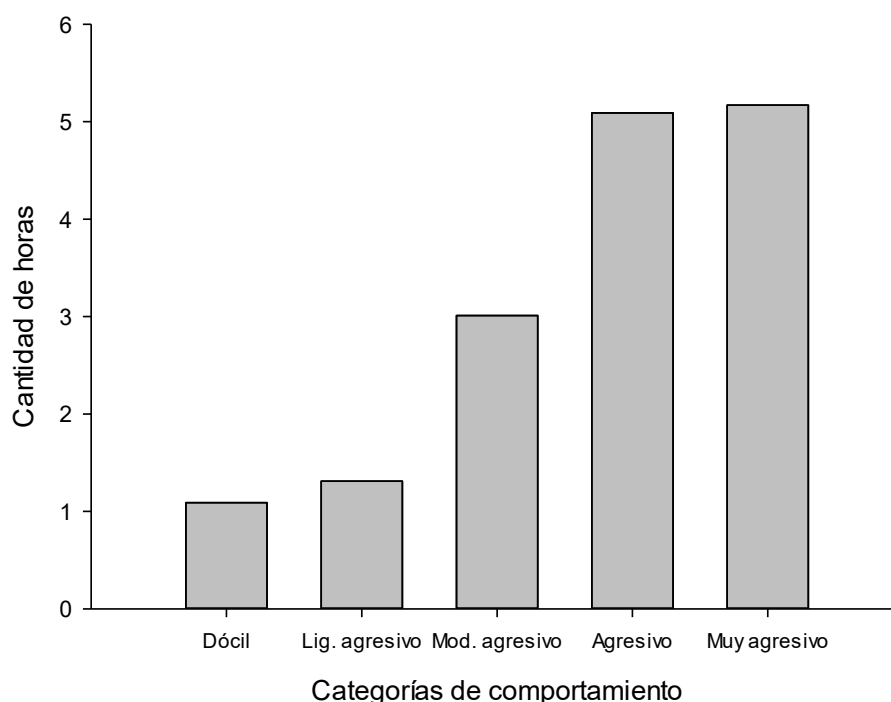


Figura 1. Cantidad de horas empleadas para el procesamiento para cada categoría de comportamiento.

Como se muestra en el Cuadro 4, y manteniendo la misma tendencia en relación con el tiempo de procesamiento, las categorías más reactivas MOA, A y MA obtuvieron los costos promedios más elevados con 0.50, 0.62 y 0.67 pesos, respectivamente, esto indica que los

comportamientos agresivos en el ganado se encuentran asociados con mayores costos de manejo esto debido a la necesidad de emplear más recursos materiales, tiempo y medidas adicionales para manejar comportamientos agresivos, esto coincide con lo reportado por Grandin (2017), en donde se evaluó el comportamiento de animales agresivos en confinamiento reportando que estos necesitaban una mayor zona de vuelo por lo que se requería una inversión económica mayor en el diseño de las estructuras de contención o modificaciones a las mismas con la finalidad de proporcionar una mayor cantidad de espacio y medidas adicionales para el manejo del ganado, Ramírez *et al.*, (2021), evaluó el efecto de modificar instalaciones que fueron diseñadas incorrectamente encontrando que esto produce decrementos de un 10% en la rentabilidad de la empresa al aumentar interrupciones en la producción, dificultades en el manejo y logística del ganado.

Cuadro 4. Clasificación del costo promedio del manejo para cada categoría de comportamiento.

Categoría de comportamiento	Costo de manejo (cts/MXN)
Dócil	0.33 ± 0.15 ^a
Ligeramente agresivo	0.38 ± 0.21 ^a
Moderadamente agresivo	0.50 ± 0.18 ^b
Agresivo	0.62 ± 0.22 ^b
Muy agresivo	0.67 ± 0.21 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.005$).

La Figura 2, muestra el costo de las horas acumuladas en relación con la cantidad de tiempo empleado para el manejo de los bovinos de acuerdo a las categorías de comportamiento, las categorías que generaron un menor costo fueron para D y LA, 120 y 143 pesos (00/MXN); las categorías MOA, A y MA; en contraparte, con respecto a las otras categorías más reactivas, obtuvieron un costo por horas de manejo por 329, 556 y 565 pesos (00/MXN) respectivamente, esto coincide con Fox *et al.*, (2015), donde evaluaron el efecto del ganado agresivo sobre los costos de producción, especialmente a lo que respecta en el segmento de mano de obra debido a que se requiere brindar cursos constante de capacitación al personal para la prevención de accidentes por manejar ganado agresivo, este tipo de capacitación

especializada implica un costo adicional en tiempo en términos de tiempo y recursos financieros; aunado a lo anterior, Larue (2022) reporta que la exposición continua al ganado agresivo puede ocasionar una mayor rotación de personal como consecuencia que los trabajadores pueden sentirse inseguros o insatisfechos lo que incrementa la tasa de abandono de empleo, generando costos adicionales en la contratación y capacitación de nuevos operadores, así como, la posible disminución de la productividad hasta que los nuevos trabajadores se adapten al área asignada.

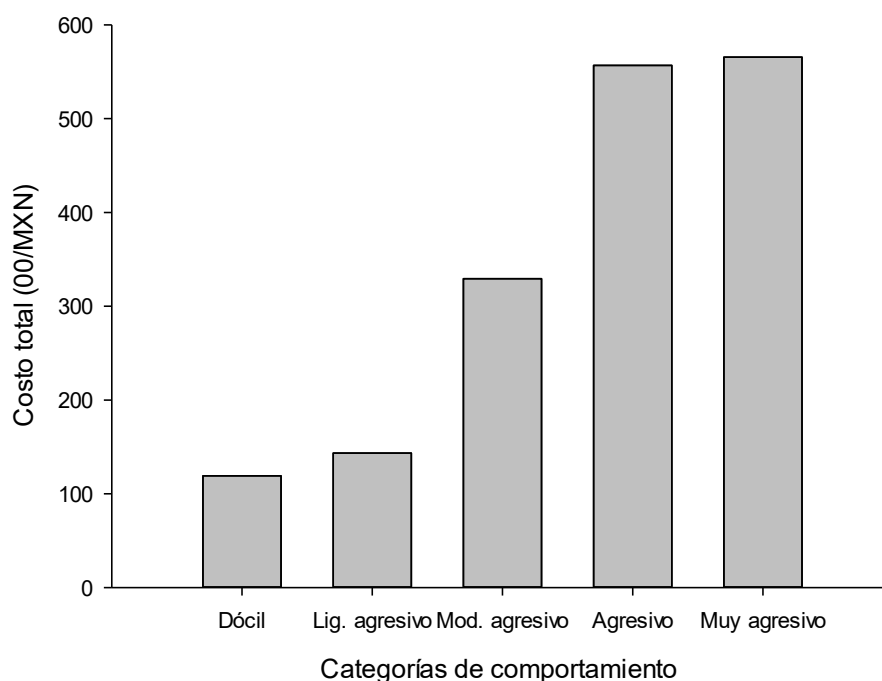


Figura 2. Costo total de horas empleadas para el procesamiento de las categorías de comportamiento.

Conclusiones

Se demostró que las categorías de comportamiento tienen un efecto sobre el tiempo de manejo del ganado, así como, en la cantidad de horas empleadas por los operadores para realizar dicha actividad y en los costos de las mismas. Las categorías D y LA obtuvieron un menor tiempo de manejo y costo en comparación con MOA, A y MA, las cuales debido a su reactividad

afectaron los indicadores evaluados, esto a que los animales reaccionaban con mayor intensidad a los estímulos y requerían una mayor cantidad de tiempo para ser manejados por los operadores para ser controlados; lo anterior, tiene implicaciones económicas importantes en la empresa ganadera, un manejo eficiente y menos costoso, es esencial para garantizar la viabilidad económica.

Literatura citada

- Aguilar Valdés, A. 1989. Administración agropecuaria: Trabajo colectivo de investigación académica (4a ed.). México: Limusa: Noriega Edits.
- Bandini, E., Motes-Rodrigo, A., Steele, M. P., Rutz, C., & Tennie, C. 2020. Examining the mechanisms underlying the acquisition of animal tool behaviour. *Biology Letters*, 16(6): 20200122.
- Baidwan, N. K., Ramirez, M. R., Gerr, F., Boonstra, D., Cavanaugh, J. E., & Casteel, C. 2021. Cost, severity and prevalence of agricultural-related injury workers' compensation claims in farming operations from 14 US states. *International journal of environmental research and public health* 18(8): 4309.
- Chen, C., Zhu, W., & Norton, T. 2021. Behaviour recognition of pigs and cattle: Journey from computer vision to deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture* 187: 106255.
- Daigle, C. L., Sawyer, J. E., Cooke, R. F., & Jennings, J. S. 2023. Consider the Source: The Impact of Social Mixing on Drylot Housed Steer Behavior and Productivity. *Animals* 13(18): 2981.
- Fox, S., Ricketts, M., & Minton, J. E. 2015. Worker injuries involving the interaction of cattle, cattle handlers, and farm structures or equipment. *Journal of agricultural safety and health* 21(1): 3-12.

- Grandin, T. 2007. Handling and welfare of livestock in slaughter plants. *In* Livestock handling and transport (pp. 329-353). Wallingford UK: CABI.
- Grandin, T., & Shivley, C. 2015. How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals* 5: 1233-1251
- Grandin, T. 2017. Livestock-handling assessments to improve the welfare of cattle, pigs and sheep. *Animal Production Science*, 58(3): 403-407.
- Grandin, T. (ed.). 2020. Improving animal welfare: A practical approach. Cabi.
- Harrison, M. A., & Oltjen, J. W. 2020. Sorting strategy and effect of variation on profitability of a pen of feedlot steers. *Translational Animal Science* 4 (Supplement_1): S165-S168.
- Larue, B. 2022. On the economics of meat processing, livestock queuing, and worker safety. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 70(1): 63-72.
- Ramírez, J., McCabe, B., Jensen, P. D., Speight, R., Harrison, M., Van Den Berg, L., & O'Hara, I. 2021. Wastes to profit: a circular economy approach to value-addition in livestock industries. *Animal Production Science*, 61(6): 541-550.
- Reichhardt, C. C., Bayles, S. A., Feuz, R., Motsinger, L. A., Alberto, A. F., Okamoto, L. L. & Thornton, K. J. 2023. Relationship among cattle breed and anabolic implant protocol relative to feedlot performance: Growth, temperament, feeding behavior, carcass traits, and economic return. *Domestic Animal Endocrinology*, 84:106806.
- Romo-Valdez, A., Pérez-Linares, C., Ríos-Rincón, F., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A., & Castro-Pérez, I. 2021. Importancia del espacio vital en la respuesta productiva y bienestar del ganado bovino productor de carne en confinamiento. *Abanico veterinario* 11:1-15.

- Steel, C. C., Lees, A. M., Tarr, G., Dunshea, F. R., Bowler, D., Cowley, F. & McGilchrist, P. 2022. Feedlot factors influencing the incidence of dark cutting in Australian grain-fed beef. *Animals* 12(15): 1989.
- Torres, J. A. G., Ruiz, R. P., Galván, M. M. C., Olvera, M. A. P., & Sánchez, D. H. 2023. Marco regulatorio de la carne de bovino en México: normativa para un estándar de certificación de calidad e inocuidad. *Nacameh*, 17(2): 85-100.
- Tucker, C. B., Coetzee, J. F., Stookey, J. M., Thomson, D. U., Grandin, T., & Schwartzkopf-Genswein, K. S. 2015. Beef cattle welfare in the USA: identification of priorities for future research. *Animal health research reviews* 16(2): 107-124.
- Ujita, A., Seekford, Z., Kott, M., Goncherenko, G., Dias, N. W., Feuerbacher, E. ... & Mercadante, V. R. 2021. Habituation protocols improve behavioral and physiological responses of beef cattle exposed to students in an animal handling class. *Animals*, 11(8): 2159.

RINOTRAQUEITIS INFECCIOSA BOVINA Y ANIMALES LATENTEMENTE INFECTADOS EN HATO LECHERO EN SUBTRÓPICO HÚMEDO DE PUEBLA

Abraham Fragoso Islas^{277*}, Guadalupe Asunción Socci Escatell²⁷⁸, Fernando López Molina²⁷⁹, Jorge Víctor Rosete Fernández²⁸⁰, Sara Olazarán Jenkins²⁸⁰, Ángel Ríos Utrera²⁸¹ y Arely Vargas Hernández²⁷⁹

Resumen

La rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR), también llamada vulvovaginitis pustular infecciosa, es una enfermedad causante de fallas reproductivas en las vacas tales como retraso en la concepción por repetición de estros, muertes embrionarias, abortos, mortinatos e infecciones uterinas consecutivas a retención de placenta, afecta a bovinos domésticos y salvajes produciendo también infecciones respiratorias y genitales e infecciones neurológicas. Con la finalidad de conocer la condición zoonosanitaria con relación a la rinotraqueitis infecciosa bovina, se planteó identificar la presencia de animales seropositivos y detectar animales latentemente infectados a esta enfermedad. El trabajo se realizó en un hato lechero del Sitio Experimental Las Margaritas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). En el estudio se incluyeron 100 animales entre vacas y vaquillas de los genotipos Suizo Americano, Holstein y sus cruzas recíprocas (Holstein x Suizo Americano y Suizo Americano x Holstein), que se mantuvieron en pastoreo rotacional en zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). Para cada uno de los animales del estudio, se realizó el diagnóstico de anticuerpos en suero por la prueba de ELISA, así como el diagnóstico de antígenos del virus en sangre, por PCR. El análisis estadístico se hizo con un modelo de regresión logística con los efectos de estatus del animal: vaca o vaquilla, y grupo racial: Holstein, Suizo Americano y sus cruzas recíprocas, con el procedimiento GENMOD de SAS, en una función liga logit para una distribución binomial. El criterio de convergencia aplicado en cada análisis estadístico fue de 10⁻⁸. No hubo efecto del estatus de la vaca ni grupo racial (>0.05) para la seroprevalencia de anticuerpos y frecuencia de animales latentemente infectados. Para vacas y vaquillas, la seroprevalencia de anticuerpos fue de 15.3 y 5.5% y la frecuencia de latentemente infectados fue de 5.5 y 9.2%, respectivamente. El hato resultó infectado y deben tomarse medidas zoonosanitarias para su control, como un área de oportunidad para mejorar la salud de los animales.

Palabras clave: bovinos, IBR, virus activo, anticuerpos séricos

²⁷⁷ INIFAP-S.E. Las Margaritas. *Autor de correspondencia: fragoso.abraham@inifap.gob.mx

²⁷⁸ INIFAP-Centro Nacional de Investigación en Salud Animal e Inocuidad.

²⁷⁹ Universidad Xicotepetl A.C.

²⁸⁰ Consultor privado.

²⁸¹ FMVZ-Universidad Veracruzana.

Introducción

La rinotraqueitis infecciosa bovina o vulvovaginitis pustular infecciosa, es una enfermedad descrita desde el año 1895 por Metzler *et al.* (OIE, 2021), es causante de fallas reproductivas en las vacas, como retraso en la concepción por repetición de estros, muertes embrionarias, abortos, mortinatos e infecciones uterinas consecutivas a retención de placenta (Moles *et al.*, 2002; Waldner, 2005). La rinotraqueitis infecciosa bovina afecta a bovinos domésticos y salvajes, es causada por el Herpesvirus bovino tipo 1 (BHV-1), miembro del género Varicellovirus y de la familia Herpesviridae. El virus produce infecciones respiratorias (subtipo 1.1), respiratorias y genitales (subtipo 1.2) y neurológicas (subtipo 1.3 y BHV-5); sin embargo, a pesar de haberse distinguido estos subtipos solo el tipo antigénico de importancia reproductiva es el BHV-1 (OIE, 2021).

La importancia de identificar esta enfermedad en los hatos ganaderos radica en que causa disminución en la productividad de las vacas debido a las fallas reproductivas y afecciones respiratorias en becerros jóvenes (Gu y Kirkland, 2008), puede pasar desapercibida por no manifestar con claridad signos clínicos en los animales, pero el virus permanece latente alojado en órganos blandos, de tal manera que, si la infección se adquiere por la vía genital, el virus se replica en la mucosa vaginal o del prepucio y se establece en los nodos sacros, además por tratarse de un herpes, provoca esta cierta latencia en el hospedero (Zapata *et al.*, 2002). El estrés por el parto, el transporte o el manejo, inducen la reactivación de la infección y los animales aún sin signos de la enfermedad eliminan el virus al ambiente al actuar como portadores de apariencia sana, donde estos animales se constituyen como los principales factores de riesgo de la enfermedad (OIE, 2021).

En México, la rinotraqueitis infecciosa bovina se ha identificado en hatos ganaderos por lo general productores de leche (Reyes *et al.*, 2004) y documentado su relación con problemas reproductivos (Escamilla *et al.*, 2004; Waldner, 2005; Meléndez *et al.*, 2010), aunque en otros casos ha sido posible relacionarlo con abortos y vulvovaginitis (Magaña-Urbina *et al.*, 2005). En ganaderías del trópico húmedo, también se ha identificado la presencia de la rinotraqueitis infecciosa bovina y se ha estudiado la prevalencia e incidencia de esta enfermedad (Zárate *et al.*, 2013; Abad-Zabaleta *et al.*, 2016).

El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de animales seropositivos a rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR) y detectar animales latentemente infectados por ser un factor de riesgo de utilidad para el control de la enfermedad.

Materiales y métodos

Lugar de realización

El estudio se realizó en el Campo Experimental Las Margaritas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la región oriente del estado de Puebla, en el municipio de Hueytamalco.

Animales

Se incluyeron 100 animales entre vacas y vaquillas del hato lechero con genotipos Suizo Americano, Holstein y sus cruzas recíprocas (Holstein x Suizo Americano y Suizo Americano x Holstein), que se mantuvieron en pastoreo rotacional en zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*).

Toma de muestras de sangre

Para el diagnóstico de anticuerpos en suero sanguíneo y antígenos del virus en sangre, a cada animal se les tomaron dos muestras de sangre de la vena coccígea. Una muestra se destinó para la obtención de suero sanguíneo y la otra muestra se destinó para la obtención de sangre completa no coagulada. La conservación en frío de la muestras se realizó en una caja de poliuretano con abundante hielo hasta llegar al laboratorio. Las muestras de sangre sin anticoagulante, se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 minutos y el suero obtenido se conservó en viales de polipropileno provistos con tapón y se mantuvieron en congelación a -20°C hasta su análisis de laboratorio. Las muestras de sangre con el anticoagulante se conservaron completas, también en viales de polipropileno con tapón y se mantuvieron en congelación a -20°C hasta su análisis de laboratorio.

Diagnóstico de laboratorio

Las muestras de suero sanguíneo se procesaron por medio del análisis ELISA para determinar anticuerpos IgG y las de sangre por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para la detección de los antígenos de la rinotraqueitis infecciosa bovina. Estos análisis se realizaron en el laboratorio del Centro Nacional de Investigación en Salud Animal e Inocuidad del INIFAP.

Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron: 1) seroprevalencia de anticuerpos del virus y, 2) frecuencia de animales latentemente infestados al virus, que fueron analizados en forma binaria. Por lo que, en la base de datos creada, sí a la prueba de ELISA (anticuerpos en suero) o a la prueba de PCR (antígeno en sangre) la muestra resultó positiva, la variable se codificó como 1 y si resultó negativa se codificó como 0. El modelo estadístico fue de regresión logística con los efectos de estatus del animal: vaca o vaquilla, y grupo racial: Holstein, Suizo Americano y sus cruza recíprocas. Los análisis se realizaron con GENMOD del SAS, aplicando una función liga logit en distribución binomial. El criterio de convergencia fue de 10-8.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico, estatus de la hembra y grupo racial, para la seroprevalencia de anticuerpos y animales latentemente infectados al virus de IBR. No hubo efecto ($P>0.05$) del estatus de la hembra (vaca, vaquilla) y grupo racial (Suizo Americano, Holstein y Cruzadas), en la seroprevalencia de anticuerpos y de animales latentemente infectados a IBR.

En el Cuadro 2, se muestra el porcentaje de la seroprevalencia de anticuerpos a IBR, los cuales no fueron diferentes ($P>0.05$) entre vacas y vaquillas, y entre Suizo Americano, Holstein y sus cruza recíprocas ($P>0.05$), siendo el promedio general de 9.92% de seroprevalencia en el hato.

Cuadro 1. Valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar seroprevalencia de anticuerpos contra el virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina (Seroprevalencia), y frecuencia de animales latentemente infectados al virus (Latentes).

	Seroprevalencia	Latentes
Estatus de la hembra		
Chi-cuadrada	1.45	0.20
Probabilidad	0.2285	0.6555
Grupo racial		
Chi-cuadrada	1.17	1.91
Probabilidad	0.5584	0.3842

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para la seroprevalencia (%) de anticuerpos contra el virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	15.3 ± 4.9 ^a	8.0	27.4
Vaquilla	5.5 ± 5.6 ^a	0.7	32.7
Grupo racial			
Cruzada	13.6 ± 6.5 ^a	5.0	31.9
Holstein	7.6 ± 6.3 ^a	1.4	32.5
Suizo Americano	7.6 ± 6.3 ^a	1.4	32.5

*Literales iguales por efecto/clase no son diferentes ($P > 0.05$).

El porcentaje de frecuencia de animales latentemente infectados a IBR, se muestra en el Cuadro 3, los cuales tampoco fueron diferentes entre vacas y vaquillas, y entre Suizo Americano, Holstein y sus cruza recíprocas, siendo el promedio general en el hato de 7.88%.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de animales latentemente infectados al virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	5.5 ± 2.8 ^a	2.0	14.4
Vaquilla	9.2 ± 9.0 ^a	1.2	45.3
Genotipo			
Cruzada	3.6 ± 2.7 ^a	0.8	14.8
Holstein	14.0 ± 10.2 ^a	3.0	46.3
Suizo Americano	7.1 ± 7.2 ^a	0.9	39.6

*Literales iguales por efecto/clase no son diferentes ($P > 0.05$).

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la presencia de la enfermedad en el hato lechero y aun cuando la seroprevalencia se considera relativamente baja (9.92%), al ser comparada con resultados de otros estudios en ganado lechero (72.4%) y de doble propósito (61.7%) en la zona sur del estado de Veracruz (Romero-Salas *et al.*, 2013), o bien al ser comparados con ganado lechero (35.2%) en el estado de Hidalgo (Sánchez-Castilleja *et al.*, 2012), esta seroprevalencia debe tomarse en consideración pues al ser atendida con oportunidad, existe la seguridad de controlarla y evitar que se incremente, pues en este estudio se demostró la presencia de animales latentemente infectados al virus de IBR (7.88%), que sin duda son el factor de riesgo para la diseminación de la enfermedad en el hato, lo que demerita la producción de este y de otros hatos cercanos.

En ganado de carne y doble propósito también se ha determinado la seroprevalencia a rinotraqueitis infecciosa bovina; así que, en el estado de Chiapas fue de 62.8% (Sánchez-Muñoz *et al.*, 2010), en la zona centro de Veracruz de 76.32% (Abad-Zabaleta *et al.*, 2016), en la zona sur de Veracruz de 58.6% (De la Trinidad, 2010) en Yucatán de 54.4% (Solís-Calderón *et al.*, 2003) y en el Istmo de 31.58% y costa de Oaxaca de 27.87% (Gutiérrez-Hernández *et al.*

al., 2020), siendo estos valores mayores a los de este estudio en el subtrópico húmedo de Puebla.

El poder identificar y cuantificar, la presencia de la Rinotraqueitis Infecciosa Bovina, en hatos ganaderos en pastoreo en clima tropical y subtropical resulta importante, pues el virus de esta enfermedad es uno de los agentes virales de mayor distribución en el mundo (OIE, 2021) y en nuestro país se ha demostrado aisladamente, pues a pesar de que existen recomendaciones de control zoonosanitario y vacunas contra el virus, sigue generando pérdidas económicas en las unidades de producción ganadera, tanto de carne como de leche, (Ruiz-Sáenz *et al.*, 2009). La existencia de animales latentemente infectados en los hatos, animales asintomáticos, constituyen el reservorio de mayor riesgo zoonosanitario, porque pueden excretar el virus de forma intermitente y transmitirlo a bovinos sanos del mismo hato y hacia otros con los que tengan contacto vecinal (Pérez *et al.*, 2005).

Una práctica recomendada por obviedad, sería eliminarlos inmediatamente después de su detección, acción que difícilmente sería aceptada por los productores, más aun cuando el porcentaje de frecuencia de estos animales infectados sea alto, por lo que se debería de recurrir a la vacunación para proteger a las hembras y evitar fallas reproductivas, eliminar paulatinamente los animales detectados latentemente infectados, con un programa de muestreo permanente, para controlar la enfermedad, pues el virus se disemina rápidamente en los animales que conforman el hato, alcanzando seroprevalencias altas en corto tiempo (Santos *et al.*, 2014).

Conclusiones

La seroprevalencia de anticuerpos a IBR, no fue diferente en vacas y vaquillas Holstein, Suizo Americano y sus cruasas recíprocas; siendo el promedio general de 9.92% y la frecuencia de animales latentemente infectados fue en promedio de 7.88%. Con estos resultados, se demuestra la presencia de la enfermedad y la importancia de darle seguimiento para lograr el control integral de la enfermedad

Literatura citada

- Abad-Zabaleta J., Ríos-Utrera A, Rosete-Fernández J.V., García-Camacho A. y Zárate-Martínez J.P. 2016. Prevalencia de Rinotraqueitis infecciosa bovina y diarrea viral bovina en hembras en tres épocas del año en la Zona Centro de Veracruz. Revista Electrónica Nova Scientia. 8(16):213-227. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203345704012>
- De la Trinidad S.H. 2010. Seroprevalencia y factores de riesgo de Rinotraqueitis Infecciosa bovina en ranchos ganaderos de la Choapas, Minatitlán y Moloacán ubicados en la zona sur del estado de Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver. México. 48 p.
- Escamilla H.P., Morales S.E., Martínez J.J.M. y Medina C.M. 2004. Frecuencia y causas de aborto de origen infeccioso en hatos de bovinos en el estado de Querétaro. p. 111. In: XXVIII Congreso Nacional de Buiatría. Morelia, Michoacán, México.
- Gu X. and Kirkland P.D. 2008. Infectious bovine rhinotracheitis. Australian and New Zealand Standard Diagnostic Procedure. 1-18. <https://www.agriculture.gov.au/agriculture-and/animal/health/laboratories/procedures/anzsdp/infectious-bovine-rhinotracheitis>. <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/sitecollectiondocuments/animal/ahl/ANZSDP-Infectious-bovine-rhinotracheitis-IBR.pdf>
- Gutiérrez-Hernández J., Palomares-Reséndiz G., Hernández-Badillo E., Leyva-Corona J., Díaz-Aparicio E., y Herrera-López E. 2020. Frecuencia de enfermedades de impacto reproductivo en bovinos de doble propósito ubicados en Oaxaca, México. Abanico Veterinario. 10:1-11. Disponible en: <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/271/521>

- Magaña-Urbina A., Solorio R.J.L. y Segura-Correa J.C. 2005. Rinotraqueitis infecciosa bovina en hatos lecheros de la región Cotzio-Téjaro, Michoacán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 43(1):27-37. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343103>.
- Meléndez S.R.M., Valdivia F.A.G., Rangel M.E.J., Díaz A.E., Segura-Correa J.C. y Guerrero B.A.L. 2010. Factores de riesgo asociados a la presencia de aborto y desempeño reproductivo en ganado lechero de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(4):391-401. www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v1n4/v1n4a7.
- Moles C.L.P., Gavaldón D., Torres B.J., Cisneros P.M.A., Aguirre S.J. y Rojas S.N. 2002. Seroprevalencia simultánea de leptospirosis y tres enfermedades de importancia reproductiva en bovinos del Altiplano Central de la República Mexicana. *Revista de Salud Animal*. 24(2):106-110. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA146893289&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=0253570X&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7Eaafa5358>
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2021. Enfermedades animales. Manual de pruebas de diagnóstico y de las vacunas para los animales terrestres. Sección 3.4. Bovinae. Capítulo 3.4.11. Rinotraqueitis infecciosa bovina/ Vulvovaginitis pustular infecciosa. OIE, 2018. (NB. Versión adoptada en mayo 2017). Acceso en línea al Manual Terrestre, última actualización 16/06/2022:1-20. Disponible en: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-terrestre/>
- Pérez S., Inman M., Doster A. and Jones C. 2005. Latency-related gene encoded by bovine herpesvirus 1 promotes virus growth and reactivation from latency in tonsils of infected calves. *Journal of Clinical Microbiology*. 43:393-401. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC540132/pdf/0986-04.pdf>

- Reyes J.M., Vázquez R. y García J.A. 2004. Seroprevalencia de IBR y DVB en hatos muestreados en México. 2002-2003. p. 112. *In*: XXVIII Congreso Nacional Buiatría. Morelia, Michoacán, México.
- Romero-Salas D., Ahuja-Aguirre C., Montiel-Palacios F., García-Vázquez Z., Cruz-Romero A. y Aguilar-Domínguez M. 2013. Seroprevalence and risk factors associated with infectious rhinotracheitis in unvaccinated cattle in southern Veracruz, México *African Journal of Microbiology Research*. 7(17):1716-1722. Disponible en: https://scholar.google.com.mx/scholar?q=Seroprevalence+and+risk+factors+associated+with+infectious+rhinotracheitis+in+unvaccinated+cattle+in+southern+Veracruz,+M%C3%A9xico&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Ruiz-Sáenz J., Jaime H. y Vera V. 2009. Vacunas contra el herpes virus bovino-1: una mirada desde el pasado hacia el futuro de la inmunización. *Acta Biológica colombiana*. 14(2):3-20. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2009000200001
- Sánchez-Castilleja Y.M., Rodríguez D.J.G., Pedroso M. y Cuello S. 2012. Simultaneidad serológica de *Neospora caninum* con *Brucella abortus* y los virus de la rinotraqueitis infecciosa bovina y diarrea viral bovina en bovinos pertenecientes al estado de Hidalgo, México. *Revista de Salud Animal*. 34(2):95-100. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v34n2/rsa06212.pdf>
- Sánchez-Muñoz B., Nahed-Toral J. Ruiz-Rojas J.L. Pérez-Vázquez E. y Solís-Zabaleta R. 2010. Seroprevalencia de rinotraqueitis infecciosa bovina en ganado lechero del sistema en transición orgánica de Tecpatan Chiapas. *ITEA*. 106(2):89-99. Disponible en: <https://www.aida-itea.org/index.php/revista/contenidos?idArt=130&lang=esp>

- Santos M.R., Campos F.H.C., dos Santos M.A., Loreto Sa. G., Filardi T. N., dos Santos M.G. *et al.* 2014. Antibodies against Bovine herpesvirus 1 in dairy herds in the state of Espírito Santo, Brazil. *Revista Ceres Viciosa*.61(2):280-283. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/6c4LBDgX7PCy74YQ6STF7Dx/?format=pdf&lang=en>
- Solís-Calderón J.J., Segura V.M., Segura J.C. and Alvarado I.A. 2003. Seroprevalence of and risk factors for Infection Bovine Rhinotracheitis in beef cattle herds of Yucatan, Mexico. *Preventive Medicine Veterinary*. 57(4):199-208. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167587702002301?via%3Dihub>
- Waldner C.L. 2005. Serological status for *N. caninum*, bovine viral diarrhea virus and infectious bovine rhinotracheitis virus at pregnancy testing and reproductive performance in beef herds. *Animal Reproduction Science*. 90(3-4):219-242. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378432005000734?via%3Dihub>
- Zapata, J.C., Ossa J.E. y Zuluaga T.F.N. 2002. Actualización de los viejos enigmas y visión de futuro de la IBR en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15(2):155-159. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323809>
- Zárate M.J.P., Rosete F.J.V., Ríos U.A., Barradas P.F.T., López E.R., Olazarán J.S. *et al.* 2013. Estado reproductivo y prevalencia de IBR y DVB en hembras bovinas en tres épocas del año en la zona centro de Veracruz. p. 759-766. *In: Memorias XXXVIII Congreso Nacional de Buiatría*. Acapulco, Guerrero, México.

PRODUCCIÓN DE LECHE CON GANADO BOVINO EN UN SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO Af(c)

René Carlos Calderón Robles^{282*}, René Calderón Chagoya²⁸³, Ángel Ríos Utrera²⁸⁴,
Vicente Eliezer Vega Murillo²⁸⁴, Carlos Hernández López²⁸³ y Juvencio Lagunes Lagunes²⁸⁵

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de factores ambientales, año, época y número de parto, sobre la producción de leche y la duración de la lactancia de vacas Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú en el subtrópico húmedo. Se utilizó información de 2010 a 2021 de la unidad de producción de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, localizada a 240 msnm en el municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla, su clima es subtropical húmedo Af(c). Las características estudiadas fueron: producción total de leche (PTL), producción de leche diaria (PLD), producción de leche por día interparto (PLDI) y duración de la lactancia (DL), analizadas con el procedimiento GLM del SAS. Los efectos fijos incluidos en el modelo final fueron: año, época y número de parto. Se evaluaron un total de 934 lactancias, las cuales tuvieron una DL promedio de 339.65 ± 94.75 d y PTL de $3,392.6 \pm 1,185.9$ kg, así como PLD y PLDI de 9.94 ± 1.99 y 7.43 ± 2.36 kg, respectivamente. El año y número de parto fueron significativos ($P < 0.05$) en todos los modelos, la época de parto únicamente fue significativa para PLDI. En conclusión, el año y número de parto afectaron significativamente a todas las variables analizadas. La época de partos únicamente influyó en la PLDI. El efecto del número de lactancia mostró que las vacas de primera lactancia tuvieron una menor PTL, PLD y PLDI, mientras que las vacas con más de tres partos tuvieron el mejor desempeño en las mismas características. Los valores promedio de PTL, PLD, PLDI y DL del módulo de validación evaluado fueron: 3,392.6 kg, 9.94 kg, 7.43 kg y 339.65 días, respectivamente, observándose una mejora productiva en comparación con lo registrado en los primeros años, esto atribuido a la incorporación de nuevas tecnologías.

Palabras clave: validación, adopción, lactancia, Holstein x Cebú

²⁸² Sitio Experimental Las Margaritas CIR Golfo Centro, INIFAP. *Autor para correspondencia: calderon.rene@inifap.gob.mx

²⁸³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP.

²⁸⁴ Universidad Veracruzana.

²⁸⁵ Práctica privada.

Introducción

En México, la población bovina es de alrededor de 35 millones 998 885 cabezas, de las cuales, según datos de la década pasada, el ganado bovino de doble propósito representa el 28.4% equivalente a 2 millones 466 477 cabezas. En adición a lo anterior, la ganadería mexicana utiliza aproximadamente 110 millones de hectáreas, de las cuales 28.3% corresponde a las áreas tropicales, que en su mayoría están cubiertas de forrajes que han sido aprovechados para producir carne y leche en los sistemas de doble propósito. El sistema de doble propósito se desarrolla principalmente en las regiones tropicales y se ha caracterizado históricamente por la baja producción de leche (Calderón *et al.*, 2016).

La ganadería bovina en México presenta una situación cada vez más crítica, ya que por ejemplo, desde los 70's se tiene un déficit en la producción de leche lo que trae como consecuencia que se importe alrededor del 20% del consumo anual. Esta crisis se hace más patente cuando se toma en cuenta el alza en el precio de los insumos, comparados con los precios bajos de los productos derivados de la ganadería (carne y leche), los cuales son más notorios en la regiones tropicales y subtropicales del país, en donde se produce aproximadamente el 20% de la leche nacional (González, 1993, SADER 2023) en sistemas tradicionales con bajo nivel tecnológico que derivan de cruzamiento indefinidos entre animales *Bos taurus* y *Bos indicus* (Koppel, *et. al.* 2002).

En el trópico la producción de leche y carne depende de la época del año teniendo la más alta producción en la época de lluvias y aunque los indicadores productivos que existen son bajos se han realizado estudios en ganadería de doble propósito en el trópico que muestran la factibilidad de mejorar las perspectivas para incrementar la producción de leche y carne en México (CIPEP-INIFAP-SARH, 1989a y b).

Derivado de lo anterior el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha realizado investigación aplicada estableciendo proyectos en el trópico que generen y evalúen tecnologías, obteniéndose como producto paquetes tecnológicos para mejorar los sistemas de producción de doble propósito y volverlos más eficientes y competitivos (CIPEP-INIFAP-SARH, 1989a).

La unidad de producción de doble propósito “La Doña” con ganado Holstein x Cebú, Suizo Pardo Americano x Cebú y Simmental x Cebú en pastoreo del sitio experimental “Las

Margaritas” ha alcanzado en promedio 3,190 kg de producción por lactancia en 322 días; periodo interparto de 446 días; peso de los becerros al año de edad de 293 kg; edad y peso de las vaquillas al primer parto de 29.7 meses con 443 kg (SAGARPA-INIFAP-CIPEP A.C., 2004).

En resumen, la adopción de diversas tecnologías ha favorecido el incremento en la producción de leche. En Puebla, se localiza el sitio experimental “Las Margaritas”, que en 1981 inició la generación y validación de tecnología para mejorar integralmente el sistema de doble propósito, con la finalidad de responder a la demanda tecnológica de los productores y dar solución a su problemática productiva (SAGARPA-INIFAP-CIPEP A.C. 2004). Dicha tecnología ha sido validada y transferida y actualmente se tiene un módulo demostrativo con un productor cooperante, en 2008 se iniciaron los trabajos para implementar con el productor, una unidad de producción, bajo el sistema de doble propósito, que funcionara como un módulo de validación y demostrativo con las tecnologías derivadas de la unidad de producción de doble propósito La Doña, inicialmente se adoptaron un poco más de 50% de dichas tecnologías, las cuales fueron incrementando con el paso del tiempo, destacando que en 2017, con la tecnología de nueva implementación que consistió en fertilizar la pradera con la fórmula recomendada (138:69:00), se ha incrementado la producción de leche de acuerdo a los resultados obtenidos, además del incremento por unidad de superficie que ha sido 2.4 veces mayor. Otra tecnología que ha contribuido al incremento de la producción, es que, en el esquema de cruzamiento de las hembras del hato se ha alcanzado la proporción de sangre europea sugerida en el paquete tecnológico, la cual está entre 3/4 y 5/8 de europeo. Se considera que actualmente la unidad de producción en cuestión ha adoptado más del 80% de las tecnologías recomendadas.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de algunos factores ambientales como: año, época y número de parto, sobre la producción de leche (por lactancia [PTL], por día [PLD], por día interparto [PLDI], duración de la lactancia [DL]) de vacas Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú, de la unidad de producción “El paraíso de Ayotoxco” en el subtrópico húmedo de Puebla.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se utilizó la información de 2010 a 2021 del módulo de validación de tecnología de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, con coordenadas 19°59’54” y 20°08’48” de latitud norte, y los meridianos 97°21’18” y 97°27’42” de longitud oeste a 240 msnm en el municipio de Ayotoxco de Guerrero, en la Sierra Oriente de Puebla. El clima de la zona es subtropical húmedo Af(c), con una temperatura media anual de 23°C y una precipitación pluvial media anual que oscila entre 2,200 y 2,500 mm. Se pueden identificar tres estaciones distintas: 1) la temporada de lluvias, que ocurre de junio a octubre y se caracteriza por fuertes precipitaciones; 2) la temporada de nortes, que va de noviembre a marzo y se caracteriza por lloviznas y descenso de temperatura; y 3) la temporada seca, en abril y mayo, que presenta lluvias aisladas y un aumento en la temperatura.

Especie evaluada y su manejo

Las hembras motivo del estudio son *Bos taurus taurus* en cruzamiento con *Bos taurus indicus* (entre 3/4 y 5/8 europeo) y pertenecen a un módulo de validación que cuenta con una superficie de 158 hectáreas (ha), de las cuales 100.5 están establecidas con pastos del género *Brachiaria*, en su mayoría *brizantha* (Insurgente), de las cuales 49 ha las ocupan las vacas de ordeña, 23 ha vacas secas, 16 ha vaquillas en manejo reproductivo, 8.5 ha becerras en desarrollo y 4 ha becerros(as) lactantes. Otras 54.5 ha son de gramas nativas (*Axonopus* y *Paspalum* sp), de las cuales 50 ha las ocupan vaquillas en manejo reproductivo, 3 ha becerras en desarrollo y 1.5 ha becerros(as) en destete y, por último, 3 ha están establecidas con caña japonesa (*Saccharum sinense*) que es utilizada como forraje de auxilio. En la época crítica, a cada hembra se le proporcionó diariamente de 15 a 20 kg de caña japonesa (*Saccharum sinense*) fresca y picada. Además, a las vacas en producción se les suministraron 2 kg de concentrado (16% PC y 70% TND) durante cada ordeño. Todas las hembras recibieron una mezcla de minerales y agua a libertad.

Las vacas en ordeño, las vacas secas y las becerras en desarrollo pastorean rotacionalmente con periodos de descanso de 30 y 45 d en primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente. A partir de octubre de 2017 se inició la fertilización de los potreros con la

fórmula 138-69-00 kg/ha de N y P, donde se alojan las vacas en ordeña y becerros lactantes. La alimentación de las vacas secas consiste en el pasto que consumen directamente de la pradera, sales minerales y agua a libertad, y de noviembre a mayo, se les proporciona 15 a 20 kg/animal/d de caña japonesa, fresca y picada. La alimentación de las crías, además del pastoreo, consiste en leche que consumen durante el apoyo y la de un cuarto de la ubre más la leche residual, lo anterior hasta que alcanzan 100 kg de peso vivo. Posteriormente solo consumen la leche de apoyo y la leche residual, además, se le proporcionan 850 gramos de concentrado al día (18% de PC) durante el periodo que dura la crianza. Las hembras destetadas se manejan en pastoreo rotacional y se les proporciona 1.5 kg/animal/d de concentrado (18% PC) más sales minerales y agua a libertad. Las becerras en desarrollo hasta alcanzar inicio de manejo reproductivo (IMR) se manejan en pastoreo rotacional y su alimentación consiste en pasto que consumen en la pradera más sales minerales y agua a libertad. El manejo reproductivo de las vacas consiste en empadre continuo con monta controlada; la detección de calores se realiza mañana y tarde durante la ordeña; la palpación rectal se efectúa cada tres meses.

Las vaquillas inician manejo reproductivo aproximadamente a los 330 kg y permanecen en empadre continuo con monta natural, de igual manera la palpación rectal de las vaquillas se lleva a cabo cada tres meses.

Las vacas ingresaron al ordeño cuatro días después del parto una vez que se comprobó que ya no producían calostro. El ordeño fue de forma mecánica con "apoyo" del becerro. La cría se utilizó para estimular la eyección de leche hasta que cumplió alrededor de 11.5 meses de edad, momento en que se destetó. El ordeño se efectuó dos veces al día en forma mecánica con un equipo de dos plazas con motor eléctrico y/o de gasolina. El manejo reproductivo de las vacas consistió en empadre continuo con monta controlada.

Diseño y unidad experimental

Las características que se estudiaron fueron: producción total de leche por lactancia (PTL), producción de leche diaria (PLD), producción de leche por día interparto (PLDI) y duración de la lactancia (DL).

Análisis estadístico

Las características fueron analizadas con el procedimiento GLM del programa SAS. Los efectos fijos que se incluyeron en el modelo final son: año, época y número de parto. Para determinar los modelos definitivos se realizaron análisis secuenciales para cada característica, removiendo del modelo preliminar las interacciones que no resultaron significativas a una $P < 0.05$.

Variables evaluadas

Para medir la producción de leche por lactancia, se utilizaron los datos de los registros diarios de producción por vaca, los cuales fueron obtenidos con pesadores de leche comerciales tipo waikato, instalados en cada plaza de la sala de ordeño, mismos que fueron registrados desde el inicio hasta el fin de la lactancia, las fechas de inicio y fin de lactancia se tomaron para determinar la duración en días de la lactancia. Con la producción total de leche por lactancia y la duración de la lactancia se obtuvo la producción de leche diaria (producción por día en lactancia). Finalmente, la producción de leche por día interparto se sacó con el registro de las fechas de cada parto de las vacas determinando cada periodo en días, con ello, dividiendo la producción total de leche por lactancia entre dicho periodo se obtuvo el dato.

Resultados y discusión

La estadística descriptiva para las distintas características, se presentan en el Cuadro 1. Se evaluaron un total de 934 lactancias, las cuales tuvieron una DL promedio de 339.65 ± 94.75 d y PTL de $3,392.56 \pm 1,185.94$ kg, así como PLD y PLDI de 9.94 ± 1.99 y 7.43 ± 2.36 kg, respectivamente. De acuerdo a los resultados en un estudio anterior (Calderón *et al.*, 2016), la DL es igual; por el contrario, el resto de las características fueron inferiores (PLT=2905, PLD=8.5 y PLDI=6.6 kg). Lo anterior se debe a que el módulo demostrativo ha ido incrementando la adopción de tecnología generada en el INIFAP y por ende se han mejorado los indicadores productivos.

Cuadro 1. Estadística descriptiva para características de producción de leche.

Variable	N	Media	DE	Min	Max	CV
DL ^A	934	339.65	94.75	120.00	727.00	27.90
PLT ^B	933	3392.56	1185.94	787.50	7926.00	34.96
PLD ^C	933	9.94	1.99	4.37	17.24	19.98
PLDI ^D	814	7.43	2.36	1.26	14.92	31.73

^ADL= duración de la lactancia, ^BPTL= producción total de leche, ^CPLD= producción de leche diaria, ^DPLDI= producción de leche por día interparto.

Tomando en cuenta las medias generales del presente estudio y del anterior (Calderón *et al.*, 2016), la DL fue superior (340 d) a las reportadas por otros estudios realizados en el sureste de México que va de 214 a 255 d (Hernández *et al.*, 2001; Parra *et al.*, 2005, Magaña *et al.*, 2006, Magaña *et al.*, 2016). Los resultados de los mismos autores para PLT, tienen valores que van de 1,322 a 1,862 kg, que de igual manera son inferiores a los obtenidos en el presente estudio y en el anterior (Calderón *et al.*, 2016), como consecuencia la PLD (9.94 kg) a pesar de tener mayor número de días en lactancia (340), también superó a los 5.81 kg del estudio realizados por Parra *et al.*, (2005) y los 6.71 kg informados por Magaña *et al.*, (2016), resaltando que incluso la PLDI supera los valores mencionados por dichos autores.

Se encontró que el año y número de parto fueron significativos en todos los modelos, mientras que la época de parto únicamente fue significativa para PLDI. Esto es similar a lo reportado por otros autores (Vite *et al.*, 2007; Simón *et al.*, 2010) quienes encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre lactancia. Con excepción de PLDI, ninguna otra asociación significativa con época de parto para las características productivas fue encontrada. Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para las características de producción de leche se muestran en el Cuadro 2, la Figura 1 y el Cuadro 3.

En el Cuadro 2, se observa que La PLT, PLD y PLDI fueron menores en el primer parto y aumentaron gradualmente con cada parto. Las vacas con más de tres partos fueron las que tuvieron el mejor desempeño. La DL, por otro lado, disminuyó; la más baja fue para las vacas de más de cinco partos. Calderón *et al.* (2016) no encontraron diferencias en la DL y PTL, pero si concuerdan en PLD y PLDI. A excepción de DL, las demás características tuvieron valores inferiores al presente estudio, siendo sus máximos valores en la tercera lactancia (PLT=3,006

kg, PLD=9.13 kg y PLDI=6.8 kg). Otros estudios (López *et al.*, 2009) siguieron la misma tendencia en cuanto a la diferencia inferior entre la primera lactancia y el resto. De igual manera, todas las producciones fueron inferiores a las de este estudio, tanto en trabajos realizados en Sudamérica (Santana *et al.*, 2022), como en el sureste mexicano (Magaña *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar para características productivas y reproductivas por número de parto.

Número de parto	Característica			
	DL ^A	PLT ^B	PLD ^C	PLDI ^D
1	342.14±6.43 ^{ab}	2908.04± 76.54 ^b	8.40±0.11 ^c	5.91±0.14 ^c
2	347.59±6.56 ^{ab}	3415.24± 78.09 ^a	9.75±0.11 ^b	7.15±0.15 ^b
3	355.40±7.37 ^a	3673.37± 87.74 ^a	10.31±0.12 ^a	7.79±0.17 ^a
4	341.39±8.77 ^{ab}	3454.35±104.44 ^a	10.05±0.15 ^{ab}	7.68±0.20 ^{ab}
>5	326.76±7.20 ^b	3382.21± 85.83 ^a	10.31±0.12 ^a	7.95±0.17 ^a

^{a,b,c}Medias con literal diferente por característica y agrupación son estadísticamente diferentes (P<0.05). ^ADL= duración de la lactancia, ^BPTL= producción total de leche, ^CPLD= producción de leche diaria, ^DPLDI= producción de leche por día interparto.

En el efecto de año de parto (Figura 1) que fue significativo (P<0.05) para todas las características, se observa como ha aumentado la PLT, PLD y PLDI conforme pasan los años, lo anterior se intuye se hace más patente a partir de 2017 que se implementó la tecnología de fertilización, mientras que la DL tienden a cambiar de un año a otro (rango es de 310 a 390 días), pero sin afectar negativamente la PLD y PLDI.

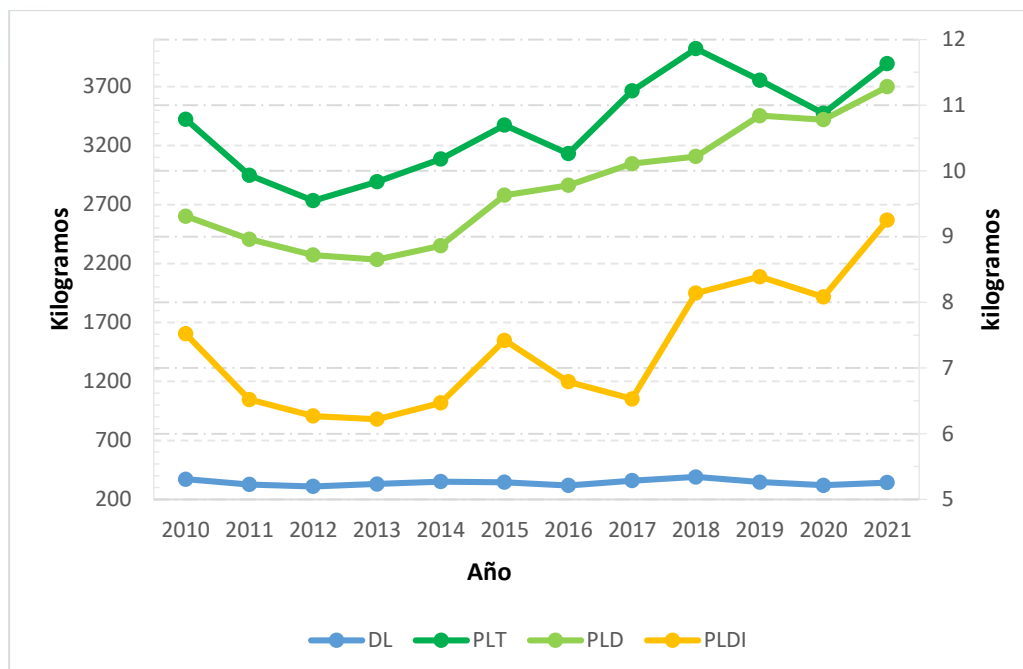


Figura 1. Características productivas y reproductivas (DL=duración de la lactancia, PLT=producción por lactancia, PLD=Producción por día en lactancia, PLDI=Producción por día interparto) por año de parto.

En el Cuadro 3, se observa que las vacas que parieron en la época de lluvias presentaron una mayor ($P<0.05$) PLDI (7.64 kg) que las que parieron en la época de nortes (7.34 kg) y secas (6.92 kg).

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar para características productivas y reproductivas por época de medición.

Época	Característica			
	DL ^A	PLT ^B	PLD ^C	PLDI ^D
Lluvias	337.17±4.75	3355.13±56.59	9.87±0.08	7.64±0.11 ^a
Nortes	344.03±4.99	3365.10±59.46	9.78±0.08	7.34±0.12 ^{ab}
Secas	346.77±7.95	3379.69±94.70	9.63±0.13	6.92±0.18 ^b

^{a,b}Medias con literal diferente por característica y agrupación son estadísticamente diferentes ($P<0.05$).

^ADL= duración de la lactancia, ^BPTL= producción total de leche, ^CPLD= producción de leche diaria,

^DPLDI= producción de leche por día interparto.

Al igual que en este estudio, DL no fue significativa en un estudio anterior (Calderón *et al.*, 2016), pero en el mismo estudio si encontraron diferencia en la PLT siendo inferior en la época de lluvias, lo que no ocurrió en el presente estudio, aunque numéricamente siguió la misma tendencia.

Conclusiones

El año y número de parto afectaron significativamente a todas las variables evaluadas. La época de partos únicamente influyó en la PLDI. El efecto del número de lactancia mostró que las vacas de primera lactancia tuvieron una menor PTL, PLD y PLDI, y las vacas con más de tres partos tuvieron el mejor desempeño en las mismas características. Las medias de PTL, PLD, PLDI y DL del módulo de validación evaluado fueron: 3392.56 kg, 9.94 kg, 7.43 kg y 339.65 días, respectivamente, observándose una mejora productiva en comparación con lo registrado en los primeros años, esto atribuido a la incorporación de nuevas tecnologías, principalmente la fertilización de las praderas y la proporción de sangre europea que está entre 3/4 y 5/8 de europeo.

Literatura citada

- Calderón, Ch. R., R. C. Calderón R., A. Ríos U., M. Montañó B., J. Lagunes L. y V. E. Vega M. 2016. Análisis productivo y reproductivo de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* de doble propósito en clima subtropical húmedo. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 13 (4): 236-246.
- CIPEP-INIFAP-SARH. 1989a. Paquetes tecnológicos para módulos de validación y transferencia de tecnología en el área de influencia del C.E. Las Margaritas (zona serrano costera). Hueytamalco, Pue. 54 p.

CIPEP-INIFAP-SARH., 1989b. Módulo de doble propósito “La Doña” con ganado Suizo Pardo, Suizo Pardo X Cebú Holstein X Cebú y Simmental X Cebú en pastoreo rotacional. Hueytamalco, Pue. 52 p.

González, P. E. 1993. Situación actual y perspectivas de la producción de leche en la ganadería de doble propósito en las regiones tropicales. XVI Symposium de Ganadería Tropical. 4° ciclo de conferencias sobre bovinos de doble propósito. INIFAP-SARH. 1-14.p.

Hernández, R. E., V. M. Segura C., J. C. Segura C. y M. M. Osorio A. 2001. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. Agrociencia 35:699-705.
<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2000/nov-dic/art-4.pdf>.

Koppel, R.E.T., G. A. Ortiz O., A. Avila D., J. Lagunes L., O. G. Castañeda M., I. López G. et al. 2002. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP.CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5. Veracruz, México. 158 p.

López, O.R., R. García R., J. G. García M. y R. Ramírez V. 2009. Effect of *Bos Taurus* genes percentage on milk yield in crossbred cows in the humid tropics of Mexico. Tec Pecu Mex 47 (4):435-448.
<http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Pecuarias/article/view/1663/1657>.

Magaña, J., A. Tewolde, S. Anderson. and J. Segura. 2006. Productivity of different cow genetic groups in dual purpose cattle production systems in south-eastern Mexico. Tropical Animal Health and Production 38:583-591.

- Magaña, M. J. G., E. Luis, L., J. C. Segura, C., J. R. Aké, L., R. C. Montes, P. y C. F. Aguilar, P. 2016. Comportamiento productivo de vacas cruzadas en un sistema de doble propósito en Yucatán, México. *Livestock Research for Rural Development*. 28(9). <http://www.lrrd.org/lrrd28/9/maga28156.html>.
- Parra, B. G. M., G. Magaña J., R. Delgado, M. Osorio and C. Segura J. 2005. Genetic and non-genetic effects on productive and reproductive traits of cows in dual purpose herds. Disponible: Southeastern Mexico. *Genetics Molecular Research* 4(3):482-490. <http://www.geneticsmr.com/year2005/vol4-3/pdf/gmr0111.pdf>.
- SAGARPA-INIFAP-CIPEP A.C. 2004. Manejo integral de la unidad de producción bovina de doble propósito "La Doña". Campo Experimental "Las Margaritas", Libro técnico Núm. 1 Hueytamalco, Pue., México. 100 p.
- Santana, R. M. O., L.I. Mestra V. y H. Florez D. 2022. Productive parameters of dualpurpose cattle supplemented with unconventional feed in the humid Colombian Carribean. *Latin American Archives of Animal Production*. 30 (3). <https://doi.org/10.53588/alpa.300303>.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2023. Nuestra riqueza el ganado Cebù. (<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/nuestra-riqueza-el-cebu?idiom=es>. (consultado el: 27 de octubre de 2023).
- Simón, L., O. López y D. Álvarez. 2010. Evaluación de vacas de doble propósito de genotipos Holstein x Cebú en sistemas de pastoreo arborizado I. *Pastos y Forrajes*, 33(1).
- Vite, C., C. Ordaz L., R. Muñiz G., J. G. Ramírez V., A. Flores R. y R. López O. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Veterinaria México*, 38(1): 63-79.

RENDIMIENTO DE FORRAJE DE TRES GRAMÍNEAS TROPICALES A DOS FRECUENCIAS DE CORTE EN HUEYTAMALCO, PUEBLA

José de Jesús Mario Ramírez González^{286*} y Josafat Omar Hernández Vélez²⁸⁶

Resumen

El estudio se realizó en el Sitio Experimental Las Margaritas en Hueytamalco, Puebla. El objetivo fue determinar el rendimiento total de materia seca (MS), (kg MS/ha), relación Hoja: Tallo, (H/T) medido en porcentaje (%), altura promedio de planta (APP) y cobertura (COB) en condiciones de trópico sub-húmedo. Se utilizaron dos frecuencias de corte (FC). Se realizaron 20 y 18 cortes para 35 y 42 días, respectivamente, durante tres épocas; Lluvias (LL) de junio-octubre; Nortes (NR) de octubre-febrero y secas (SE) de febrero-junio. Las especies (ESP); fueron Chetumal (*Urochloa humidicola*), Mulato (*Urochloa brizantha* x (*Urochloa. ruziziensis*) e Insurgente (*Urochloa brizantha*). Los datos fueron analizados mediante el modelo de bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas con mediciones repetidas en el tiempo mediante el procedimiento GLM y comparación de medias con la prueba de Tukey. La ESP no mostró diferencias en rendimiento ($P \geq 0.05$), sin embargo, IN fue mejor en las demás variables. La variación de FC tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$), donde la mayor producción fue a 42 días (2,383 kg MS/ha.) pero la relación H/T se redujo (76/24). La producción de forraje fue mejor en LL, seguido de SE y NR (2871, 1619 y 1143 kg MS/ha.) respectivamente, no obstante, la menor cantidad de H se presentó en LL (75/25). En la interacción especie por frecuencia; MU tiene el mayor porcentaje de H a 35 y 42 días de rebrote, pero IN fue superior en las demás variables. En LL, la producción de MS fue similar en los tres materiales, en NR fue mayor en MU y durante SE en IN (2889, 1311 y 1769 kg/ha) respectivamente. Para la interacción época por frecuencia, se mostraron diferencias numéricas para rendimiento, APP y COB.

Palabras clave: *Urochloa* sp, producción, interacción, época

Introducción

En la ganadería que se practica en el trópico de México, los pastos son la base de la alimentación animal. Sin embargo, hay diversos factores que limitan la producción y persistencia de los forrajes, como: suelos con pH ácido, niveles altos de aluminio y manganeso

²⁸⁶ Investigadores del S.E. Las Margaritas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Autor por correspondencia-, *ramirez.jose@inifap.gob.mx.

intercambiables, baja disponibilidad de nutrientes y de materia orgánica y deficiente manejo de las praderas, factores que en conjunto provocan baja persistencia en la mayoría de las especies forrajeras (Cruz, *et al.* 2011), Para mejorar esta situación, es necesario que los productores dispongan de información sobre el potencial que tienen sus predios para soportar el establecimiento de praderas con determinadas especies forrajeras de mejor calidad y que sepan también cual es el manejo posible de dichas especies. En algunas partes de esta región, pastos introducidos como *Panicum maximum* Jacq., *Digitaria decumbens* Stent. y *Cynodon nlenfuensis* Vanderyst, están siendo sustituidas por gramíneas de introducción reciente, como 'Mombasa' y 'Tanzania, así como variedades del género *Urochloa* como; 'Señal' (*Urochloa decumbens* Stapf.), 'Insurgente' (*Urochloa brizantha* (Mochst) Stapf.) y 'Húmedicola' (*Urochloa humidicola* (Rendle) Schweick) (Enríquez, 1999). En la región subtropical de México, en Puebla, Veracruz y Oaxaca, cercanos a la Sierra Madre Oriental, los zacates inducidos o gramas nativas existen en extensiones considerables dedicadas a la ganadería, en dicha región los terrenos son lomeríos con pendientes pronunciadas, donde es difícil y costosa la erradicación de estos zacates, debido a su capacidad para tolerar baja fertilidad y sobrepastoreo que les permite invadir potreros mal manejados (Cruz, *et al.* 2011). La región antes mencionada se caracteriza por tener una producción de forraje estacional y depende de la distribución de lluvias, por esto, las condiciones productivas de las explotaciones ganaderas son afectadas considerablemente por periodos bien definidos de abundancia y escasez de forraje que se presenta en lluvias y sequía, respectivamente (Ramos 1985, Ortega y González 1992). El INIFAP y otras instituciones han orientado sus investigaciones buscando mejores cultivos para diversas condiciones climáticas y muchos de esos materiales ya han sido liberados y utilizados extensivamente por productores. También se han escrito y publicado fichas tecnológicas, guías y manuales con la descripción de sus características y su manejo (López, 1999 y Enríquez, *et al.* 1999). Sin embargo, aún falta información más concreta para usarla en los sistemas actuales de alimentación. El objetivo de este trabajo fue conocer los componentes de rendimiento y la respuesta productiva de tres gramíneas tropicales a dos frecuencias de corte, durante tres épocas del año y sus interacciones con el ambiente durante dos años de evaluación.

Materiales y métodos

Se realizó en el Sitio Experimental “Las Margaritas” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-SAGARPA). Ubicado en el Km 9.5 de la carretera Hueytamalco-Tenampulco, en Puebla, a 19°45' 23.75" latitud norte y 97°17' 02.76" longitud oeste, y una altura de 450-550 msnm. En las estribaciones de la Sierra Nororiental de Puebla, zona de transición entre clima templado y tropical, y su clasificación corresponde a un clima A(C)f (García, 1998). Con una precipitación promedio anual de 2,960 mm. Temperaturas máximas, mínimas y media de; 31, 6 y 21°C, respectivamente, y una humedad relativa del 90%. La distribución de lluvias va de junio a mediados octubre (80%); de octubre a mediados de febrero se presentan los “nortes” o época invernal; y entre febrero y mediados de junio ocurre la menor precipitación. Un relieve accidentado, en su mayoría con pendientes de 10-35%. Suelos Ultisoles y Oxisoles, con textura migajón arcillo-arenosa, de color café claro a café oscuro; el pH es ácido de 4.5-5.5. La vegetación natural está constituida por Selva Mediana y Bosque de encino tropical que al perturbarse induce la aparición y establecimiento de gramas nativas, principalmente *Axonopus spp* y *Paspalum spp*. Los materiales evaluados: (CH) *Urochloa humidicola*, (IN) *Urochloa brizantha*, (MU) *Urochloa brizantha* X *Urochloa ruzizensis*. Se realizó en el jardín de introducción del Sitio Experimental Las Margaritas del INIFAP, con una superficie de 30 m² cada una. Las parcelas grandes fueron rectángulos de 2.5 x 5 m de ancho y largo, respectivamente. En cada una se sembraron 4 surcos, con una separación entre surcos y plantas de 0.5 y 0.25 m. La parcela experimentalmente útil fue de 4.0 m² dentro del rectángulo y con 0.5 m libres (efecto de orilla). El marco de evaluación fue de 1.0 m² y fue colocado al centro cubriendo los dos surcos centrales. Se fertilizaron con una fórmula de mantenimiento; aplicando 100-50, kg/ha, de nitrógeno (N) y fósforo (P₂O₅), respectivamente. Aplicando; de 278 y 139 g de urea y SFT por parcela. La urea se dividió en dos fracciones y se aplicó al inicio y mediados de lluvias. El superfosfato se aplicó todo mezclado con la primera fracción de urea. Se cosecharon a 35 y 42 días de rebrote. Se uniformizaron el 17/04/2017 a 10 y 20 cm de altura en CH y en MU e IN, respectivamente; durante este se defoliaron completamente. Inicio; 22/05/2017 y terminación el 21/04/2019. Se realizaron un total de 20 y 16 cortes de 35 y 42 días, respectivamente. El periodo comprendió tres épocas bien distribuidas, considerando como: (LL) Lluvias., (15/06/17-14/10/17) (NR)

Nortes: (15/10/17-14/02/18). (SE) Secas: (15/02/18-14/06/18). Cuando en el intervalo de rebrote no se acumuló material suficiente, se consideraba como “no muestreo”.

Diseño Experimental

Bloques completos al azar con arreglo en parcelas subdivididas y mediciones repetidas a través del tiempo, las cuales se distribuyeron aleatoriamente en cuatro repeticiones (bloques). La parcela mayor fue la especie y 12 repeticiones para parcela menor frecuencia de corte, subdivididas a través de las épocas. Para evitar efectos dañinos entre alturas del rebrote adyacente, las frecuencias no se aleatorizaron, arreglando en orden ascendente iniciando con 35 en un extremo y 42 días en el extremo opuesto.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron altura promedio de la planta (APP), cobertura vegetal (COB), rendimiento total (RT) y relación H/T expresada en porcentaje (%).

Altura de planta promedio (cm)

Se midieron ocho plantas verticalmente desde la base del suelo hasta la parte más alta, sin estirla y sin contar la inflorescencia ni rebrotes de hojas nuevas, utilizando un flexómetro.

Cobertura vegetal (COB)

Se define como la apreciación visual del porcentaje de terreno cubierto por el dosel vegetal de 1 m² del área de muestreo.

Rendimiento total de forraje (RT)

Todo el material (kg MV/ha) fresco que se cortó, en cada parcela (1.0 m²), fue pesado y cuando el forraje fue mayor a 1,300 g, se mezcló y se tomaron dos sub-muestras: una, de 500 y otra de 800 g, la primera para determinar materia seca, fue colocada en bolsas de papel y secada en estufa de aire forzado a 55°C por 48 horas y/o peso constante y la segunda, para separar componentes de rendimiento (CR), y con ella el rendimiento por hectárea según las formulas siguientes:

El porcentaje de MS de la muestra se obtuvo por regla de tres:

Peso fresco de la muestra (g) ----- 100%

Peso seco de la muestra (g) -----X

El peso seco por m² se determinó de la siguiente manera:

PS por m² = $\frac{\text{peso fresco total por m}^2}{100} \times (\% \text{ MS de la muestra})$

Así entonces, para calcular el rendimiento por hectárea:

Rend/ ha = (Peso seco m²) X (10,000m²)

Proporción Hoja; tallo H/T (%H/%T)

El porcentaje de tallos y de hojas, se obtuvo de la siguiente regla de tres:

Peso seco de la muestra -----100%

Peso seco de tallos -----X%

Peso seco de la muestra -----100%

Peso seco de hojas -----X%

% de tallos + % hojas -----100% de la muestra.

Análisis estadístico

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas con mediciones repetidas en el tiempo, usando el procedimiento GLM y MIXED para análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey del paquete estadístico SAS (2001). Para interpretar los resultados se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + ES_j + \varepsilon_{ij.} + FC_k + (FC*ES)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + EP_l + (ES*EP)_{jl} + (EP*FC)_{kl} + \varepsilon_{ijkl}.$$

Dónde:

Y_{ijk} = Observación del i-ésimo bloque, sobre el j-ésimo tratamiento, cortada a la k-ésima frecuencia en la l-ésima época climática.

μ = Media general debida al ambiente.

B_i = Efecto debido al i-ésimo bloque (repeticiones, i=1,2,3,4)

ES_j = Efecto debido al j-ésimo tratamiento (especie, j=1,2,3).

$\varepsilon_{ij.}$ = Error experimental asociado a la parcela grande (error a).

FC_k = Efecto debido a la k-ésima frecuencia de corte (k=1,2).

$(FC*ES)_{jk}$ = Efecto debido a la interacción del j-ésimo tratamiento por la k-ésima frecuencia de corte.

EP_l = Efecto debido a la l-ésima época climática.

ε_{ijk} = Error experimental asociado a la subparcela (error b).

$(ES*EP)_{jl}$ = Efecto de la j-ésima especie sobre la l-ésima época.

$(FC*EP)_{kl}$ = Efecto debido a la interacción de la l-ésima época entre la k-ésima frecuencia de corte.

ε_{ijkl} = Error experimental.

Se asume que el error experimental se distribuye normal, independiente, con media cero y varianza sigma cuadrada. $\varepsilon \sim NI(0, \sigma^2)$

Resultados y discusión

Los resultados del análisis de varianza con el procedimiento GLM y MIXED, muestran que hubo diferencias significativas entre especies, frecuencias y épocas del año ($P \leq 0.05$), con las variaciones que se presentan a continuación:

Variaciones entre especies

Este es considerado el primer reporte experimental de especies forrajeras. CH, IN y MU para la región de Hueytamalco, Puebla; considerando FC y distribución de masa de forraje a través de cada época del año. La interpretación de datos considera las diferencias estadísticas de los cultivos para RF, APP, COB y P:H/T, a través de épocas y frecuencias. Para la comparación los materiales, no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) para rendimiento de MS promedio a través de FC. De 1882, 1895 y 1940 kg/MS/ha en cambio, el % de H fue superior en MU e inferior en CH (86 y 77%) de H respecto a T, respectivamente. La APP fue similar entre MU e IN (46 y 47cm) mientras que CH presentó menor altura (39 cm), esto como consecuencia del hábito de crecimiento erecto de MU e IN que alcanzaron alturas superiores, en contraste con CH con hábito de crecimiento postrado. La COB, mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$), siendo IN con mayor %, seguido de MU y CH con 69, 67 y 66%, respectivamente, como se aprecia en el Cuadro 1. Estos resultados fueron diferentes a los obtenidos por Gómez *et al.* (2000) en el Piedemonte amazónico colombiano, quienes reportan que *Urochloa humidicola* presentó la mejor relación H/T, seguida de *Urochloa. brizantha* CIAT 26110 y Mulato. Sin embargo, los

resultados obtenidos en APP para 24 accesiones e híbridos de *Urochloa*, fueron similares a los obtenidos aquí durante la fase de producción, donde se obtuvieron valores altos para Mu y bajos para CH. Homen *et al.* (2010) reporta que, durante seis edades distintas de cosecha, los valores superiores fueron para MU y menores para CH en condiciones de bosque húmedo tropical en Miranda, Venezuela.

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca (kg MS ha⁻¹), relación H: T (%hoja: %tallo), altura (cm) y cobertura (%) promedio por corte de tres especies de *Brachiaria* spp. en Hueytamalco, Puebla.

Cultivar	Componentes de Rendimiento			
	Rendimiento por corte	Relación H:T	Altura	Cobertura
Chetumal	1882.4 a ¹	77:23	38.7 b	66 c
Mulato	1895.8 a	86:14	45.7 a	67 b
Insurgente	1940.6 a	80:20	47.0 a	69 a

¹ Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes (p>0.05).

Variaciones a través de frecuencias de corte

La mayor PF (kg MS/ha), APP (cm) y COB (%) se obtuvo a 42 días de rebrote (2384, 47 y 74 respectivamente) en comparación a 35 días (1533, 41 y 63) (P≤0.05), sin embargo, los materiales manifestaron a esta edad, una menor proporción de H a consecuencia de una mayor cantidad de T (76 y 24%). Esto es debido a que la relación H/T en gramíneas es inversamente proporcional con la edad de rebrote (Mancilla, 2006). Se observa que, a mayor edad de rebrote, el comportamiento agronómico de los materiales, lo cual concuerda a lo reportado por Peralta *et al.* (2007) quien muestra que conforme se amplía el período de rebrote, se incrementa COB, APP y rendimiento de MS. Sin embargo, los resultados reportan que, a mayor edad, disminuye la cantidad de hojas, esto es debido a que a medida que aumenta la madurez de la planta, la cantidad de T se incrementa en proporción a las H., similar comportamiento fue observado por Homen *et al.* (2010), en tres especies de *Urochloa*, a una edad de corte de 35 días, la relación H/T disminuye, siendo el componente de T el que muestra la mayor proporción, asumiendo una reducción en la calidad nutritiva del forraje, a pesar de no haberse estimado en este trabajo. Hidalgo (2004) menciona que el mayor rendimiento de MS

de diferentes pastos en el Zamorano, Honduras, se obtienen en cortes cada 35 días cuando son regados diariamente (175 kg MS/ha/día), en comparación a la producción sin aplicación de riego. Referente a APP, los resultados indican que conforme se alarga la frecuencia de corte, la altura se incrementa, similar a lo reportado por Homen *et al.* (2010), quienes encontró que a 35 y 42 días, los valores de altura promedio para *Urochloa* en Miranda, Venezuela, fueron de 40 y 48 cm, respectivamente; también muestra que a partir de 28 días se aprecia una tendencia a presentar los mayores incrementos en la altura.

Variaciones a través de épocas de corte. Los rendimientos promedio a través de épocas fueron mayores en LL, seguido de SE y NR con 2871, 1619 y 1143 kg/MS ha respectivamente, ($P \leq 0.05$). La proporción de H fue menor en LL y similar en NR y SE, 75 vs 85 y 83% respectivamente, y el porcentaje de T inverso en LL y parecida en NR y SE con 25, 15 y 17% respectivamente. Encontrando que, la producción de forraje fue de 51% en LL, 20% NR y 29% SE, donde RT, APP y COB mostraron efectos por la época del año. Sosa *et al.* (2008) estudiaron varias gramíneas tropicales en Quintana, Roo-, donde encontraron que el rendimiento de forraje en NO, fue superior al de SE e inferior al de LL ($P \leq 0.05$), mostrando resultados diferentes a los del presente estudio en cuanto a SE vs NR. La mejor respuesta en LL se atribuye a que durante SE, las producciones son bajas o cercanas a cero y en LL, las tasas de acumulación de materia seca se maximizan (Mata, 1989). La APP y la COB fueron diferentes con 57, 32, 42 cm, y 77, 65 y 61% para LL, SE y NR. En este mismo estudio, refiriéndose a COB, SE presentó los valores más bajos 64%, comparados con NR y LL que presentando el mismo valor 80% valores similares a los alcanzados aquí para LL y SE, pero inferiores en NR. Ramírez *et al.* (2009) reportaron que MO las mayores APP (111 cm), en Guerrero, se presentaron durante LL; éstas se debieron a mejores condiciones, principalmente precipitación del lugar. Respecto a la relación H/T, Homen *et al.* (2010) y Cruz *et al.* (2011), reportaron un aumento en la proporción de H durante LL en ambientes de bosque húmedo tropical, lo que difiere con estos resultados, ya que en la misma EP se encontró la menor proporción de H en comparación a las demás épocas.

Efecto de la interacción especie por frecuencia

No se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) para RT a 35 días (Cuadro 2), sin embargo, MU presentó la mayor producción, seguido de CH y por último IN con 1656, 1507 y

1434 kg MS/ha, respectivamente. El incremento del forraje por unidad de superficie a 42 días con relación a 35 días fue de 58, 33 y 79% para CH, MU e IN. Respecto a lo anterior, se observa una tendencia positiva al incremento del rendimiento de MS al avanzar la edad, debido a que, a mayor edad, el área foliar se incrementa, esto concuerda con lo reportado por Enríquez (1997), quien cita que la producción de MS aumenta a medida que avanza la edad, favoreciendo el rendimiento de éstos.

Cuadro 2. Comportamiento agronómico de tres especies de gramíneas cosechadas a 35 y 42 días de rebrote, en Hueytamalco, Puebla.

Componente de rendimiento	35 días			42 días		
	CH	MU	IN	CH	MU	IN
RT (Kg MS/ha)	1507.5 b*	1656.2 b	1434.0 b	2382.2 b	2195.3 c	2573.8 a
% Hojas	81	88	85	72	82	75
% Tallos	19	12	15	28	18	25
Altura (cm)	36 b	44 a	44 a	42 c	49 b	51 a
Cobertura (%)	61 c	62 b	64 a	73 b	74 b	76 a

* Medias con la misma letra dentro de hileras no son significativamente diferentes ($p>0.05$). CH=Chetumal, MU= Mulato, IN=Insurgente.

En cuanto a la proporción H/T, 35 días mostró la mayor proporción en comparación a 42 días ($P\leq 0.05$), siendo MU la de mayor proporción de H en ambas frecuencias, seguida de IN y por último CH (88, 85 y 81% a 35 días y 82, 75 y 72% a 42 días respectivamente). La proporción de T fue mayor conforme aumenta la frecuencia. La APP fue superior a 42 en relación a 35 días, sin embargo, mostró diferencias significativas ($P\leq 0.05$) manifestando que IN expresó valores más altos en ambas frecuencias (44 y 51 cm), lo contrario de MU y CH con valores inferiores de 43, 49 y 36, 42 cm, respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los reportados por Gómez *et al.* (2000), con varias accesiones de *Urochloa*. Para COB, en ambas frecuencias, no hay diferencias significativas entre especies ($P\leq 0.05$), sin embargo, presentaron menor COB ($P\leq 0.05$) a 35 días, comparados con 42, donde hubo un incremento promedio del 12% en COB de las especies. Estos valores no concuerdan con los reportados por Gómez *et al.* (2000) donde a 42 días de rebrote, la mayor cobertura fue para *Urochloa*.

humidicola con 89.4% y el menor % fue alcanzado por *Urochloa. brizantha* con 69.2%. Esto es debido a que materiales de crecimiento estolonífero muestran diferencias a partir del 2do corte, esta respuesta también está asociada a su capacidad de producir estolones, que le permiten formar un césped denso, anclarse en el suelo y competir con otros pastos (Canchilla *et al.*, 2010).

Efecto de la interacción época por especie

Esta interacción fue significativa ($P \leq 0.05$), como se presenta en el Cuadro 3, observando que, durante LL, tuvieron un comportamiento similar en cuanto a RT, pero superior que NR y SE. Esto es debido a que durante el período seco las producciones son bajas o cercanas a cero y en LL, las tasas de depósito de MS son mayores. (Mata, 1989), NR mostró valores más bajos en producción: con 936, 1311 y 1171 kg MS/ha, para CH, MU e IN respectivamente.

Cuadro 3. Comportamiento agronómico de los cultivares, Chetumal, Mulato e Insurgente durante tres épocas climáticas en Hueytamalco, Puebla.

Época	Componentes de Rendimiento				
	Cultivar	Rendimiento (kg MS/ha)	Relación H:T	Altura (cm)	Cobertura (%)
Lluvias (LL)	CH	2883 a*	68:32	59 a	78 a
	MU	2889 a	82:18	57 a	75 a
	IN	2841 a	75:25	57 a	78 a
Nortes (NR)	CH	932 d	87:13	23 c	57 b
	MU	1311 c	87:13	36 c	61 b
	IN	1171 c	82:18	36 c	63 b
Secas (SE)	CH	1723 b	77:23	35 b	62 b
	MU	1366 b	88:12	43 b	64 b
	IN	1769 b	85:15	47 b	68 b

* Medias con la misma letra dentro de columnas no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). CH=Chetumal, MU= Mulato, IN=Insurgente.

Durante SE la producción aumentó 85, 4 y 51% en IN de lo alcanzado en NO; esto pudo ser un efecto ocasionado por la disminución del fotoperiodo que limitó la fotosíntesis. A pesar de

que en NR los rendimientos de MS fueron menores ($P \leq 0.05$), la relación H/T fue mayor y similar con SE, en comparación a LL con valores fluctuantes entre 68 y 82% de H, NR es la que más afectó el comportamiento de las características morfológicas y es cuando hubo la mayor proporción de T, lo que se atribuye a una mayor tasa de generación de estos tejidos, como ocurre en especies tropicales (Cruz *et al.*, 2011).

La especie que manifestó la menor proporción de H en SE fue CH, con 77% H respecto a T. La mínima cantidad de T la obtuvo MU en LL, CH y MU en NR y MU en SE. Para SE, los resultados obtenidos para rendimiento y altura fueron mayores a NR, pero menores que LL. Vergara y Araujo, (2006) reportan producciones de materia seca en *BH* menores en SE que en LL, alcanzando valores promedio de 2,2 y 2,6 t ha/corte respectivamente, superando los registrados en este estudio para SE. En un estudio de evaluación de cultivares de *Brachiaria* realizado por Rojas *et al.*, (2011) en el estado de Guerrero se encontró que, durante LL, los cultivares que mejor se adaptaron a las condiciones de la región, por su desempeño agronómico, fueron *B. brizantha* y el Mulato, ya que mostraron los valores más altos en producción de hojas y menores de material muerto durante esta época, lo cual concuerda con lo obtenido en el presente estudio. En cuanto a la APP, CH fue superior en LL, sin embargo, ésta fue inferior en NR y SE en contraste a las demás especies, las cuales presentan valores muy por encima a los encontrados por Sanabria *et al.*, (1995) en *BB* y *BH* (39.1 y 13.8 cm) en SE. IN fue la de mayor COB en todas las épocas, siendo similar en LL con CH y MU. Esta variable mostró valores parecidos entre NR y SE. Estos resultados difieren con los reportados por Sanabria *et al.*, (1995) quien observó en 6 ecotipos de gramíneas evaluadas en Bolívar, Venezuela, que, durante el período de sequía, *BH* presentó mayor cobertura con respecto a *BB* mientras que en LL se observó lo contrario en las mismas especies.

Efecto de la interacción época por frecuencia de corte

Esta interacción se presenta en el Cuadro 4. Los rendimientos de forraje durante LL, fueron mayores cuando se cortó a 42 días (3058 kg MS/ha), similar a lo reportado por Vergara y Araujo, (2006) con rendimientos de 2,744 kg MS/ha/corte, en Zulia, Venezuela y con los reportados por Méndez (1999), en la evaluación de ocho gramíneas para pastoreo en el mismo sitio experimental. Sin embargo, la proporción de hoja fue mejor (79%) en esta época a la frecuencia de 35 días con una menor cantidad de tallos (21%), Las variables APP y COB

tuvieron valores ligeramente inferiores a los alcanzados a 42 días. En condiciones de bosque húmedo tropical Homen *et al.*, (2010) reportan valores de APP de 61 y 72 cm para 35 y 42 días respectivamente, en distintas especies de *Brachiaria* en LL; valores superiores a los encontrados en esta evaluación. En NR, el rendimiento fue bajo ($P \leq 0.05$) a 35 días (964 kg MS/ha) sin embargo, la proporción de tallos fue menor que cuando se cortó a 42 días, lo cual es una característica deseable en los forrajes de trópico. Así entonces, durante SE la tasa de aparición de hojas es menor conforme crece la planta, mientras que durante LL las hojas representan una mayor proporción del total de forraje cuando se realizan cortes cada 7 semanas que cada 5 semanas. Además, la elongación de los tallos estimado como APP, es menor en SE que en LL. Los bajos rendimientos en NR se atribuyen a las condiciones climáticas que se presentaron de noviembre-febrero, reflejados en temperaturas mensuales de 12 a 14°C en las mínimas y de 21 a 25°C para las máximas durante el periodo experimental, inferiores a las requeridas para una máxima potencialidad del rendimiento en especies de *Urochloa* y que ocasionó rendimientos inferiores en LL. Al respecto Moore (1981), menciona que la cantidad de forraje producido, es afectada por los factores ambientales que se presentan en cada época, sobre todo cuando existe incidencia de temperaturas mínimas por debajo de 22°C.

Cuadro 4. Efecto de la época climática en componentes agronómicos de especies de tres especies de *Brachiaria spp.* cosechadas a dos frecuencias de corte.

Componentes de Rendimiento	35 días			42 días		
	LL	NR	SE	LL	NR	SE
RT (Kg MS ha)	2711	964	820	3058	1365	2817
% Hojas	79	89	87	70	81	78
% Tallos	21	11	13	30	19	22
Altura (cm)	55	29	39	60	34	46
Cobertura (%)	72	56	59	83	66	73

LL=Lluvias, NR=Nortes y SE=Secas.

Para APP y COB de la misma NR, los valores fueron menores con 35 días de rebrote (29 cm y 56%) respectivamente, e inferiores en comparación con LL y SE. Aparentemente la baja

disponibilidad de luz solar afecta el desarrollo de las plantas. (Argel *et al.*, 2005). No se encontraron diferencias estadísticas en RT, %H y cobertura entre NR y SE. Otros estudios señalan que los efectos ambientales con frecuencia son más importantes que los efectos del genotipo sobre los caracteres productivos de las plantas forrajeras. Durante SE de menor precipitación, se manifiesta el mayor rendimiento a 42 días, con valores intermedios en comparación a LL y NR. También a esta frecuencia se observó una menor proporción de H respecto a T (78 y 22%). Machado (1996) menciona, que el déficit de humedad del suelo, influye negativamente en el crecimiento de los pastos, provocando reducción del área foliar, de la actividad fotosintética y, por consiguiente, de la acumulación de forraje respectivamente.

Conclusiones

Insurgente presentó el mejor comportamiento agronómico durante el estudio. La mayor acumulación de MS, APP y COB, fue a 42 días, pero, la proporción de hojas disminuyó al avanzar la edad. Los mayores valores de RT, APP y COB se presentaron en LL y lo contrario en NO. Sin embargo, en ésta última se encontró la mayor proporción de hojas.

Literatura citada

- Canchilla, E. R., Soca M., Ojeda F., Machado R. y Canchila N. 2010. Dinámica de crecimiento de 24 accesiones de *Brachiaria spp.* Pastos y Forrajes [en línea]. 33(4):1-1.
- Cruz, L. P. I.; Hernández G. A.; Enríquez Q. J. F.; Mendoza P. S. I.; Quero C.A. R.; Joaquín T.B.M. 2011. Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. Fitotecnia Mexicana, 34(2): 123-131

- Enríquez, Q. J. F. 1997. Evaluación agronómica de 13 cultivares de *Panicum maximum* en suelos ácidos del sur de Veracruz. XXXIII Reunión de Investigación Pecuaria en México. Veracruz, Ver. 13 p.
- Enríquez, Q. J.F., F. Meléndez N.; E.D. Bolaños A. 1999. Tecnología para la producción y el manejo de los forrajes tropicales en México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 7. Veracruz, México. 262 p.
- García, E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera Edición. UNAM. México, D.F. 246 p.
- Gómez, M. M. J. E. Velásquez, J. W. Miles y F. T. Rayo. 2000. Adaptación de *Urochloa* en el Piedemonte Amazónico Colombiano. Nota de Investigación. Pasturas Tropicales. 22 (1).
- Hidalgo, N. J.G. 2004. Producción de materia seca y contenido de proteína cruda y fibra neutro detergente del pasto *Brachiaria híbrido* cv Mulato. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras. 14 p.
- Homen, M., Entrena I. y Arriojas L. 2010. Biomasa y valor nutritivo de tres gramíneas forrajeras en diferentes períodos del año en la zona de bosque húmedo tropical, Barlovento, estado Miranda. Zootecnia Trop, 28(1):115-127.
- López, G. I. 1999. Producción, manejo y conservación de forrajes tropicales. En: Tecnología INIFAP para el nuevo milenio. Memorias del día del Ganadero. Campo Experimental "La Posta". Memoria Técnica Núm. 5. INIFAP-CIRGOC. Veracruz, México. p.p 1-25.
- Machado, R.1996. Dinámica de algunos indicadores morfológicos y estructurales de *Andropogon gayanus* CIAT-621, bajo condiciones de manejo intensivo. Efecto de la época y el año. Pastos y Forrajes. 19:121-127.

- Mancilla, L. E. 2006. Manejo del pastoreo en la agricultura forrajera. X Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales. Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare. 24 p.
- Mata, P. D. 1989. Rendimiento y composición química de seis gramíneas introducidas en una sabana del sureste del estado Guarico. *Zootec Trop* 7(1):69-80.
- Moore, P. 1981. The varied way plants tap the sun. *New Scientist*. 12:394-397.
- Ortega, S. J. A. y E. A. González V. 1992. Estrategias de producción de carne de bovino en pastoreo. II Simposium sobre Ganadería Tropical. Producción de becerros para engorda. Publicación Especial No. 2. SARH-INIFAP-CIPEP. A.C.-C.E. "Las Margaritas", Hueytamalco, Puebla.
- Ramírez, R. O, Hernández G.A., Carneiro S.S., Pérez P.J., Enríquez Q.J.F., Quero C.A.R., Herrera H.J.G., Cervantes N. A. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum máximum Jacq.*) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tec. Pecu. Mex*; 47(2):203-213.
- Ramos, S. A. 1985. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de forrajes en zonas tropicales y subtropicales. SARH-INIA. México. 30 p.
- Rojas, H. S. Olivares P. J., Jiménez G. R., Gutiérrez S. I., Avilés N. F. 2011. Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de *Brachiaria* en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(1):3-8
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Producci%C3%B3n+de+materia+seca+y+componentes+morfol%C3%B3gicos+de+cuatro+cultivares+de+Brachiaria+en+el+tr%C3%B3pico&btnG= [consultado el: 4 de octubre de 2011]

- Sanabria, V.D.M., Fariñas J.G., Manrique U., Flores Z. y Reina Y. 1995. Adaptabilidad de Gramíneas y Leguminosas forrajeras en un paisaje de Mesa del estado Bolívar, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 13(1):63-76.
- Sosa, R.E., Cabrera T. E., Pérez R. D., Ortega R. L. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Tec. Pecu. Mex.* 46(4):413-426.
- Vergara, L. J. y Araujo F.O. 2006. Producción, composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick en el bosque seco tropical. *Revista Científica*, 16(3):239-248.
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=95911641005> > ISSN 0798-2259.): [consultado el 3 de octubre de 2017].

RENDIMIENTO DE TRES LEGUMINOSAS ARBÓREAS COSECHADAS A TRES FRECUENCIAS DE CORTE EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO

José de Jesús Mario Ramírez González^{287*} y Josafat Omar Hernández Vélez²⁸⁷

Resumen

El trabajo se realizó en el Sitio Experimental “Las Margaritas” del INIFAP, Hueytamalco, Puebla, localizada a 19° 45' latitud norte y 97° 20' longitud oeste, y una altura de 450-550 msnm, de agosto del 2017 a febrero del 2019. El diseño experimental que se usó fue el de bloques completos al azar con parcelas subdivididas y mediciones repetidas en el tiempo. Se evaluaron los efectos de tres frecuencias de corte 6, 9 y 12, (6S, 9S Y 12S) y tres épocas; lluvias (LLU) (15 jun-14 oct.); nortes (NO) (15 oct-14 feb); y secas (SE) (15 feb-14 jun), en *Cratylia argentea*, (CA) *Leucaena leucocephala* (LL) y *Gliricidia sepium* (GS). Las variables evaluadas fueron rendimiento total (RT), porcentaje de hojas, porcentaje de tallos primarios y porcentaje de tallos secundarios (%TP y %TS). Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey, utilizando el paquete estadístico SAS. Los resultados en el análisis de varianza mostraron que el factor especie tuvieron diferencias significativas ($P<0.05$) en todas las variables, siendo CA quien presentó los mayores RT (2782 kg MS/ha) y porcentaje hoja (76.3), no se encontraron diferencias significativas en GS y LL para los porcentajes de hoja, tallos primarios y secundarios. El factor frecuencias muestra diferencias significativas ($P<0.05$) en todas las variables y frecuencias. El factor época mostró que LL presentó el mayor RT (2363 kg MS/ha) y porcentaje de tallos primarios (16.6), la época de NO mostró los mayores valores en porcentaje de hoja (73.9), no hubo diferencias ($P<0.05$) en las demás variables. La interacción época x especie mostró que los mayores RT en LLU, NO y SE fueron en CA (3,544, 2,419 y 2,525 kg MS/ha, respectivamente) y los menores en LLU (1320, 828 y 938 kg MS/ha, respectivamente). Para la interacción frecuencia x especie se encontró que CA obtuvo los RT más altos con cortes cada 12 semanas y mayor porcentaje de hojas cortadas cada seis semanas. El factor frecuencia x época indicó que el mayor RT se presentó en la época de LLU con frecuencias de corte de 12 semanas.

Palabras clave: leguminosas, épocas, interacciones

²⁸⁷ Investigador titular “C”. S.E. Las Margaritas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de investigación Golfo Centro. Autor por correspondencia: ramirez.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Las leguminosas arbóreas son plantas que se encuentran de manera abundante y natural en la mayor parte de las regiones tropicales de México; aunque aún no se utilizan como forraje en forma intensiva por los ganaderos, debido a la falta de información. Estas se establecen con facilidad y no requieren grandes insumos agronómicos, constituyen fuentes valiosas de forrajes (Aranda *et al.* 2005). Existen gran cantidad de árboles potencialmente productores de forraje aprovechable, cuya identificación y estudio para su integración a los sistemas de producción agrícola y ganadera están siendo de interés para gran número productores. La cantidad de biomasa producida por árboles forrajeros en un sistema silvopastoril está en función de la densidad de plantación, el arreglo, las especies, la frecuencia y altura a la cosecha. El corte total o parcial del follaje también puede influir en el tiempo de recuperación (Narváez y Moreno, 2008). En la región subtropical de México, en Puebla, Veracruz y Oaxaca, cercanos a la Sierra Madre Oriental, existen extensiones considerables dedicadas a la ganadería, en donde los predios muestran lomeríos con pendientes muy pronunciadas y donde se localizan pastos nativos con capacidad de tolerar baja fertilidad y sobrepastoreo, que les permite colonizar potreros mal manejados (Méndez, 1999). Esta se caracteriza por tener una producción de forraje estacional y depende de la distribución de lluvias, por esto, las condiciones productivas de las unidades de producción ganaderas son afectadas por periodos bien definidos de abundancia y escasez de forraje que se presenta en lluvias y sequías, respectivamente (Ramos 1985; Ortega y González 1992). Ante esta problemática muchas instituciones y entre ellas el INIFAP, han trabajado en la investigación de mejores plantas forrajeras para diversas condiciones climáticas y muchos de esos materiales ya han sido liberados y utilizados extensivamente por los productores de la región tropical. Además, se han publicado; fichas tecnológicas, guías y manuales con la descripción de características de especies y su manejo (López, 1999 y Enríquez, *et al.* 1999). Sin embargo, se necesita mayor información de; rendimiento y potencial productivo que permitan usar esta información en los sistemas actuales de alimentación. Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue determinar la producción y componentes de rendimiento de tres leguminosas forrajeras cortadas a 6, 9 y 12 semanas, a través de las épocas del año en condiciones de clima subtropical húmedo.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Sitio Experimental “Las Margaritas” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el Km 9.5 de la carretera Hueytamalco-Tenampulco, en el estado de Puebla, geográficamente ubicado a 19° 45' latitud norte y 97° 20' longitud oeste, una altura de 450-550 msnm, Se encuentra en las estribaciones de la Sierra Nororiental de Puebla, en una zona de transición entre clima templado y tropical, (A(C)f) (García, 1998). La precipitación pluvial anual es de 2,960 mm y la temperatura media de 21°C, valores máximos y mínimos de extremos de 31 y 6°C y una humedad relativa del 90%. Las lluvias se distribuyen de junio a octubre (80%); de octubre a mediados de febrero se presentan “nortes” o época invernal; y entre febrero y mediados de junio ocurre la menor precipitación. Presenta relieves accidentados en su mayoría con pendientes de 10 a 35%. Los suelos caracterizados son Ultisoles y Oxisoles, de textura migajón arcillo-arenosa, de color café claro a café oscuro; con pH ácido de 4.5-5.5. La vegetación está formada por selva mediana y bosque de encino tropical que al perturbarse induce la aparición y establecimiento de gramas nativas, (*Axonopus spp* y *Paspalum spp*).

Material experimental

Leucaena o Guaje (*Leucaena leucocephala*) (LL) Cocuite o mata ratón (*Gliricidia sepium*) (CO) y Cratilia (*Cratylia argentea*) (CA).

Manejo agronómico

La siembra se realizó al inicio de lluvias (15/06/2017), sobre terreno preparado de manera convencional. Se utilizaron plantas de 75 cm de altura, originadas en invernadero. Se sembraron 6 surcos de 8 m de largo, con 50 y 25 cm de separación entre surcos y plantas dentro del mismo surco. Parcela experimentalmente útil 12 m² dentro del rectángulo, con 0.75 y 1.0 m libres para lados y cabeceras. El marco de corte fue de 4.0 m². La dosis de fertilización utilizada al establecimiento fue 00-50-00 (kg/ha), utilizando superfosfato triple de calcio P₂O₅ (SFT). Se Aplicaron 311 g de SFT a 28 m² de cada parcela.

Variables de respuesta

Rendimiento total de forraje (RT), % de hoja (%H), % tallos primarios (%TP) y % tallos secundarios (%TS).

Rendimiento de biomasa aérea

Se seleccionaron e identificaron ocho plantas. Para rendimiento se cortó todo el material aéreo. Realizando todos los muestreos en estas mismas plantas. El material cosechado incluyó hojas completas (incluyendo pecíolo) y ramitas de rebrotes tiernos emergidos durante el anterior periodo de descanso, pesado en fresco, tomando una submuestra de 800 g, colocada en bolsa papel y secada a 55°C hasta peso constante.

Rendimiento de materia seca

A los rendimientos totales (RT), los pesos del material total y por componente hoja, tallos primarios y tallos secundarios (H, TP y TS) se les determinó el porcentaje de materia seca (MS) y con ello la materia seca por hectárea. El rendimiento de forraje en MS/ha, se consideró al % MS en la submuestra, dividido entre el # de plantas muestreadas y multiplicado por el número de plantas en una hectárea. La obtención de los porcentajes de los componentes de partición (H, TP y TS), se obtuvo de la siguiente manera:

El peso seco total: 100%.

Peso seco del componente de partición: X%.

Cabe aclarar que al porcentaje de hoja madura se sumaron los rebrotes emergidos durante el intervalo de corte. Se consideró como % de tallos primarios a tallos principales que brotan desde la base de la planta y con mayor lignificación; y por último tallos secundarios o pseudotallos se consideraron ramas delgadas que no alcanzaron la suficiente cantidad de lignina al momento del corte.

Análisis estadístico

El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas con mediciones repetidas a través del tiempo, usando el procedimiento GLM y MIXED para análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey del paquete estadístico SAS (2001).

Para interpretar los resultados del análisis, se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + ES_j + \varepsilon_{ij.} + FC_k + (FC*ES)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + EP_l + (ES*EP)_{jl} + (EP*FC)_{kl} + \varepsilon_{ijkl}.$$

Y_{ijk} = Observación del i-ésimo bloque, sobre el j-ésimo tratamiento, cortada a la k-ésima frecuencia en la l-ésima época climática.

μ = Media general debida al ambiente.

B_i = Efecto debido al i-ésimo bloque (Repeticiones)

ES_j = Efecto debido al j-ésimo tratamiento (especie).

$\varepsilon_{ij.}$ = Error experimental asociado a la parcela grande (error a).

FC_k = Efecto debido a la k-ésima frecuencia de corte.

$(FC*ES)_{ik}$ = Efecto debido a la interacción del j-ésimo tratamiento x la k-ésima frecuencia de corte.

EP_l = Efecto debido a la l-ésima época climática.

ε_{ijk} = Error experimental asociado a la subparcela (error b).

$(ES*EP)_{jl}$ = Efecto de la j-esima especie sobre la l-ésima época.

$(FC*EP)_{kl}$ = Efecto debido a la interacción de la l-esima época entre la k-ésima frecuencia de corte.

ε_{ijkl} = Error experimental.

Se asume que el error experimental se distribuye normal, independiente, con media cero y varianza sigma cuadrada. $\varepsilon \sim NI(0, \sigma^2)$

Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra los resultados promedio de las variables de respuesta, donde se encontraron diferencias ($P < 0.05$) para todos los materiales en todas las variables, siendo CA quien obtuvo el RT más alto y porcentajes de hoja superiores que LL y GS. Las especies LL y GS no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ellas en las variables porcentaje de H, porcentaje de TP y porcentaje de TS. Estos valores son similares a los reportados por Sosa *et al.* (2008) en LL con 61% y 38% para hojas y tallos, respectivamente. LL mostró los menores valores en rendimiento a pesar de presentar mayor % de H y TS, en relación a GS. CA presenta los valores más altos de rendimiento y porcentaje de H, y los más bajos porcentajes de TP y

TS en comparación con GS y LL. Resultados similares se reportan por Mass, (1996), donde menciona que CA tiene rendimientos totales superiores a GS. Estos resultados se pueden deber probablemente a las frecuencias de corte utilizadas, ya que algunas especies como GS no soportan frecuencias de corte reducidas (6 semanas), adjunto a esto las condiciones climáticas que se presentaron a lo largo del experimento variaron mucho entre épocas. Por otra parte, CA presenta un vigor de plántula mayor respecto de LL (Argel y Lascano, 2003), que les permitió una mayor producción y adaptación a las condiciones de trópico.

Cuadro 1. Componentes de rendimiento de tres leguminosas tropicales en Hueytamalco, Puebla.

Especies	Componente de Rendimiento			
	Rend. Total (kg MS/ha)	Hojas (%)	Tallos primarios (%)	Tallos secundarios (%)
<i>Cratylia argentea</i>	2782 a ¹	76 a	11 b	13 b
<i>Leucaena Leucocephala</i>	1021 c	69 b	16 a	15 a
<i>Gliricidia sepium</i>	2148 b	69 b	16 a	15 a

¹ Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

Efecto de la frecuencia de corte sobre componentes de rendimiento de tres leguminosas arbustivas

El Cuadro 2 presenta los valores promedio obtenidos de las variables de respuesta a las frecuencias evaluadas, mostrando diferencias ($P < 0.05$) en todas las frecuencias, para todas las variables, 12 semanas mostró el mayor RT de forraje y la mayor proporción de TP; y a 6 semanas mostró lo contrario, aunque presentó el mayor porcentaje de H. A 9 semanas se alcanzó el más alto porcentaje de TS. Sosa *et al.* (2008) concluyen que las leguminosas presentan la mayor acumulación de forraje a 12 semanas, los cuales son similares a lo encontrado en este estudio. (González 2003) encontró que el rendimiento de MS., tiende a disminuir cuando se aumenta el número de cortes dentro de cada frecuencia.

Cuadro 2. Componentes de rendimiento de *Cratylia argentea*, *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, cortadas a tres frecuencias de corte en Hueytamalco, Puebla.

Frecuencia	Componente de rendimiento			
	Rend. total (kg MS/ha)	Hojas (%)	Tallos primarios (%)	Tallos secundarios (%)
6	1030 c ¹	77.5 a	9.3 c	13.2 b
9	2414 b	69.5 b	15.1 b	15.4 a
12	3698 a	64.0 c	22.3 a	13.8 b

¹ Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

Efecto de la época climática sobre los componentes de rendimiento de tres leguminosas arbustivas

El factor época presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) en RT, porcentaje de H y porcentaje de TP (Cuadro 3).

Cuadro 3. Componentes de rendimiento de *Cratylia argentea*, *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, cortadas a tres frecuencias de corte en Hueytamalco, Puebla.

Época del año	Componentes de rendimiento			
	Rend. total (kg MS/ha)	Hojas (%)	Tallos primarios (%)	Tallos secundarios (%)
Lluvias	2363 a	69 b	17 a	15 a
Nortes	1879 b	74 a	13 b	13 a
Secas	1990 b	73 b	12 b	14 a

¹ Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes.

En LL se presentaron los RT y los porcentajes de TS más altos, no encontrando diferencias significativas ($P \geq 0.05$) para porcentaje de H SE y LL, presentándose el mayor valor en NO. Valles, (1992) comparando distintas leguminosas forrajeras en Martínez de la Torre, Ver. a través del año, reporta los rendimientos totales más bajos en NO y los más altos en LL, similares a los encontrados en este ensayo. Sosa *et al.* (2008) mostró resultados similares en diez leguminosas, al obtener la mayor producción de materia seca en LL, y el menor

rendimiento en SE representó un 36.7% de lo producido en LL, sin tomar en cuenta las producciones de hoja o tallos. Por su parte Sánchez *et al.* (2001) plantea el manejo de poda al final del período lluvioso para leguminosas, ya que ésta práctica detiene el período de floración y estimula el crecimiento vegetativo (hojas y tallos) a lo largo de la época seca.

La producción de forraje y componentes de rendimiento de LL, GS y CA. a través de cada época del año

Para rendimiento y componentes agronómicos de cada especie, se estimaron variaciones a través del año para cada especie. De acuerdo a los resultados, en LLU CA presenta los mayores RT y % de H (3544 kg MS/ha. y 73%, respectivamente) y LL los menores valores (1320 kg MS/ha. y 66%) para las mismas variables. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez y Guevara (2002), quien reporta producciones de materia seca foliar en CA superiores en LLU en relación a SE en Quilichao, Venezuela. El mayor porcentaje de TP, se encontró en LLU y GS (19%), además LL presentó los valores de % de TS, más altos junto con CA (15%), y GS mostro el menor valor para esta variable (14%). En NO, CA presenta valores superiores en RT(2525 kg MS/ha) y porcentaje de H (78%), así como los porcentajes de TP y TS más bajos (11%, para las dos variables). El mayor porcentaje de TP (16%) lo mostró LL, aunque también presentó valores inferiores en RT (828 kg MS/ha), porcentaje de H (70%) y porcentaje de TS (14%). La especie GS, obtuvo el mayor porcentaje de TS (15%) y mostró porcentajes de H y TP menores a CA (2136 kg MS/ha, 73% y 12%, respectivamente), y mayores a LL. Aranda *et al.* (2005) difiere en la producción de material comestible (hojas, peciolo y tallos) ya que obtuvieron el mayor valor en LL, seguida de NO y por último en SE. Los resultados indican que CA expresó valores superiores, a los reportados por GS y LL, de rendimiento y porcentaje de hojas de 2419 kg MS/ha y 78% respectivamente, para SE; y porcentajes de 9% y 13% para TP y TS. Argel y Lascano (2003) mencionan que CA tolera bien la sequía y tiene la capacidad de rebrotar durante el período seco; entre 30 y 40% del rendimiento total de materia seca de la planta puede darse durante ese período crítico del año, lo que concuerda con lo obtenido por Rodríguez y Guevara (2002), al obtener una producción en secas del 36.7% de lo producido en lluvias, y lo reportado por Reyes *et al.* (2008), con una producción de MS de 33% de la producción anual en la misma época, aunque difiere con lo reportado por Santana y Medina (2005), quienes mencionan que durante este periodo existen

defoliaciones drásticas y rendimientos muy bajos. En secas LE expresa el menor rendimiento (938 kg MS/ha) y el mayor % de TS (17%). En cuanto a % de H, mostro un valor mayor (71%) al encontrado en GS (62%) y menor al de CA. Valores superiores de % de TP (24%) se encuentra con GS, superando de manera importante a las otras especies. Torres (2000), no encontró diferencias a lo largo de LLU y final de LLU, en el porcentaje de hojas y tallos finos de LL, con valores de 67 y 66%, respectivamente, difiriendo con lo encontrado aquí para la variable H y TS. Por otra parte se reportan mayores rendimientos de H, $T > 6$ mm y $T < 6$ mm en LLU, en LL comparada con SE, que coincide con lo encontrado en éste estudio para los % de H, TP y TS, durante las mismas épocas.

Producción de forraje y componentes en CA, LE y GS de acuerdo a frecuencia

Se encontró que al cortar a 6, 9 y 12 semanas, los valores más altos de RT (1366, 3437 y 4741 kg MS/ha., respectivamente) y los porcentajes de H (83 73 y 67%, respectivamente) se presentan en CA, aunque para los % de TS (12, 13 y 21%, respectivamente) y TP (5, 14 y 13%, respectivamente) presentan los rendimientos más bajos. Resultados similares a 12 semanas para % de hojas fueron encontrados por Santana y Medina, (2005) quienes reportan los rendimientos de materia seca total, materia seca fina (hojas y tallos tiernos) más altos en frecuencia de corte cada 90 días. Lugo *et al.* (2009) reporta un incremento en la producción de forraje de CA conforme aumenta la edad de la planta, coincidiendo con Enríquez *et al.*, (2003) y Santana y Medina (2005) quienes obtuvieron resultados similares al evaluar esta especie bajo condiciones de trópico subhúmedo, lo que concuerda con lo encontrado en este estudio. Enríquez *et al.*, (2003) señala que la curva de crecimiento de CA, muestra un crecimiento lento en los primeros 84 días y la máxima producción de forraje se obtiene a los 189 días de crecimiento. Respecto a esto se puede señalar que el número de cortes por frecuencia utilizados en éste estudio fue limitado para observar el verdadero potencial productivo de ésta especie. Frecuencias de 6 semanas, el menor rendimiento y % de H se encuentran en LL (630 kg MS/ha, y 73%), al igual que los mayores porcentajes de TP y TS (13 y 15%). Estos resultados coinciden con lo expuesto por Narváez y Moreno (2008) quienes obtuvieron menores rendimientos de materia seca en la misma especie al compararla con Marango y Quelite, en Pacora, Nicaragua. GS expresó valores de RT y % de hojas (984 kg MS/ha, y 73%) menores que los encontrados en CA y mayores en los porcentajes de TS y TP (14% y 12%)

comparados con LL. La reducción en la producción de biomasa cuando los intervalos de corte son reducidos es debido a la baja capacidad de GS para soportar cortes frecuentes, (Clávelo *et al*, 1999). Cortes cada 9 semanas, se observa que el RT y porcentaje de TP (1261 kg MS/ha, y 16%, respectivamente) obtenidos en LL son los más bajos encontrados para esta frecuencia, sin embargo, mostró el mayor % de TS (16%) iguales que para GS, esta última mostró el valor más alto en porcentaje de TP (17%). LE obtuvo los menores RT, difiriendo con los reportados por Munera, (1999) quien presentó rendimientos de materia seca fina (hojas y tallos tiernos) superiores en comparación a GS, a 6 y 12 semanas. LL mostró el valor más alto de TS (15%) y GS obtuvo el mayor porcentaje de TP (25%).

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que para establecer leguminosas arbóreas como forraje en el subtrópico húmedo, se sugiere el establecimiento de *Cratylia argentea*, por presentar la mayor acumulación de forraje y proporción de hojas. La frecuencia ideal para maximizar la acumulación de forraje es a 12 semanas de rebrote.

Literatura citada

- Aranda I. E. M., Pérez P. J, Granados Z. L, Ramos J. J. A, Hernández S. D. y Mendoza M. G. 2005. El Cocoite: una alternativa forrajera en la alimentación de rumiantes. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.
- Argel P. J. y Lascano C. E. 2003. *Cratylia argentea*: Una nueva leguminosa arbustiva para suelos ácidos en zonas subhúmedas tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 181 p.

- Clávelo T., Razz R. y Rodríguez P. 1999. Efecto de la densidad de corte y la frecuencia de corte sobre la producción de biomasa y energía bruta en *Gliricidia sepium*. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 1: 226-230.
- Enríquez, Q. J. F. Meléndez N; E. D. Bolaños A. 1999. Tecnología para la producción y el manejo de los forrajes tropicales en México. INIFAP. CIRGOC. Campo experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 7. Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez Q. J. F., Garay A. H., Pérez J. P., Carrillo R. Q. y Moreno J. G. 2003. Densidad de siembra y frecuencia de corte en el rendimiento de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze en el sur de Veracruz. Tec. Pecu. Mex., 41(1):75-84.
- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 3ra Ed. UNAM. México, D.F. 246 p.
- Lascano C. E. y Plazas C. H. 2003. Utilidad de la leguminosa semiarbustiva *Cratylia argentea* en sistemas de ganado doble propósito del Piedemonte Llanero: Validación y difusión., Villavicencio, Colombia. Proyecto CIAT-Pronatta. Código: 201504059. 61 p.
- López, G.I. 1999. Producción, manejo y conservación de forrajes tropicales. *In*: Tecnología INIFAP para el nuevo milenio. Memorias del día del ganadero. Campo experimental "La Posta". Memoria Técnica Núm. 5. INIFAP-CIRGOC. Veracruz, México.
- Lugo S. M., Emerson V., Betancourt M., González I. y Orozco A. 2009. Efecto de la altura y edad de corte en la producción de materia seca y proteína bruta de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze bajo condiciones del piedemonte barinés, Venezuela. Zootecnia Trop., 27(4): 457-464.

- Mass L. B. 1996. Evaluación agronómica de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze en Colombia. In: Pizarro E, Coradin L. p. 62-74. (ed). Potencial del genero *Cratylia argentea* como leguminosa forrajera. Memorias del taller de trabajo sobre *Cratylia*, Brasilia, DF, Brasil, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Méndez, C. J. L. 1999. Producción de materia seca de ocho gramíneas para pastoreo a diferentes edades y épocas de corte en Hueytamalco, Puebla. Tesis Profesional. Escuela de Ingeniería Hidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. San Juan Acáteno, Teziutlán, Puebla. 62 p.
- Narváez E. y Moreno L. 2008. Evaluación de la producción de forraje de *Cnidocolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst, *Moringa oleífera* (Lam) y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre, Nicaragua, Revista Científica De La Universidad Agraria, Año 8, Núm. 9: 54-59.
- Ramos, S. A. 1985. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de forraje en zonas tropicales y subtropicales. SARH-INIA. México. 30 p.
- Reyes N., Pasquier F. y Rojas M. 2008. Efecto de densidades de siembra y alturas de corte sobre la producción de biomasa y composición química de *Cratylia argentea*. Revista Científica de la Universidad Nacional Agraria, Año 8, Numero 11:11-18.
- Rodríguez, I. y Guevara E. 2002. Producción de materia seca y valor nutritivo de la leguminosa arbustiva *Cratylia argentea* en el sur de estado de Anzoátegui, Venezuela. El tigre Anzoátegui, Venezuela. Rev. Científica Vol. XII suplemento 2. p. 589-594.
- Sánchez, H. L., Sánchez F. J. S. y Castro C. A. 2001. Evaluación agronómica de especies arbóreas para la producción de forraje en la península de Yucatán. Livestock Research for Rural Development 13 (6).

- Santana, M. O. y Medina M. S. 2005. Producción de materia seca y calidad forrajera de *Cratylia argentea* (desv.) O. Kuntze bajo tres alturas y edades de corte en bosque húmedo tropical. *Livestock Research for Rural Development* 17 (10). Medellín, Colombia
- Sosa, R. E., Cabrera T. E., Pérez R. D. y Ortega R. L. 2008. Producción estacional de Materia Seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo, *Tec. Pec. Méx.* 46(4):413-426.
- Torres, A., Chacan E., Arriojas L. y Armas S. 2000. Efecto de la época y los patrones de siembra sobre la producción y arquitectura de la biomasa en bancos de *Leucaena leucocephala* (Lam) de WIT, Maracay, Venezuela, *Zootecnia Trop.*, 18(2):145-161.
- Valles, B, Castillo E. y Hernández T. 1992. Producción estacional de leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales* 14(2).

IMPORTANCIA DE LA PARTICIPACIÓN DE LA MUJER EN LA GANADERÍA

Martha Eugenia Valdovinos Terán^{288*} y Rosa Elena Riaño Marín²⁸⁹

Resumen

El presente estudio exploratorio tuvo como objetivo conocer la iniciativa y motivación para integrar una organización exclusiva de mujeres dedicadas a la ganadería en la zona centro costa de Veracruz. El trabajo se realizó con integrantes de la asociación “Mujeres en la ganadería Tecnificada”. Pertenecientes a asociaciones ganaderas locales (AGL) de la Unión Ganadera Regional de la Zona Centro de Veracruz. A quienes se les aplicó una entrevista abierta, además a funcionarios de las AGL y se utilizaron las técnicas de observación participante y grupos de discusión; éstas permitieron visualizar y analizar acciones de estas mujeres ganaderas veracruzanas en su quehacer productivo y relaciones con las AGL. Los principales resultados permitieron identificar que la asociación de mujeres ha permitido revalorar su trabajo y participación dentro de la unidad de producción familiar, al incorporarse a actividades tanto técnicas y operativas como en la toma de decisiones en los ranchos, su administración y necesidades de capacitación. Lo cual forma un paso importante en el reforzamiento del capital social y humano de sus respectivos ranchos; agregándose valores de solidaridad, identidad común, cooperación, credibilidad, prestigio, confianza y fuerza colectiva; asimismo, este capital se sustenta en apoyo mutuo, entreteje habilidades para trabajar por propósitos comunes fomentando la reciprocidad e intercambios materiales y simbólicos. Los hallazgos revelan que, especialmente en viudas y huérfanas, el origen de su capital social principalmente emerge de los varones dedicados a la ganadería de sus grupos domésticos; las mujeres ganaderas son aceptadas, tienen prestigio y reconocimiento en el gremio local, entre ellas han creado fuerza colectiva, y tienen interés por puestos de toma decisión en su asociación de mujeres. La organización tiene como prospectiva ampliar su participación igualitaria en procesos de gestión y toma de decisiones operativas e institucionales que representan esta actividad económica.

Palabras clave: organización, identidad, capital humano

²⁸⁸ Campo Experimental La Posta, CIR-GOLFO CENTRO, INIFAP. *Autor de correspondencia: valdovinos.martha@inifap.gob.mx.

²⁸⁹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, Martínez de la Torre, Ver.

ANÁLISIS DE LA COMERCIALIZACIÓN DE GANADO BOVINO EN LOS MUNICIPIOS DE TUXPAN Y TAMIAHUA, VERACRUZ

Alondra Díaz Rodríguez²⁹⁰, Vianeth Méndez Cortés^{290*}, Miguel Ángel Gonzáles Salas²⁹⁰, Roberto Alejandro Mateos Rocha²⁹⁰ y Rubén de La Paz Mendo Muñoz²⁹⁰

Resumen

La producción, comercialización y engorda de bovinos que se venden para el sacrificio, representa una práctica extendida en las comunidades rurales. Los cambios demográficos y los hábitos de consumo en la población, presentan una demanda importante de carne de res. El objetivo del estudio fue determinar la participación de cada integrante en la cadena de comercialización, desde el productor, intermediarios y detallistas, para determinar los beneficios económicos obtenidos de la comercialización de ganado bovino en los municipios de Tuxpan y Tamiahua. Se analizaron los puntos de origen de la producción, acopio, comercialización, engorda y sacrificio que integran la cadena de comercialización. Se realizó un muestreo por conveniencia, aplicado de la siguiente manera: 29 cuestionarios a productores, 10 cuestionarios a intermediarios y 10 a los detallistas.

Los datos obtenidos de los cuestionarios fueron registrados y analizados en hojas de cálculo de Excel 2013. Los resultados mostraron que los mayores márgenes absolutos y relativos correspondieron a los productores, seguidos de los detallistas e intermediarios; sin embargo, tomando en cuenta los costos de producción que se generan en la cadena, las ganancias totales finales fueron del 4% para los productores, 35% para los detallistas y 61% para los intermediarios; tomando en cuenta los costos de producción, la menor ganancia fue para el productor, por los altos precios de los insumos y demás gastos que incluye.

La edad promedio de los productores de ganado bovino fue de 59 años de edad, con 22 ha, que, en su mayoría de propiedad ejidal y el 5% es pequeña propiedad. Los productores que se dedican a la engorda de bovinos, venden el ganado a los intermediarios y a los detallistas, quienes obtienen las mayores ganancias, por la poca inversión y tiempo de mantenimiento del ganado. La cadena de productividad analizada del ganado bovino arroja una limitada vinculación entre productores, engordadores y comercializadores y cada integrante en la cadena opera de forma distinta. La propuesta es que trabajen de manera integrada para aumentar la competitividad, con el fin de gestionar y realizar compras consolidadas de insumos, para reducir costos e incrementar la ganancia.

Palabras clave: productores, detallistas, márgenes, ganancia, encuestas

²⁹⁰ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Poza Rica-Tuxpan. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: vimendez@uv.mx

DESARROLLO DE UNA ELISA INDIRECTO PARA EL *Orthorubulavirus suis*

José Luis Cerriteño Sánchez^{291*} y Julieta Sandra Cuevas Romero²⁹¹

Resumen

La Enfermedad del Ojo Azul (EOA) de los cerdos es causada por un virus descubierto en La Piedad, Michoacán. El virus afecta a cerdos de todas las edades, sin embargo; los lechones son los más afectados, alcanzando tasas de mortalidad altas. Actualmente la enfermedad se encuentra prevaleciente en el centro del país con un impacto negativo en la industria del Bajío. Por lo anterior, en el presente trabajo, se desarrolló el método de ELISA indirecto, utilizando la proteína recombinante HN del virus. Para la estandarización del ELISA se consideraron algunos factores importantes tales como: adsorción y titulación del antígeno, controles de suero positivos (procedentes de animales vacunados), sueros negativos (animales libres), titulación de conjugado, cinética de reacción del sustrato, tiempo de incubación, temperatura, pH de las soluciones amortiguadoras, tiempo óptimo de lectura e interpretación de resultados. Para determinar valores de sensibilidad y especificidad con los sueros controles de referencia (positivos y negativos) en comparación con los resultados de suero-neutralización (SN), mediante una tabla de contingencia de 2 x 2. Se determinó la distribución de frecuencias de los sueros positivos o negativos en los intervalos de densidades ópticas más 1 desviación estándar (DS) con los siguientes resultados: para el suero control fuerte positivo (C++) fue de 0.88 a 1.38, para el suero control débil positivo (C+) de 0.442 a 0.774 con porcentajes de positividad mayores a 25%, y para el suero control negativo (C-) de 0.052 a 0.032 con valores de % PP menores del 5%. Por ello, se estableció un punto de corte del 20% PP con respecto al valor de la DO del suero control negativo (+3DS) en relación al valor de la DO del suero control fuerte positivo (-3DS). Finalmente, se obtuvo una sensibilidad comparada de 100% y una especificidad comparada de 100% en relación con la prueba de SN como prueba de referencia. En conclusión, se obtuvo un método inmunoenzimático efectivo para el diagnóstico de la EOA en sueros de cerdos, que tiene el potencial para ofrecer un diagnóstico oportuno para la detección de animales con anticuerpos.

Palabras clave: ojo azul, virus, cerdos

²⁹¹ Laboratorio de Epizootiología, Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), CDMX. *Autor de correspondencia: cerritenojose@inifap.gob.mx

INMUNOMODULADORES DE ÁCIDO GLICIRRICÍNICO ACOPLADOS CON ANTÍGENO RECOMBINANTE DEL VIRUS DE LA DIARREA EPIDÉMICA PORCINA

José Luis Cerriteño Sánchez^{292*}, José Bryan García Cambrón²⁹³, Julieta Sandra Cuevas Romero²⁹² y Ana María Anaya Escalera²⁹⁴

Resumen

El virus de la diarrea epidémica porcina (VDEP) afecta a cerdos, generando grandes pérdidas de producción y económicas. Los complejos inmunoestimulantes pueden ser base para el desarrollo de vacunas de subunidades, considerados como seguros y efectivos. El objetivo de este trabajo es desarrollar un complejo inmunoestimulante y modulador para la diarrea epidémica porcina. Nanopartículas lipídicas (LNPs) fueron desarrolladas mediante el método de filme lipídico. Se realizó una mezcla de fosfolípidos, colesterol y ácido glicirricínico, estos se homogenizaron y, posteriormente, se filtró la mezcla. Se empleó como antígeno la proteína recombinante rNTD de la proteína S (NTD-S) del VDEP. Se realizó la evaluación del tamaño, la forma y el potencial Z del complejo formado. Para determinar la capacidad inmunoestimulante, se inmunizaron ratones de la cepa CF-1 durante 35 días. Se les extrajo muestras de sangre por la vena safena lateral en cola de los ratones cada 7 días post inmunización (hasta el día de la eutanasia). Posteriormente, se evaluó la cinética de producción de anticuerpos mediante ensayos de ELISAs indirecta (iELISA). Adicionalmente, se evaluó la concentración en suero de los anticuerpos TNF- α e IL-1 β . Los análisis de tamaño y forma mostraron nanopartículas con tamaños que oscilan entre los 60 a 200 nm, mientras que los análisis de potencial Z indican que son estables (-28 mV). La evaluación de la cinética de producción de anticuerpos mostró que los ratones inoculados con el complejo inmunoestimulante produjeron considerablemente más anticuerpos con respecto a la proteína sola. Además, las nanopartículas mostraron la capacidad de disminuir la concentración de algunas citoquinas pro-inflamatorias en suero (TNF- α y IL-1 β). Como conclusión, las nanopartículas mostraron características de estabilidad, un buen acoplamiento con la proteína recombinante y la capacidad de inducir una buena respuesta inmune, además de un efecto inmunomodulador.

Palabras clave: adyuvante, citoquinas, nanopartículas

²⁹² Laboratorio de Epizootiología, Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), CDMX; CDMX.

²⁹³ Posgrado en Biología Experimental, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I).

²⁹⁴ CENID-Fisiología, Querétaro. Autor para correspondencia: cerritenose@inifap.gob.mx

PREVALENCIA DEL VIRUS DE LA DIARREA EPIDÉMICA PORCINA (vDEP) EN MÉXICO

José Luis Cerriteño Sánchez^{295*}, Julieta Sandra Cuevas Romero²⁹⁵, Eduardo García González²⁹⁶
y Francisco Villaseñor Ortega²⁹⁶

Resumen

El virus de la diarrea epidémica porcina (vDEP) causa diarrea aguda y vómitos, deshidratación y alta mortalidad en lechones neonatales, afectando de manera significativa al sector porcino y afecta significativamente a la industria porcina de México. A pesar de que la enfermedad se describió inicialmente en México en 2013, no se han realizado investigaciones sobre la seroepidemiología del virus en México. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el suero obtenido de diferentes estados productores de cerdos en México, mediante un ELISA indirecto (iELISA) basado en una proteína recombinante (rNTD-S) de vDEP, para determinar la seropositividad del virus en cerdos de traspatio y producción intensiva en diferentes estados de la república. Se recolectaron un total de 1054 sueros de granjas porcinas, mataderos provenientes de rastro y producción de traspatio en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Querétaro, Sinaloa y Veracruz, entre 2019 y 2021. Todos los sueros en este estudio correspondían a animales clínicamente sanos y sin antecedentes de vacunación contra vDEP. Los sueros fueron analizados mediante un ELISA indirecto usando como antígeno la proteína recombinante rNTD-S. Dentro de los resultados principales, se determinó que el 61.66% de las muestras de suero (650/1054) fueron positivas, siendo Jalisco el que mayor porcentaje de muestras positivas presentó, 78.74% (226/287). En los demás estados los resultados obtenidos fueron: Sinaloa con 76% de muestras positivas, Veracruz con 68.18%, Querétaro con 61.44% y Guanajuato tuvo un 46.19% de muestras positivas. Otros estados en este estudio, presentaron valores superiores al 40%. Como conclusión; este es el primer estudio seroepidemiológico de vDEP realizado en México, que revela que el virus continúa circulando desde el brote inicial, así mismo, proporciona una visión general de la propagación del virus y su alto nivel de persistencia en los principales estados productores de cerdos del país.

Palabras clave: iELISA, virus, epidemiología

²⁹⁵ Laboratorio de Epizootiología, Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), CDMX.

²⁹⁶ Tecnológico Nacional de México en Celaya. *Autor de correspondencia: cerriteno.jose@inifap.gob.mx

LA KISSPENTINA-10 vs GnRH EN VAQUILLAS BRAHMAN, EN LA SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN

Abraham Fragoso Islas^{297*}, Jorge Víctor Rosete Fernández²⁹⁸, Ángel Ríos Utrera²⁹⁹,
Rubén Santos Echeverría²⁹⁷ y Lauro A. Flores Ramos³⁰⁰

Resumen

El trabajo se realizó con 58 vaquillas Brahman, peso promedio de 380 kg y la edad de 24.0 a 24.5 meses para iniciar su manejo reproductivo. Las vaquillas se incluyeron a un protocolo de sincronización de la ovulación con un dispositivo intravaginal con progesterona (CIDR), estrógenos y prostaglandinas, para comparar la kisspeptina-10 (kis-10) con la GnRH en la sincronización de la ovulación. El protocolo consistió en insertar un dispositivo intravaginal comercial compuesto por 1.9 g de progesterona (CIDR), el cual fue introducido en la vagina (día 0) por 7 días. Al momento de insertar el CIDR, a cada vaquilla se le inyectó 2 mg de benzoato de estradiol (BE) intramuscularmente (IM), al retiro del CIDR (día 7), se les inyectó 150 mg de D-cloprostenol IM, al día siguiente (día 8), 1 mg de BE IM, y en promedio a las 54 horas posteriores al retiro del CIDR (día 9), las vaquillas se distribuyeron en dos grupos experimentales, un grupo que recibió 1000 µg de kisspeptina-10 (kiss-10) IM y el otro 100 µg de Hormona liberadora de gonadotropinas hipofisiarias (GnRH) IM. La variable ovulación fue binaria, así que la ovulación se consideró como uno (1) en la base de datos y la no ovulación como cero (0). Se analizó con PROC GLM de SAS, en un modelo que incluyó los efectos de tratamiento (Kiss-10 vs GnRH), condición corporal y estado ovárico de las vaquillas al inicio del estudio (ciclando o no). No hubo efecto del tratamiento, ni la condición corporal ($P > 0.05$), solo del estado ovárico inicial ($P < 0.05$), siendo menor de $15.76 \pm 10.92\%$ para vaquillas no ciclando, contra $96.44 \pm 3.98\%$, para vaquillas ciclando. No hubo diferencia en el porcentaje de sincronización de la ovulación entre Kiss-10 (73.88 ± 18.72) y GnRH (64.16 ± 20.70), por lo tanto, la Kiss-10 es de utilidad para incluirse en los protocolos de inducción de ovulación de manera práctica para tal propósito.

Palabras clave: kiss-10, inducción, ganado de carne, trópico

²⁹⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), *Autor de correspondencia: fragoso.abraham@inifap.gob.mx

²⁹⁸ Práctica privada.

²⁹⁹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Veracruzana.

³⁰⁰ Productor de Brahman de registro.

DINÁMICA POBLACIONAL DE ESPECIES ARVENSES EN SITIOS SUJETOS A PASTOREO RACIONAL VOISIN

María de la Luz Avendaño Yáñez^{301, 302}, Silvia López Ortiz^{301*} y Mónica de la Cruz Vargas Mendoza³⁰¹

Resumen

La invasión y dominancia de especies arvenses en pastizales representa un problema para los productores ganaderos. El control mecánico y los herbicidas son los métodos más utilizados en la ganadería en México, sin embargo, los herbicidas generan contaminación ambiental y riesgos a la salud humana. *Sida spinosa* y *Mimosa pudica* son arvenses invasivas en pastizales sujetos al pastoreo extensivo. El pastoreo dirigido ha sido utilizado para el control de especies arvenses en pastizales, desde el enfoque de ganadería regenerativa, el pastoreo racional Voisin (PRV) promueve manejar una carga animal que coincida con la disponibilidad de forraje, y tiempos de ocupación cortos. Este manejo propicia un forrajeo no selectivo del ganado y el consumo de las arvenses, lo cual puede ser una herramienta innovadora para su control. El objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica poblacional de *S. spinosa* y *M. pudica* en potreros manejados con bovinos en PRV. Se seleccionaron cinco potreros de 28 x 28 m (784 m²) invadidos por especies arvenses. En cada potrero se utilizó un transecto diagonal y a lo largo de este se distribuyeron al azar cinco puntos fijos para contar el número de individuos de ambas especies dentro de un círculo de 1 m². La evaluación se realizó de 2022 a 2024. Se calculó la densidad y la tasa de crecimiento poblacional (λ) para ambas especies. *Sida spinosa* tuvo una densidad poblacional inicial de 180.5 y una densidad final 38.5, mientras que *M. pudica* tuvo una densidad de 16.2 al inicio y 4.6 al final. Los resultados preliminares sugieren que la tasa de crecimiento poblacional de ambas especies decrece en el tiempo más de 60% en el sitio manejado con PRV. Este primer indicio es alentador en el contexto actual de generar alternativas de manejo agroecológico viables para el control de arvenses que disminuyan o sustituyan gradualmente el uso del glifosato y otros herbicidas utilizados en ganadería.

Palabras clave: ganadería regenerativa, glifosato, manejo agroecológico, trópico subhúmedo

³⁰¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, CP. 91690. Municipio Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, Mexico. *Autor de correspondencia: luz.avendano@colpos.mx

³⁰² Posdoctorante Conahcyt.



Forestal

AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE *Fusarium* spp. ASOCIADAS AL MARCHITAMIENTO EN *Pinus* spp., EN VIVEROS FORESTALES DEL CENTRO DE VERACRUZ

Carlos Yair Vásquez González^{303*}, María del Carmen Núñez Camargo³⁰⁴, Jesús Dorantes López³⁰²,
Guillermo Rodríguez Rivas³⁰² y Alejandro Salinas Castro³⁰⁵

Resumen

En México se tienen registradas más de 200 especies de patógenos que provocan daños en los ecosistemas forestales. En el caso de almácigos forestales, se tienen pérdidas hasta del 70% de plántulas a nivel de vivero, por la enfermedad conocida como damping off, afectando principalmente especies de *Pinus* spp. Se considera que los agentes más importantes del damping off, es un conjunto de fitopatógenos, especialmente hongos del género *Fusarium* spp. Ante estos supuestos se planteó determinar las especies de hongos, asociados a las plántulas de *Pinus* spp. en viveros forestales, con relevancia económica en Veracruz. Se seleccionaron tres viveros forestales de la zona centro del estado, “El Plan” en Jilotepec, Ver.; “El vivero forestal militar” y “La Gloria”, ambos ubicados en el municipio de Perote, Ver. En estos viveros se producen *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus greggii* Engelm y *Pinus hartwegii* Lindl. De cada especie producida, se colectaron 10 plántulas con síntomas de marchitamiento y/o lesiones a nivel de cuello. Posteriormente, las plántulas se trasladaron al Laboratorio de Parasitología y Control Biológico, de la Facultad de Ciencias Agrícolas Xalapa. A cada plántula se le realizó un lavado y desinfección de raíz. Para realizar el aislamiento de los hongos, las plántulas se fragmentaron en cinco trozos y, se colocaron en cajas de Petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar, incubándose a 25°C durante siete días. Una vez que se observó desarrollo micelial de los hongos asociados a los tejidos, se realizaron cultivos puros para la identificación a nivel de género. Del total de 30 plantas analizadas, se obtuvieron un total de 90 aislamientos, de los cuales: 70 corresponden a especies del género *Fusarium* y los otros 20 a diversos hongos saprobios (*Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp). Entre las especies de *Fusarium* se identificaron *F. circinatum* (56), *F. oxysporum* (6), *F. solani* (5), y *F. graminearum* (3). La presencia del patógeno *F. circinatum* fue positivo en plántulas de los tres viveros forestales, es importante establecer un esquema de control, más eficaz y efectivo, para evitar que las nuevas plantaciones o las que ya estén establecidas en campo, se sigan contaminando.

Palabras clave: hongo, patógeno, plantas

³⁰³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Región Xalapa – Veracruz. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: zS21023688@estudiantes.uv.mx

³⁰⁴ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Región Xalapa – Veracruz. Universidad Veracruzana.

³⁰⁵ Centro de Investigación en Micología aplicada – Universidad Veracruzana- Xalapa, Veracruz.

Introducción

La sanidad forestal contribuye a la protección, producción y conservación de la riqueza forestal del país, difundiendo los tratamientos fitosanitarios que se utilizan actualmente, así como las tecnologías y las estrategias para el control de plagas, por medio de profesionales de este sector y propietarios de áreas forestales (Cuello *et al.*, 2014).

En México se tienen registradas más de 200 especies de insectos y patógenos, que provocan daños en los ecosistemas forestales (Gally *et al.*, 2016). Estas afectaciones llegan a ser cuantiosas en términos económicos en productos forestales, así como en servicios ambientales, por la pérdida de cobertura arbórea y el consecuente impacto en el cambio de uso de suelo (Canelles *et al.*, 2021). Se tiene registro, que algunos almácigos de especies forestales tienen pérdidas hasta del 70% por mortalidad a nivel de vivero, de plántulas por la enfermedad conocida como damping off, afectando principalmente las especies de *Pinus* spp., (Elvira-Recuenco *et al.*, 2019).

En Estados Unidos se considera que, los agentes más importantes del damping off en los almácigos de pino, es un conjunto de fitopatógenos, especialmente hongos del género *Fusarium* spp., los cuales están asociados a bacterias y nemátodos como patógenos secundarios (García-Díaz *et al.*, 2017). Cabe destacar que, no solo se ha diagnosticado a este patógeno en la zona norte de América, sino que, ha sido diagnosticado en países sudamericanos, como: Chile (Wingfield *et al.*, 2002), Uruguay, Colombia (Steenkamp *et al.*, 2012) y Perú. También, se han reportado grandes extensiones de plantaciones afectadas en la zona de Sud África (Mitchell *et al.*, 2012), así como, en países de Europa, como España (Iturrirxa *et al.*, 2011), Portugal (Bragança *et al.*, 2009), Italia (Möykkynen *et al.*, 2015) y Alemania (Elvira-Recuenco *et al.*, 2019). Por último, European Food Safety Authority, *et al.* (2020), categoriza este patógeno como el principal problema a nivel mundial en la producción forestal, afectando rodales naturales, plantaciones forestales comerciales, viveros forestales y, por último, reservorios de germoplasmas a nivel mundial, ya que, en los últimos años, se ha reportado que este hongo también puede ir inmerso en las semillas de árboles forestales ya enfermos (Vainio *et al.*, 2019). Por lo tanto, el diagnóstico oportuno de este patógeno, es primordial para mitigar su dispersión, ya que, en un caso de incorporación al suelo de un rodal, puede llegar a infectar toda una plantación. Ante estos supuestos, se planteó determinar las

especies de hongos asociados a las plántulas de tres especies de pino, en viveros forestales con relevancia económica en Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se seleccionaron tres viveros forestales en la zona centro del estado de Veracruz, con base en su capacidad de producción y distribución de brinzales, el primer vivero denominado “El Plan” (19° 36' 31.7"N, 96° 56' 44.3"W), ubicado en el municipio de Jilotepec, Ver., “Forestal Militar Perote” (19° 34' 57.6"N, 97° 13' 31.5"W) y “La Gloria” (19° 36' 43.2"N 97° 11' 33.8"W), ambos ubicados en el municipio de Perote, Ver.

Colecta de material

En cada vivero se colectaron 10 ejemplares, que presentaran síntomas de marchitamiento y/o lesiones a nivel de cuello (Figura 1).

Posteriormente, las plántulas se trasladaron al Laboratorio de Parasitología y Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agrícolas Xalapa. Para el caso de “El plan”, se trabajó con *Pinus cembroides* Zucc.; para el vivero Militar de Perote, se trabajó con *Pinus greggii* y, por último, en “La Gloria” se trabajó con plantas de la especie *Pinus harweggi* Lindl.

Hay que mencionar que los viveros el “Plan” y “La Gloria”, trabajan bajo un sistema de producción tradicional, mientras que el vivero forestal “Militar”, produce las plantas bajo un sistema de producción tecnificado por contenedor, no obstante, los sustratos utilizados son en la misma proporción, es decir, la relación 20-20-60 (20% tierra de monte, 20% vermiculita y 60% peat moss).



Figura 1. Síntomas de cancro resinoso en pinos. A) Marchitez radicular en plántulas de *Pinus cembroides* B) Plántulas de *P. greggii* marchitas y muertas después de una infección natural por cancro resinoso, C) Ahogamiento y/o estrangulamiento de tallo en plantas de *Pinus hartwegii* germinadas infectadas por *Fusarium circinatum*.

Procesamiento de muestras en laboratorio

A cada plántula se le realizó un lavado de raíz con agua corriente, para eliminar los restos de sustrato. Una vez realizado el lavado, se procedió a extraer del cuello de la planta y partes de raíz, fragmentos de 2 cm aproximadamente. El siguiente paso, fue el proceso de desinfección de los fragmentos, los cuales fueron sumergidos durante un minuto en alcohol al 70%, dos minutos en hipoclorito de sodio al 3% y finalmente, se hicieron tres lavados con agua destilada estéril, los fragmentos se colocaron sobre papel absorbente estéril, se depositaron cinco fragmentos en cajas Petri con medio de cultivo PDA (Papa Destroxa Agar), se rotularon las cajas y se incubaron durante siete días a 25°C.

Una vez que se observó desarrollo micelial de los hongos asociados a los tejidos, se realizaron cultivos puros. Para la identificación de hongos a nivel de género y especie, se utilizó la morfometría que, consiste en tomar un fragmento de hifa o estructuras y colocarla en un porta objetos, con una gota de lactofenol- azul de algodón, para su observación al microscopio óptico, así como, la descripción de las siguientes características: color de la colonia, textura de micelio, aspecto de la colonia y color al reverso de la colonia, tamaño y morfología de macro y micro conidios, disposición de los micro conidios, presencia o ausencia de clamidosporas (Figura 2).

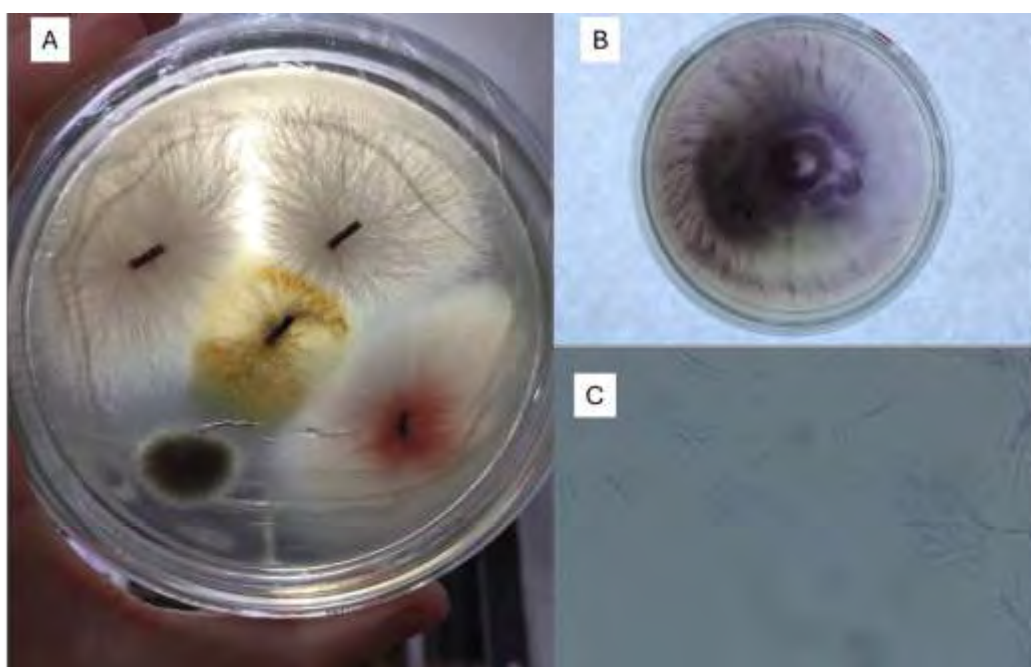


Figura 2. Aislamientos de Fusarium en medios de cultivo. A) Diversidad de colonias de hongos de *Fusarium* spp. aisladas de las raíces de *Pinus cembroides*, B) Purificación de *Fusarium circinatum*, C) Macro y micro conidios vista a 1000x de *F. circinatum*.

Resultados y discusión

Del total de 30 plantas analizadas, se obtuvieron un total de 150 aislamientos (Cuadro 1), de los cuales, 130 corresponden a especies del género *Fusarium* y los otros 20 a diversos hongos

saprobios *Aspergillus spp.* (5) y *Penicillium spp.* (15). Entre las especies de *Fusarium*, se identificaron *F. circinatum* (Nirenberg & O'Donnell) (116), *F. oxysporum* (Schltdl) (6), *F. solani* (Mart.) (5), y *F. graminearum* (Schwabe) (3).

Cuadro 1. Frecuencia de especies de hongos aislados de plántulas de *Pinus spp.*

Especie	Vivero	<i>F. circina- tum</i>	<i>F. oxyspo- rum</i>	<i>F. sola- ni</i>	<i>F. gramínea- rum</i>	<i>Aspergi- llus spp</i>	<i>Penici- llium spp</i>	Total
<i>Pinus greggi</i>	La gloria	40	2	1	0	2	5	50
<i>Pinus hartweggi</i>	Militar	39	2	2	1	1	5	50
<i>Pinus cembroides</i>	El plan	37	2	2	2	2	5	50
Aislamientos (#)		116	6	5	3	5	15	150
Frecuencia (%)		77.3	4.0	3.3	2.0	3.3	10.0	100

La identificación morfológica de *F. circinatum* se realizó por medio de las siguientes características: micelio aéreo algodonoso, blanco-rosa-violeta, reverso de colonia: pigmentos rosa-violeta-oscuro, macroconidios multiseptados, cilíndricos y delgados, microconidios dispuestos en cabezuelas, sin septos, obovoides, hifas enrolladas

La principal enfermedad asociada a la pudrición de raíces o canchros son las diferentes especies de *Fusarium*, especialmente: *F. circinatum*, *F. subglutinans* y *F. oxysporum*. La presencia de *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. graminearum* se debe a que son especies cosmopolitas por lo cual están presentes en casi todos los suelos del mundo como lo reportaron Drenkhan *et al.* (2020). Si bien estas especies atacan otros géneros de plantas de importancia agrícola con un alto impacto económico, también son de importancia en el caso de especies forestales.

La presencia de *F. circinatum* es un dato alarmante, debido a que estos tres viveros estudiados son los que abastecen gran parte de la región centro, norte y sur del estado de Veracruz, esto debido a la falta de un manejo adecuado en las instalaciones de los viveros forestales de la región, además de que muchos de estos, no cumplen requerimientos en términos de instalaciones lo que conlleva a la obtención de plantas de mala calidad, cabe destacar que hay una hipótesis en la cual se estipula que la mayor diversidad genética de estos fitopatógenos

se ha observado en México (Berbegal *et al.*, 2013), lo que implica que era el supuesto centro de origen de *F. circinatum*, siendo también el centro de diversidad de *Pinus spp.* Estos supuestos dificultan su control, ya que debido a la gran heterogeneidad genética que se tiene dificulta la búsqueda de un control eficaz en base a agentes de control biológico, ya que hay cepas con mayor patogenicidad que otras (Fitza *et al.*, 2013).

La dificultad de controlar este hongo radica en las condiciones de humedad y temperatura, así como del sustrato por lo cual es posible que infecte semillas y estas no presenten síntomas, tal como se ha reportado para el caso de *Pinus patula* (Schl. et Cham) y *Pinus radiata* (D. Don) (Donoso *et al.*, 2015). También se han registrado ejemplares asintomáticos. sin embargo, es posible aislar el hongo (Serrano *et al.*, 2017). Por lo que, la posibilidad de dispersión del hongo a través de material infectado es un problema y un riesgo, para no sólo para las plantaciones en el estado de Veracruz, sino a cualquier zona forestal en la cual se estén produciendo estas especies de pinos.

El control fitosanitario en los viveros es fundamental para minimizar estos problemas y tener éxito en un esquema de manejo integrado, disminuir pérdidas económicas y lograr producir planta de calidad. Una de las prácticas más frecuentes es la aplicación de fungicidas de acción sistémica, sin embargo, el uso indiscriminado de estas sustancias puede provocar que el patógeno adquiera resistencia (Visser *et al.*, 2023). Por lo cual, se deben realizar estudios que conlleven a la búsqueda de alternativas de control, o bien a la rotación de ingredientes activos y/o dosis, para tener un control eficaz eficiente y, sobre todo, más amigable al medio ambiente.

Conclusiones

La presencia del patógeno *F. circinatum* es positivo en plántulas de los tres viveros forestales, es importante contener su dispersión y a así evitar que las nuevas plantaciones o las que ya estén establecidas en campo se sigan contaminando, por lo cual es necesario el monitoreo periódico de estos viveros, así como su esquema fitosanitario, para tener registrado los niveles de incidencia de este patógeno y analizar si este hongo es diseminado a través del sustrato o posiblemente sea introducido a los viveros a través de las semillas.

Literatura citada

- Berbegal, M., Pérez-Sierra, A., Armengol, J., y Grünwald, N. J. 2013. Evidence for multiple introductions and clonality in Spanish populations of *Fusarium circinatum*. *Phytopathology*, 103(8): 851-861.
- Bragança, H., Diogo, E., Moniz, F., y Amaro, P. 2009. First report of pitch canker on pines caused by *Fusarium circinatum* in Portugal. *Plant Disease*, 93(10): 1079-1079.
- Canelles, Q., Aquilué, N., James, P. M., Lawler, J., y Brotons, L. 2021. Global review on interactions between insect pests and other forest disturbances. *Landscape Ecology*, 36: 945-972.
- Cuello, E. M., Andorno, A. V., Hernández, C. M., Dell'Arciprete, V., y Botto, E. N. 2014. Primeros estudios sobre asociaciones tróficas de interés para la sanidad forestal en *Eucalyptus* spp. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 73(3-4): 183-186.
- Donoso, A., Rodríguez, V., Carrasco, A., Ahumada, R., Sanfuentes, E., y Valenzuela, S. 2015. Relative expression of seven candidate genes for pathogen resistance on *Pinus radiata* infected with *Fusarium circinatum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 92: 42-50.
- Drenkhan, R., Ganley, B., Martín-García, J., Vahalík, P., Adamson, K., Adamčíková, K., *et al.* 2020. Global geographic distribution and host range of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pine pitch canker. *Forests* 11(7): 724.
- Elvira-Recuenco, M., Cacciola, S. O., Sanz-Ros, A. V., Garbelotto, M., Aguayo, J., Solla, A., *et al.* 2019. Potential interactions between invasive *Fusarium circinatum* and other pine pathogens in Europe. *Forests* 11(1): 7.

- European Food Safety Authority (EFSA), Kinkar, M., y Vos, S. 2020. Pest survey card on *Fusarium circinatum*. EFSA Supporting Publications, 17(5): 1842E.
- Fitza, K. N., Payn, K. G., Steenkamp, E. T., Myburg, A. A., y Naidoo, S. 2013. Chitosan application improves resistance to *Fusarium circinatum* in *Pinus patula*. South African journal of botany 85: 70-78.
- Gally, T., Giachino, V., y Craig, E. 2016. Puntos críticos para la acreditación de ensayos en laboratorios de sanidad forestal. Avances en Investigación Agropecuaria 20(3); 33-41.
- García-Díaz, S. E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J. T., Valdovinos-Ponce, G., *et al.* 2017. Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. Agrociencia 51(8): 895-908.
- Iturrutxa, E., Ganley, R. J., Wright, J., Heppe, E., Steenkamp, E. T., Gordon, T. R., *et al.* 2011. A genetically homogenous population of *Fusarium circinatum* causes pitch canker of *Pinus radiata* in the Basque Country, Spain. Fungal Biology 115(3): 288-295.
- Mitchell, R. G., Coutinho, T. A., Steenkamp, E., Herbert, M., y Wingfield, M. J. 2012. Future outlook for *Pinus patula* in South Africa in the presence of the pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*). Southern Forests: a Journal of Forest Science 74(4): 203-210.
- Möykkynen, T., Capretti, P., y Pukkala, T. 2015. Modelling the potential spread of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pitch canker in Europe. Annals of Forest Science 72: 169-181.
- Serrano, Y., Iturrutxa, E., Elvira Recuenco, M., y Raposo, R. 2017. Survival of *Fusarium circinatum* in soil and *Pinus radiata* needle and branch segments. Plant Pathology 66(6): 934-940.

- Steenkamp, E. T., Rodas, C. A., Kvas, M., y Wingfield, M. J. 2012. *Fusarium circinatum* and pitch canker of *Pinus* Colombia. *Australasian Plant Pathology*, 41: 483-491.
- Vainio, E. J., Bezos, D., Bragança, H., Cleary, M., Fourie, G., Georgieva, M., *et al.* 2019. Sampling and detection strategies for the pine pitch canker (PPC) disease pathogen *Fusarium circinatum* in Europe. *Forests* 10(9): 723.
- Visser, E. A., Kampmann, T. P., Wegrzyn, J. L., y Naidoo, S. 2023. Multispecies comparison of host responses to *Fusarium circinatum* challenge in tropical pines show consistency in resistance mechanisms. *Plant, Cell & Environment* 46(5):1705-1725.
- Wingfield, M. J., Jacobs, A., Coutinho, T. A., Ahumada, R., y Wingfield, B. D. 2002. First report of the pitch canker fungus, *Fusarium circinatum*, on pines in Chile. *Plant pathology* 51(3); 397-397.

POTENCIALIDAD DE *Guadua aculeata* Rupr. ex E. Fourn PARA EL MERCADO DE BONOS DE CARBONO

Casimiro Ordóñez Prado^{306*}, Juan Carlos Tamarit Urias³⁰⁶, Martha Elena Fuentes López³⁰⁶
y Melchor Rodríguez Acosta³⁰⁷

Resumen

El mercado voluntario de carbono existe en México desde el 2013, esta es una política ambiental orientada a que las empresas conviertan su huella de carbono por la producción de bienes y servicios a carbono neutral. Es decir que la huella de carbono puede compensarse con la compra de bonos de carbono para neutralizar su impacto ambiental. Al respecto, los bosques naturales y plantaciones de bambú son una alternativa para compensar emisiones de gases de efecto invernadero, por su rápido crecimiento y su alto potencial de fijación de carbono. El objetivo fue estimar la producción de biomasa, cuantificar la captura de carbono en rodales naturales del bambú nativo *Guadua aculeata* Rupr. ex E. Fourn del Sitio Experimental "Las Margaritas" y estimar el valor económico ante un mercado voluntario de bonos de carbono. Se realizó un inventario forestal en rodales de *G. aculeata* localizados entre las coordenadas extremas 20° 02' 35" y 19° 58' 50" N y 95° 21' 27" y 97° 16' 40" O. Mediante un muestreo simple aleatorio, se distribuyeron 12 sitios de muestreo cuadrados de 100 m², donde se midió el diámetro normal (Dn) de cada individuo. Se estimó la biomasa de sus partes y total con ecuaciones aditivas y con factores de conversión de 46, 44 y 42% se obtuvo la concentración de carbono de culmo, ramas y follaje, respectivamente. Se determinó que en promedio, los rodales sustentan 263.14 Mg/ha de biomasa, distribuida en proporciones del 91, 5 y 4% para culmo, ramas y follaje, respectivamente. En cuanto al carbono, se estimaron 120.34 Mg/ha en promedio. A nivel predio, el inventario y almacén de carbono ascendió a 7,701.73 Mg en 64 ha de bambusales. Se determinó una captura de 23.72 Mg/ha de carbono por año, lo que equivale a mitigar 87.05 Mg/ha de CO_{2e} por año. Estos bonos de carbono tienen un valor de \$3,133.80 MXN considerando un costo promedio de US\$ 2.0 por Mg/ha de CO_{2e} por año. La captura de carbono anual de *G. aculeata* muestra el potencial de esta gramínea altamente lignificada para considerarse en el mercado voluntario de bonos de carbono.

Palabras clave: rodales de bambú, almacenes de carbono, biomasa base seca

³⁰⁶ Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP. *Autor de correspondencia: ordonez.casimiro@inifap.gob.mx

³⁰⁷ Campo Experimental Ixtacuaco, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP.

Introducción

En los últimos años se han observado cambios importantes en las condiciones climáticas en México, asociados principalmente al cambio climático global que es generado por el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). El incremento de la temperatura, el desfase en los regímenes de lluvias, presencia de eventos meteorológicos de manera repentina y de mayor intensidad son solo algunos de los efectos del cambio climático (Flores-Campaña *et al.*, 2012; Cuervo-Robayo *et al.*, 2020). Estos cambios en el ambiente son preocupantes y del más alto interés para los gobiernos, ya que afectan directamente a la producción agrícola, la ganadería y la conservación de los bosques (Gómez-Pineda *et al.*, 2020), así como a la sociedad. Para atender ese grave problema, las Naciones Unidas llevaron a cabo en 1997 la convención denominada Protocolo de Kioto que se basó en la Cumbre de Río de Janeiro de 1992, en la cual se abordó frontalmente el problema del cambio climático.

En la firma del protocolo, 192 países se comprometieron a adoptar políticas dirigidas a la reducción los GEI en 5.2% con respecto a los GEI generados en 1990. Posteriormente, se conformó un Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés); también se han realizado cumbres internacionales para dar seguimiento a los compromisos adquiridos por los países.

En 2015, se firman los acuerdos de París, en estos se establecen objetivos concretos y realistas sobre cómo lograr la disminución y mitigación de los GEI. Al respecto, México ha establecido diversas metas y acciones de mitigación y compensación de GEI como: a) alcanzar en el 2030 la tasa cero de deforestación; b) reforestar las cuencas altas, medias y bajas con especies nativas; c) incrementar la conectividad ecológica y la captura de carbono mediante la conservación y restauración; d) aumentar la captura de carbono y la protección de costas a partir de la conservación de ecosistemas costeros; e) Implementar sinergias de acciones REDD+ (*Reducing emissions from deforestation and forest degradation*) y f) garantizar la gestión integral del agua en sus diferentes usos (agrícola, ecológico, urbano, industrial, doméstico).

Ante este panorama, los bosques de bambú pueden ofrecer un amplio número de servicios ambientales, ya sea como especie nativa o introducida de otras regiones geográficas, brindando de manera directa o indirecta beneficios tangibles e intangibles a la población

humana local o regional (Ordóñez-Prado *et al.*, 2024). Entre las funciones ecológicas de los bambusales resalta su rápido crecimiento, recuperación de suelo, mantenimiento y recarga de cuerpos de agua y secuestro de carbono (Ceccon y Gómez-Ruiz, 2019; Ordóñez-Prado *et al.*, 2023). La investigación en el contexto nacional e internacional sobre los almacenes de carbono de los bambúes se mantiene vigente, dado que para establecer estrategias de mitigación del cambio climático se requiere de información básica sobre especies de rápido crecimiento con alto potencial de captura de carbono.

Estudios sobre este tópico citan que los bosques naturales y plantaciones de bambú catalogadas como gigantes son capaces de producir una cantidad de biomasa similar a la que producen plantaciones tropicales de latifoliadas, la cual llega a ser hasta de 429 Mg/ha (Ziccardi *et al.*, 2019). Darabant *et al.* (2014) documentan una producción 307 Mg/ha de biomasa aérea total en plantaciones de bambú establecidas en la India. La captura de carbono está muy ligada con la producción de biomasa; en tanto que, el reservorio de la biomasa aérea en plantaciones de bambú altamente densas puede superar 128 Mg/ha, y alcanzar 392 Mg/ha, si se consideran la necromasa y las raíces (Yuen *et al.*, 2017); mientras que, para taxones de bambúes en bosques naturales del continente americano, las estimaciones de biomasa podrían ser menores (Ziccardi *et al.*, 2019).

Muchas especies de bambú son reconocidas por su potencial para capturar carbono (Yuen *et al.*, 2017); su rápido crecimiento y la producción continua de brotes propicia una alta dinámica en los diferentes almacenes de carbono (Liu *et al.*, 2018). El género *Guadua*, considerado como bambú gigante, alcanza dimensiones superiores a 20 m en altura y diámetros normales mayores a 10 cm (Clark y Ely, 2011); asimismo, es frecuente que se desarrolle de manera natural en los márgenes de ríos y arroyos como plantas aisladas o en pequeños rodales. *Guadua aculeata* Rupr. ex E. Fourn. (carrizo, caña brava) es la especie nativa más robusta de México; en rodales naturales ubicados en el municipio de Hueytamalco, Puebla se han registrado ejemplares de hasta 30 m de altura y diámetros de 18 cm; sin embargo, se ha observado que ese tipo de rodales es escaso.

Adicional a los beneficios ecológicos como la mitigación de gases de efecto invernadero, los bosques naturales y plantaciones forestales tienen potencial para la obtención de beneficios económicos como los mercados de bonos de carbono; los cuales dentro del Protocolo de Kioto se proponen entorno a la compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero. En

este sentido, Pizarro (2021) menciona que los bonos de carbono se han convertido en una alternativa con dos posibilidades o beneficios para los países que los implementan. La primera, corresponde a la obtención de recursos económicos por la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera, y la segunda busca un aporte a la conservación de los recursos naturales y las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de la vida en el Planeta. Para que las plantaciones y bosques naturales de bambú puedan considerarse en los mercados de carbono, se requieren investigaciones que soporten el crecimiento, producción de biomasa, captura de carbono, silvicultura y la generación de productos de bambú de ciclos de vida largo, los cuales resguarden el carbono durante un largo tiempo (Kaam *et al.*, 2023; Ordóñez-Prado *et al.*, 2024).

A nivel nacional, Puebla es pionero en el cultivo del bambú, se han establecido diversas plantaciones con fines comerciales y de restauración en la Sierra Norte y nororiental del estado. Se han registrado superficies importantes de especies de bambú nativas, sobre todo del género *Guadua* (Ordóñez-Prado *et al.*, 2023). Este género, además de tener importancia ecológica, también tiene relevancia económica y social. En esa región tropical de Puebla, *Guadua aculeata* es utilizada en construcciones de viviendas locales, la producción de muebles artesanales, cercas y tutores de cultivos agrícolas (Hernández-Santiago y Torres-Hoyos, 2020). Sus diversos usos se deben, principalmente, a su distribución natural en la región, así como a las dimensiones en diámetro y altura que alcanza; además, sus propiedades físico-mecánicas la hacen ideal para la construcción (Ordóñez-Candelaria *et al.*, 2014). Aunque los bambúes son importantes en diversas regiones del país, los estudios del potencial de captura de carbono son escasos, por lo que se requiere generar información sobre el particular y el almacenamiento de carbono para ser propuestos como alternativa en los mercados de bonos de carbono.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar la producción de biomasa, cuantificar la captura de carbono en rodales naturales de *G. aculeata* en la región de Hueytamalco, Puebla, México, y estimar el valor económico ante un mercado voluntario de bonos de carbono.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en los rodales naturales de bambú *G. aculeata* del Sitio Experimental “Las Margaritas” (SEMAR), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Hueytamalco, Puebla, México, entre las coordenadas extremas 20° 02' 35" y 19° 58' 50" N y 95° 21' 27" y 97° 16' 40" O, en un intervalo altitudinal de 450 a 500 m. Con 2,523 ha, el SEMAR es una de las áreas mejor conservadas de la región, compuesta principalmente por especies representativas de la selva mediana perennifolia; su orografía de pequeños lomeríos y su precipitación de 3,000 mm anuales propician una abundante red hídrica; condiciones idóneas para el crecimiento de *G. aculeata* (Figura 1).



Figura 1. Distribución de rodales de bambú en el Sitio Experimental Las Margaritas, Puebla, México.

Datos de campo

Se realizó una zonificación de la distribución de los rodales de *G. aculeata* con el apoyo de una imagen de satélite (image©2019 Maxar technologies) del servidor en línea Google earth®;

verificados mediante recorridos de campo, en total se detectaron 39 áreas naturales cubiertas por el bambú de interés. La cobertura de estos rodales se distribuyó en un intervalo de 0.5 a 4 ha (Figura 1). Con base en esta zonificación, se diseñó un muestreo aleatorio para establecer 12 parcelas cuadradas de 10 x 10 m, donde a cada culmo de bambú se le midió el diámetro normal (Dn) a 1.3 m sobre el nivel del suelo (Figura 2).



Figura 2. Rodal natural y parcela de *Guadua aculeta* y trabajo de campo efectuado para la cuantificación de biomasa aérea base seca y carbono en Hueytamalco, Puebla, México.

Con el Dn se estimó la biomasa aérea base seca total por individuo; para ello, se utilizaron las ecuaciones aditivas propuestas por Ordóñez-Prado *et al.* (2024), cuya estructura matemática y parámetros se muestran en las ecuaciones 1 a 4. Posteriormente, la biomasa estimada por componente estructural de cada bambú fue multiplicada por la concentración de carbono: 46, 44 y 42% para culmos, ramas y follaje, respectivamente; con ello se obtuvo el carbono almacenado escalado a nivel de hectárea.

$B_c = \exp(-2.44613) Dn^{2.446172}$	$(R_{adj}^2 = 0.93, RCME = 4.2849)$	1
$B_r = \exp(-5.4065) Dn^{2.494163}$	$(R_{adj}^2 = 0.63, RCME = 0.7115)$	2
$B_f = \exp(-8.82811) Dn^{3.7639121}$	$(R_{adj}^2 = 0.42, RCME = 0.9904)$	3
$B_T = Y_c + Y_r + Y_f$		4

Donde B_c , B_r , B_f y B_T corresponden a la biomasa base seca estimada del culmo, ramas, follaje y biomasa aérea total, respectivamente.

Análisis estadístico

Se realizó un inventario forestal de biomasa y carbono de los bambusales del área de estudio a través de los estimadores del muestreo simple al azar (Tamarit-Urias *et al.*, 2021). Se estimó el promedio de biomasa por hectárea, la desviación estándar e intervalos de confianza de 95% de confiabilidad, así como el error de muestreo. El inventario de biomasa se hizo para una superficie de 64 ha del taxón de bambú estudiado. Para el inventario de carbono, se multiplicó la biomasa de cada componente estructural del bambú por la respectiva proporción del carbono fijado, expresado en Mg/ha.

Valor del carbono almacenado

La producción de biomasa anual de bambú para rodales maduros con producción de culmos comerciales se estimó utilizando siete culmos con un diámetro promedio de 10 cm. Esto asume el supuesto de que, para la especie cada año en promedio, se tiene una producción de siete culmos por cepa o macollo de bambú, y el diámetro normal promedio es de 10 cm. Se consideró una densidad de 280 plantas/cepas de bambú por hectárea. En particular, con base en Nforinkah *et al.* (2021), para estimar la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) por hectárea que fija una especie de bambú, se debe aplicar la siguiente relación:

$$CO_{2e} = BAT \cdot CC \cdot FP$$

Donde BAT es la biomasa aérea total, CC es la proporción de contenido de carbono en la BAT y FP es el factor de proporcionalidad que toma el valor de 3.67.

Después de estimado el CO_{2e} almacenado por el bambú anualmente, se calculó el valor económico, con base en el informe del World Bank Group (2024), el cual indica que el intervalo del precio está entre US\$0.46 a US\$16 ($Mg \cdot CO_{2e}$). Para México, se estima un valor <US\$20 (Figura 3). En función de esa información, para fines de la presente investigación, se estableció un precio conservador de US\$2 (\$36 MXN al tipo de cambio) por tonelada de CO_{2e} .

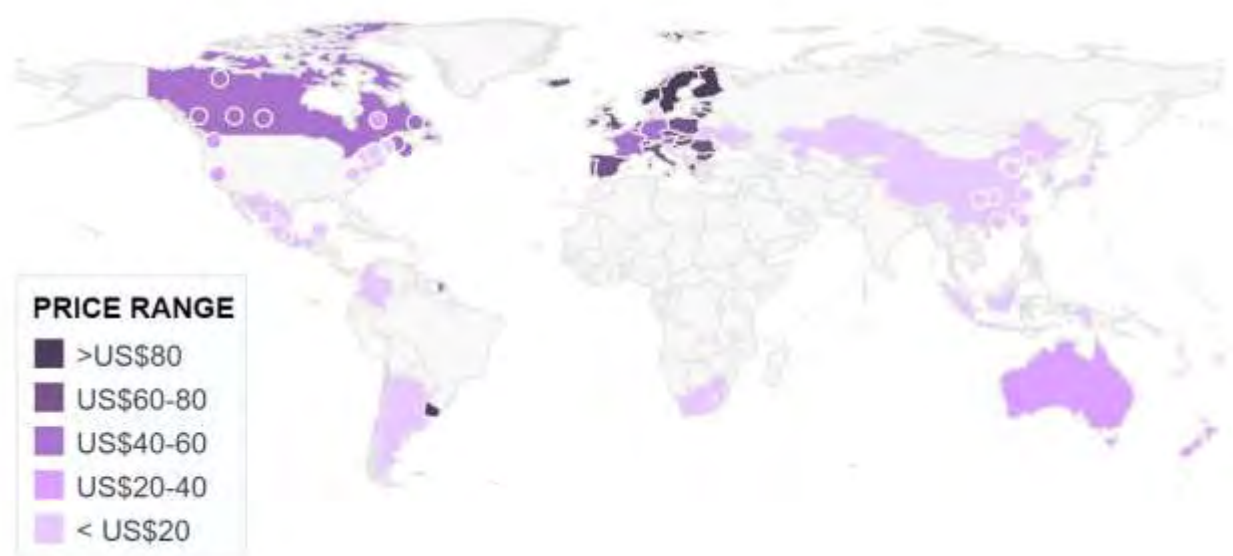


Figura 2. Precio del carbono alrededor del mundo para 2024 (World Bank Group, 2024).

Resultados y discusión

Carbono almacenado en bambusales

Se determinó que los rodales naturales de *Guadua aculeata* acumulan en promedio 263.14 ± 10.13 Mg/ha de biomasa aérea total; con 91%, los culmos son el componente estructural del bambú que más biomasa almacena, mientras que a las ramas les corresponde 5% y el restante 4% se encuentra en el follaje. En el Cuadro 1 se muestran los reservorios de carbono por unidad de superficie de los componentes estructurales: culmo, ramas y follaje. Los resultados obtenidos son superiores a los consignados para plantaciones comerciales de *Bambusa oldhamii* Munro y *G. angustifolia* Kunth, establecidas en la misma región de estudio (Aguirre-Cadena *et al.*, 2018); lo que evidencia que los rodales de *G. aculeata* se localizan en zonas con características fisiográficas idóneas para su desarrollo. También, los resultados son superiores a los señalados por López-Martell *et al.* (2008), quienes registran un promedio de 70.9 Mg/ha en *B. vulgaris* Schrader ex Wendland en la provincia de Granma, Cuba.

En cuanto al carbono almacenado, se obtuvo un promedio de 120.34 ± 6.81 Mg/ha en la biomasa aérea, las proporciones por componente estructural son similares a la distribución de

la biomasa. En el Cuadro 1 se presentan los valores promedios de carbono almacenado en los componentes estructurales de culmos. Las estimaciones del contenido de carbono conducen a reafirmar el alto potencial que tienen los bosques de bambú para capturar y almacenar carbono, aunque la fijación de carbono es ligeramente menor que en las especies arbóreas, su rápido crecimiento y producción constante son una fortaleza que poseen estos ecosistemas para la captura de carbono. Los resultados son menores a los indicados por Fonseca-González y Rojas (2016) para plantaciones de *Dendrocalamus latiflorus* Munro determinaron 186.73 Mg/ha, mientras que para plantaciones de *G. angustifolia* Kunth y *G. aculeata* registraron 117.74 Mg/ha, valor menor al determinado en el presente estudio. También, son similares a lo consignado por García-Soria y Del Castillo (2015), quienes para bosques naturales de *G. sarcocarpa* Londoño & Peterson en Perú registraron un almacenamiento de carbono de 121.86 Mg/ha.

Cuadro 1. Biomasa y carbono almacenado en bambusales naturales de *Guadua aculeata* Rupr. en Hueytamalco, Puebla, México.

Componente	Biomasa base seca (Mg/ha)	Inventario de biomasa total en el predio (Mg)	Contenido de carbono (Mg/ha)	Inventario de carbono total en el predio (Mg)
Culmo	238.57±8.92	15,268.41±570.72	109.74±6.05	7,023.47±387.08
Ramas	13.91±2.15	890.15±137.80	6.12±1.43	391.66±91.41
Follaje	10.66±1.89	682.38±120.65	4.48±1.22	286.60±78.19
Total	263.14±10.13	16,840.94±61.87	120.34±6.81	7,701.73±435.78

Valor del carbono almacenado por los bambusales

Se estimó que la captura de carbono en la biomasa aérea de los bambusales estudiados fue de aproximadamente 23.72 Mg/ha de carbono por año. Lo que equivale a la mitigación de 87.05 Mg/ha de CO_{2e} por año. Lo anterior, significa que cada hectárea cubierta con bambú está generando 87 bonos/créditos de carbono por año, los cuales tienen un valor de \$3,133.8 MXN, si se considera un costo promedio de US\$ 2.0 por Mg/ha de CO_{2e} por año. Al estimar una mitigación promedio de 87.05 Mg/ha de CO_{2e}, implica un valor anual de \$ 200,448.00 MXN

por concepto de captura de CO_{2e} en bambusales de *G. aculeata* que crecen de manera natural en el predio y Sitio Experimental “Las Margaritas”.

Los resultados son conservadores respecto a lo citado por Pathak *et al.* (2015), quienes estiman una producción de culmos de 11 a 20 por cepa de bambú por año. Con una densidad de 124 cepas por hectárea, y la producción de biomasa puede alcanzar 104.7 Mg/ha al año (Cuadro 2).

Cuadro 2. Potencial de acumulación de biomasa en diferentes especies de bambú.

Especie	Culmos producidos por Cepa por año	Cepas por ha	Biomasa total producida Mg·ha ⁻¹
<i>Bamboosa tulda</i>	15	124	70.4
<i>Bamboosa bambos</i>	15	124	75.69
<i>Bamboosa nutan</i>	15	124	41.82
<i>Bamboosa asper</i>	20	124	7.12
<i>Dendrocalamus strictus</i>	11	124	12.94
<i>Bamboosa vulgaris</i>	12	124	53.42
<i>Bamboosa balcooa</i>	15	124	104.7

La captura de carbono anual de *G. aculeata* muestra el potencial de esta gramínea altamente lignificada para ser considerada en mercados voluntarios de bonos de carbono. Lo que permitiría a las empresas convertir sus servicios y productos en carbono neutral, a través de la adquisición de bonos de carbono provenientes de bosques naturales o plantaciones de bambú; ya que un bono de carbono equivale a 1 Mg de CO_{2e}. Además, de ser una fuente de ingresos para las familias de comunidades rurales, que les permita mejorar su calidad de vida. Al respecto, Pan *et al.* (2023) y Kaam *et al.* (2023) mencionan que el papel del bambú en la mitigación del cambio climático es en tres dimensiones: como sumidero de carbono en forma de biomasa, como almacenamiento de carbono en productos de bambú, y como contribuyente a los créditos de proyectos de carbono. Sin embargo, en las especies de bambú como muchas otros taxa forestales, su incorporación a los mercados de bonos de carbono está restringida por la ausencia de metodologías aceptadas internacionalmente para la cuantificación precisa

de los reservorios de carbono, y el debate sobre si el bambú debe ser considerado como una especie de árbol o como un pasto gigante muy lignificado (como actualmente se reconoce) (Wu *et al.*, 2015).

El potencial de la captura anual de carbono estimado en el presente estudio indica que *Guadua aculeata* es factible para establecer proyectos ecológicos prometedores como una estrategia y solución basada en la naturaleza (SbN).

Conclusiones

El inventario de biomasa de los bosques con *G. aculeata* permitió cuantificar la cantidad de carbono y CO_{2e} almacenado en este tipo de ecosistema poco estudiado. La investigación provee información básica sobre el potencial para almacenar carbono de esta especie de rápido crecimiento. Se cuantificaron 7,701.73 Mg de carbono almacenado en los rodales naturales de bambú, cantidad que permite colocar al bambusal a la par de otros ecosistemas como los bosques templados, por lo que representa una alternativa que puede contribuir a mitigar los efectos del cambio climático. El potencial de la captura anual de carbono y la fijación de CO_{2e} estimados indican que *Guadua aculeata* es factible para establecer proyectos ambientales prometedores como solución basada en la naturaleza (SbN) y así generar ingreso adicional a los productores de bambú.

Literatura citada

Aguirre-Cadena, J. F., B. Ramírez-Valverde, J. Cadena-Iñiguez, J. P. Juárez-Sánchez, L. Caso-Barrera y D. Martínez-Carrera. 2018. Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. Revista de Biología Tropical 66(4):1701-1708.

- Ceccon, E. y P. A. Gómez-Ruiz. 2019. Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas. *Revista de Biología Tropical* 67(4):679-691.
- Clark, L. y F. Ely. 2011. Géneros de bambúes leñosos (Poaceae: Bambusoideae: Arundinarieae, Bambuseae) de Venezuela. *Acta Botánica Venezolánica* 34(1):79-103.
- Cuervo-Robayo, A., P. Ureta, C. Gómez-Albores, M. A. Meneses-Mosquera, A. K. Téllez-Valdés and E. Martínez-Meyer. 2020. One hundred years of climate change in Mexico. *Plos one* 15(7):e0209808.
- Darabant, A., M. Haruthaithanasan, W. Atkla, T. Phudphong, E. Thanavat and K. Haruthaithanasan. 2014. Bamboo biomass yield and feedstock characteristics of energy plantations in Thailand. *Energy Procedia* 59:134-141.
- Flores-Campaña, L. M., J. F. Arzola-González, M. Ramírez-Soto y A. Osorio-Pérez. 2012. Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(1):115-129.
- Fonseca-González, W. y M. Rojas V. 2016. Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambiente y Desarrollo* 20(38):85-98.
- García-Soria, D. y D. Del Castillo-Torres. 2015. Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa Bufo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica* 22(2):105-103.
- Gómez-Pineda, E., C. Sáenz-Romero, J. M. Ortega-Rodríguez, A. Blanco-García, X. Madrigal-Sánchez, R. Lindig-Cisneros *et al.* 2020. Suitable climatic habitat changes for Mexican conifers along altitudinal gradients under climatic change scenarios. *Ecological Applications*, 30(2):e02041.

- Hernández-Santiago, A. y D. Torres-Hoyos. 2020. Sistema constructivo con *Guadua aculeata* para la producción social de la vivienda. Rev Ciencia 22 (1): 57-71.
- Kaam, R., B. N. Nfornekah, C. D. Chimi, J. A. Nguefack, M. Tchamba and L. Zapfack. 2023. Bamboo biomass: a strategy for climate change mitigation and adaptation, and Forest landscape restoration (FLR) in Cameroon. p 397-428. *In*: Palombini F. L. and Nogueira F. M. (eds). Bamboo Science and Technology. Singapore. Springer Nature Singapore.
- Liu, Y., G. Zhou, H. Du, F. Berninger, F. Mao, X. Li, *et al.* 2018. Response of carbon uptake to abiotic and biotic drivers in an intensively managed Lei bamboo forest. Journal of Environmental Management 223:713-722.
- López-Martell, A. 2018. Rendimiento de biomasa de *Bambusa vulgaris* y su relación con la protección de los suelos en la provincia de Granma, Cuba. Zootecnia Tropical 26(3):275-277.
- Nfornekah, B. N., Kaam, R., Martin, T., Louis, Z., Cedric, C. D., Forje, G. W., *et al.* 2021. Culm allometry and carbon storage capacity of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex JC Wendl. in the tropical evergreen rain forest of Cameroon. Journal of Sustainable Forestry, 40(6), 622-638
- Ordóñez-Candelaria, V. R. y G. M. Bárcenas-Pazos. 2014. Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). Madera y bosques, 20(2):111-125.
- Ordóñez-Prado, C., J. C. Tamarit-Urías, A. Nava-Nava and M. Rodríguez-Acosta. 2024. Additive equations system to estimate aboveground biomass by structural component and total of three giant Bamboo species in Mexico. CERNE 30: e-103267.

- Ordóñez-Prado, C., A. Nava-Nava, J. C. Tamarit-Urias y P. Hernández-Zaragoza. 2023. Ecuaciones para estimar la altura total de culmos comerciales en tres especies de bambú. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(3): e3696.
- Ordóñez-Prado, C., J. C. Tamarit-Urias, A. Nava-Nava, M. Rodríguez-Acosta and M. E. Fuentes-López. 2023. Mathematical system based on taper functions for distribution by structural product of culms in three giant bamboo taxa. *Forest systems*, 32(2): e010.
- Pan, C., G. Zhou, A. K. Shrestha, J. Chen, R. Kozak, N. Li *et al.* 2023. Bamboo as a Nature-Based Solution (NbS) for Climate Change Mitigation: Biomass, Products, and Carbon Credits. *Climate*, 11(9)175.
- Pathak, P. K., H. Kumar, G. Kumari and H. Bilyaminu. 2015. Biomass production potential in different species of bamboo in Central Uttar Pradesh. *The Ecoscan*, 10(1):41-43.
- Pizarro, R., 2021. Sistemas de instrumentos de fijación de precios del carbono en América Latina y jurisdicciones de las Américas relevantes. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/41).
- Tamarit-Urias, J. C., H. M. De los Santos-Posadas, A. Aldrete, J. R. Valdez-Lazalde, H. Ramírez-Maldonado y V. Guerra-de la Cruz. 2021. Estrategia de muestreo óptima para la planeación del inventario maderable en plantaciones comerciales de *Tectona grandis* Lf. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68):58-80.
- World Bank Group 2024. State and Trends of Carbon Pricing Dashboard. [Shttps://carbonpricingdashboard.worldbank.org/compliance/Price](https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/compliance/Price)
- Wu, W., Q. Liu, Z. Zhu and Y. Shen. 2015. Managing bamboo for carbon sequestration, bamboo stem and bamboo shoots. *Small-scale Forestry*, 14:233-243.

- Yuen, J. Q., T. Fung and A. D. Ziegler. 2017. Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management* 393:113-138.
- Ziccardi, L. G., P. M. L. de Alencastro Graça, E. O. Figueiredo and P. M. Fearnside. 2019. Decline of large-diameter trees in a bamboo-dominated forest following anthropogenic disturbances in southwestern Amazonia. *Annals of Forest Science*, 76(110):1-13.

EFFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES ACUOSOS Y PRODUCTO QUÍMICO (RAIZAL) EN EL CRECIMIENTO DE *Pinus pseudostrobus*

Luis Alfonso Pérez Acosta³⁰⁸, Karen Daniela González González³⁰⁸, Alexandra Durán Mejía³⁰⁸, Osmara Atenas Castro Blas³⁰⁸, Jesús Rafael Roque García³⁰⁸, Marcos Adán Vela Hernández³⁰⁸ y Alejandro Quirino Villarreal^{308*}

Resumen

La producción de plántulas forestales es un proceso tardado, que depende de la interacción de factores externos como la luz, nutrientes, agua y temperatura, pero también, de algunos internos como las auxinas, que se encargan de la elongación celular y el desarrollo vegetativo. Algunos vegetales tienen un alto contenido de hormonas que pueden favorecer el desarrollo de plantas o microorganismos. El objetivo fue evaluar el efecto de extractos vegetales acuosos de sábila (*Aloe vera*), lenteja (*Lens culinaris*), canela (*Cinnamomum verum*) y un producto químico (raizal) en el crecimiento de plántulas de *P. pseudostrobus*. Se realizaron extractos a base de agua y se aplicaron en concentraciones de 50 y 100%, incluyendo un testigo. Se estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar, en los cuales se utilizaron 50 plántulas de *P. pseudostrobus* por tratamiento, cabe resaltar que la edad de las plántulas en la etapa inicial era de tres meses. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, longitud de raíz y supervivencia, las cuales se analizaron mediante estadísticos descriptivos y análisis de varianza. Los resultados mostraron que el extracto de sábila a una concentración del 100% tuvo un mayor efecto en el crecimiento de las plántulas con una altura promedio de 4.5 cm, igualando el crecimiento del producto químico, por otro lado, los extractos de canela y lenteja tuvieron un menor efecto, aunque superaron las alturas del testigo. Las longitudes de raíces con mayor crecimiento fueron el de sábila con un promedio de 2.5 cm seguido del de canela y lenteja con 2.4 y 2.2 cm, respectivamente, y por último el químico con 2.1 cm. El mayor porcentaje de supervivencia se obtuvo en las plántulas tratadas con canela (70% a 75%) seguido de sábila (68% a 72%), el químico (70% a 67%) y lenteja (65%). Se evidencio que el empleo de extracto de sábila y raizal pueden favorecer el crecimiento de la raíz, la parte aérea y disminuir la mortalidad en plántulas de *P. pseudostrobus*.

Palabras clave: extractos de sábila, lenteja y canela, supervivencia, plántulas

³⁰⁸ Facultad de Ciencias Agrícolas- Xalapa, Universidad Veracruzana, Circuito Aguirre Beltrán, s/n, Zona Universitaria, C. P. 91000.Xalapa Veracruz, *Autor por correspondencia: quirino@uv.mx

Introducción

Los bosques son ecosistemas cruciales para la salud del planeta, proporcionan servicios esenciales como la purificación del aire y el agua, la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, la deforestación y la degradación forestal amenazan sus funciones vitales (Rojas, 2018; Rojas, 2023). En este contexto, la reforestación y la silvicultura sostenible son fundamentales para restaurar los bosques degradados y promover la conservación. En este sentido, el uso de extractos vegetales acuosos (EVAs) como promotores del crecimiento de plantas forestales ha despertado un gran interés en los últimos años (Pulido, 2014).

Para dar solución a ello existe la producción de plántulas forestales, pero es un proceso tardado y depende de la interacción de factores externos (luz, nutrientes, agua y temperatura) e internos (hormonas) principalmente de auxinas que se encargan de la elongación celular y el desarrollo vegetativo (Varela y Basil, 2011). Además de ser parte fundamental en los ciclos de producción y distribución del agua, purifican el aire que respiramos al capturar bióxido de carbono y liberar oxígeno. También regulan la temperatura y la humedad, con lo que se equilibra el clima; proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos; y son fuente de materia prima en muchas actividades humanas (SEMARNAT, 2018).

Hoy en día los bosques que se han visto perturbados por diferentes causas antrópicas (incendios, tala, cambio de uso de suelo, pastoreo) y naturales (heladas, sequías), las últimas causales mencionadas tienen que ver con la calidad de la planta donde influye las características (morfo-fisiológicas) que son; crecimiento, desarrollo, supervivencia, desarrollo en sitio (Escobar, 2019). En este sentido, el uso de EVAs como promotores del crecimiento de plantas forestales ha despertado un gran interés en los últimos años (Pulido, 2014).

Los EVAs pueden influir en el crecimiento de las plantas forestales de diversas maneras, como en la estimulación de la germinación, promoción del crecimiento radicular, mejora del crecimiento foliar y resistencia al estrés (Chuquizuta y Rodríguez, 2020). Numerosos estudios científicos han demostrado los efectos positivos de los EVAs en el crecimiento de diversas especies forestales. Por ejemplo, se ha observado que los EVAs de aloe vera, neem y moringa pueden aumentar la tasa de germinación, el crecimiento radicular y el desarrollo foliar de

plántulas de pino, eucalipto y otras especies de interés forestal (Farias *et al.*, 2019; García, *et al.*, 2020; Tucuch *et al.*, 2021; Yuniati, *et al.*, 2022).

Estos factores han desencadenado en el cambio climático, por ello se requiere implementar acciones que contrarresten como la reforestación con planta de calidad producida en vivero y a campo abierto, por ello innovar en los lugares de producción para cumplir la demanda solicitada. Por ello en el presente trabajo busca ofrecer una alternativa con productos vegetales como la sábila (*Aloe vera*), lenteja (*Lens culinaris*), canela (*Cinnamomum verum*), especies ricas en auxinas que sirven como promotores de crecimiento, desarrollo y supervivencia de las plantas de pino.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana Región Xalapa.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se evaluaron plántulas de *P. pseudostrobus* en condiciones de vivero bajo malla sombra; la plántula contaba con tres meses de edad sembradas en bolsas individuales de polietileno con un sustrato de tierra negra, el riego se realizó cada 15 días y junto con este se aplicaban los respectivos tratamientos para cada muestra. Las arvenses se controlaron de forma manual cada 15 días para evitar posibles competencias. No se aplicaron insecticidas, fungicidas, y fertilización, sólo se aplicaron los distintos extractos vegetales acuosos correspondientes.

Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental por bloques completamente al azar, con siete tratamientos y 25 individuos por tratamiento.

Los tratamientos consistieron en soluciones acuosas en concentración del 100 y 50%, se usó el extracto puro como el 100% y para la solución del 50% en proporciones iguales con agua destilada. Los tratamientos fueron: extracto de canela al 100%, extracto de canela al 50%,

extracto de sábila al 100%, extracto de sábila al 50%, extracto de lenteja al 100%, extracto de lenteja al 50%. El producto químico fue el “Raizal” (50% y 100%), y, por último, los testigos. Para cada tratamiento se utilizaron 25 plantas, la cuales fueron distribuidas en bloques aleatorios.

Muestreos

Se realizaron cada 15 días midiendo las variables de cada bloque los cuales se escogió 14 plantas al azar de las cuales se repartieron entre las dos soluciones de 50 y 100%. Se midió la altura de la planta, la raíz, y el porcentaje de supervivencia.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron la altura total de la planta, la cual se midió con un flexómetro de la base de la planta hasta el ápice. Para el crecimiento radicular, se midieron las longitudes de las raíces de plántulas tratadas, las cuales se seleccionaron al azar para ser extraídas y medidas con una regla de la base de la planta hasta la punta de la raíz.

Después de aplicar tratamientos de extractos vegetales acuosos y el producto químico Raizal en plantas de *Pinus pseudostrobus*, se pudo monitorear el porcentaje de plantas que sobrevivieron durante el período de tres meses.

Análisis estadístico

Los análisis aplicados a la variable altura fueron gráficos de barras para representar el crecimiento en el tiempo. Para la longitud de raíz se realizaron estadísticos descriptivos. La sobrevivencia fue determinada en base a la relación entre el número de plantas establecidas y el número de plantas vivas encontrada al momento de la medición

Resultados y discusión

Los resultados demuestran que los promedios más altos para la variable altura fueron obtenidos en la concentración del 100% con el extracto de sábila y el producto químico (Raizal), en contraste los extractos de lenteja y canela a una concentración de 50% se observar

promedios superiores a los obtenidos a la concentración del 100%. Dando pauta a que la concentración del extracto pueda tener un efecto en el crecimiento de la planta. El raizal y la canela a concentración de 50% se observó un crecimiento inferior en comparación con la concentración del 100% pero aun así superior en comparación de los demás extractos a una concentración del 50% (cuadro 1).

Cuadro 1. Promedios de las alturas que presentaron las plántulas de *P. pseudostrobus* por tratamiento y a diferente concentración durante tres meses.

Extracto		Lenteja	Sábila	Canela	Raizal	Testigo
Concentración 100%	Tiempo 1	3.25 cm	4.19 cm	3.63 cm	4.50 cm	2.63 cm
	Tiempo 2	4.25 cm	4.38 cm	5.13 cm	4.56 cm	3.31 cm
	Tiempo 3	3.98 cm	4.68 cm	4.14 cm	4.80 cm	4.06 cm
Concentración 50%	Tiempo 1	3.25 cm	4.06 cm	3.50 cm	3.44 cm	2.63 cm
	Tiempo 2	4.00 cm	4.38 cm	4.00 cm	3.44 cm	3.31 cm
	Tiempo 3	4.03 cm	4.36 cm	4.35 cm	4.04 cm	4.06 cm

Durante los meses de evaluación la mayor influencia en el crecimiento de la variable “altura” fueron el extracto de sábila y el producto químico (Raizal) ya que en ambas concentraciones el crecimiento de las plántulas es superior en comparación con los demás tratamientos. Esto concuerda con lo mencionado por Farias *et al.* (2019); García, *et al.* (2020); Tucuch *et al.* (2021) y Yuniati, *et al.* (2022), quienes han evaluado esta misma característica en tres especies forestales y han observado el incremento de la variable al momento de la aplicación de los extractos vegetales.

También esto concuerda con lo mencionado por Varela y Basil (2011), donde mencionan que los extractos aplicados están fungiendo como promotores de crecimiento, aportando principalmente auxinas a las plántulas de *P. pseudostrobus* ya que si se compara con el testigo al cual no se le aplicó nada los incrementos son menores en comparación con los otros tratamientos (cuadro 1).

Los porcentajes mayores de supervivencia se obtuvieron donde se aplicaron concentraciones del 100%, destacando principalmente el producto químico (Raizal), seguido de sábila y canela y el que menor sobrevivencia a esta concentración tuvo fue la lenteja en un porcentaje similar

al testigo. En la concentración a 50% tanto el producto químico (Raizal) como la sábila y canela se obtuvieron porcentajes similares, tanto el extracto de lenteja fue el más bajo aún en comparación con el testigo esto por la muerte lenta de las plántulas provocada por la presencia de hongos debido a la fermentación que propicia la lenteja, afectando su desarrollo (Fig. 1).

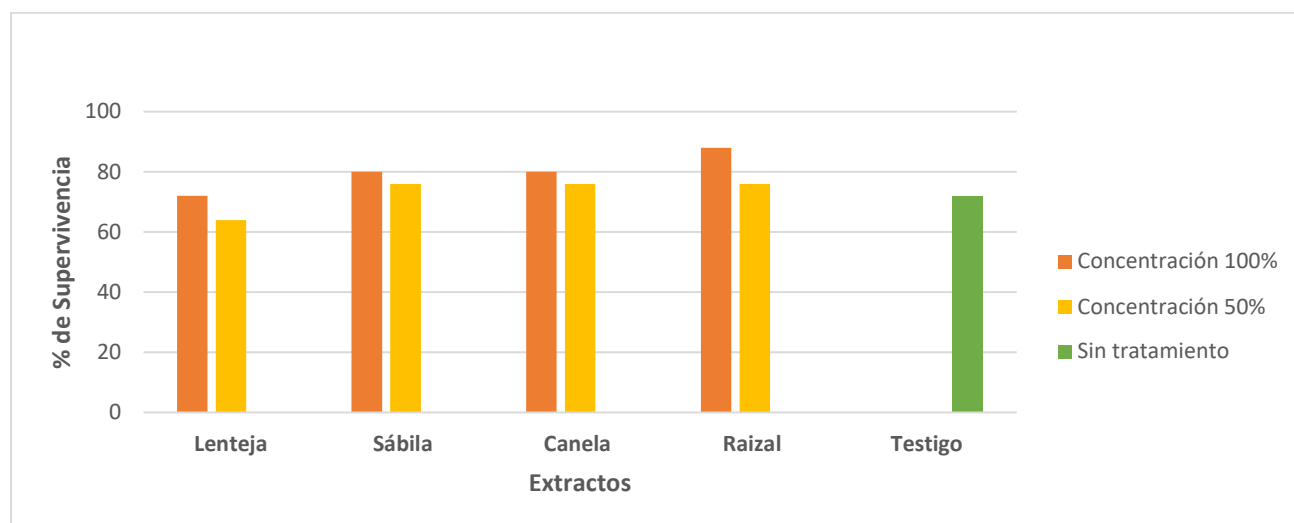


Figura 1. Porcentajes de supervivencia de las plántulas de *P. pseudostrobus* en las dos concentraciones de los diferentes extractos y producto comercial.

Realizando un balance general se estaría demostrando que los extractos vegetales ejercen efecto beneficioso sobre la supervivencia de las plantas forestales, se presentó mejor supervivencia en las plántulas tratadas con extractos vegetales, porque se presentó mejor supervivencia en las plántulas tratadas con extractos vegetales, porque generan un mejor desarrollo radicular, lo que ayuda al proceso de la fotosíntesis, la inducción de resistencia al estrés y mejora la calidad del suelo (Senillani *et al.*, 2023). Esto porque pueden existir algunos compuestos bioactivos presentes en los extractos vegetales, como las vitaminas y los minerales, que pueden contribuir a aumentar la eficiencia fotosintética de las plantas y por ende una mayor eficiencia fotosintética se traduce en un mejor crecimiento y desarrollo, lo que a su vez aumenta las probabilidades de supervivencia (Rojas y Nolberto, 2021).

También, los extractos vegetales pueden contener compuestos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas que ayudan a las plantas a tolerar mejores condiciones de estrés ambiental, como la sequía, la salinidad, las enfermedades y las plagas (Tucuch *et al.*, 2021). Al reducir el

impacto del estrés, las plantas pueden enfocar sus recursos en su crecimiento y supervivencia. Así como también pueden contribuir a mejorar la calidad del suelo, aumentando la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. Un suelo sano y fértil proporciona un mejor ambiente para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Incahuamán, 2019).

Los mejores desarrollos radiculares se observaron en las concentraciones del 100%, específicamente el tratamiento con sábila, seguido de la canela, el raizal y la lenteja tuvieron el mismo efecto. A diferencia en la concentración del 50% en la cual el raizal desarrollo una longitud mayor, seguido de canela, sábila y por último lenteja. Si bien el testigo tubo un desarrollo inferior fue ligeramente superior al tratamiento de lenteja a una concentración del 50% (cuadro 2).

Cuadro 2. Promedios de longitudes de raíces de las plántulas de *P. pseudostrobus* sometidas a extractos vegetales durante tres meses.

Extracto	Lenteja	Sábila	Canela	Raizal	Testigo
Concentración 100%	5.00 cm	5.70 cm	5.40 cm	5.00 cm	4.5 cm
Concentración 50%	4.40 cm	4.60 cm	4.70 cm	5.20 cm	

Esto puede deberse principalmente que los extractos vegetales pueden contener hormonas vegetales como auxinas y giberelinas, las cuales promueven el desarrollo del sistema radicular de las plantas (Senillani *et al.*, 2023). La explicación de porqué el testigo fue ligeramente mayor que el extracto de lenteja puede deberse principalmente a que el extracto pudo haberse fermentado y enero competencia microbiana en el suelo que pudo afectar el crecimiento y desarrollo de la raíz principalmente (Fig. 2).

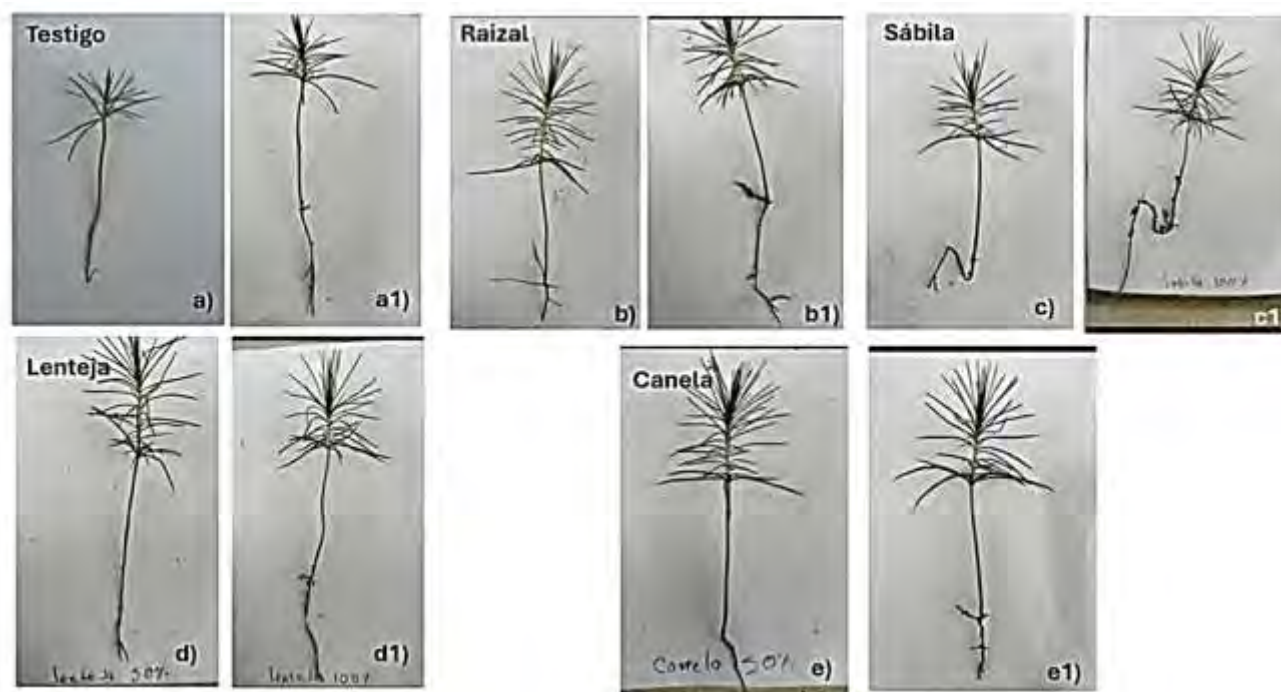


Figura 2. Raíces de plántulas de *P. pseudostrobus* bajo el efecto de los extractos a, a1: testigos; Raizal b) 50%, b1)100%; Sábila c) 50%, c1) 100%; lenteja d) 50%, d1) 100% y Canela e) 50% y e1) 100%.

Conclusiones

El extracto elaborado con sábila tuvo mejores resultados, lo que se ve reflejado en un mayor crecimiento. De forma similar con el extracto elaborado con Canela obtuvo en el cual destaca la concentración al 100%, ya que los resultados obtenidos son mayores comparados con la concentración al 50%. Estos extractos pueden competir con la acción que tiene el efecto del raizal. En los pinos testigo se pudo observar que la raíz no rebaso los 4 cm, lo que indicaría un efecto positivo de los extractos sobre el desarrollo de esta variable principalmente.

La sobrevivencia en general es buena, lo cual demuestra que la mortalidad no es atribuible directamente a las condiciones del sitio, tales como: suelo, temperatura, precipitación y altitud. Sino a otros factores como: calidad de las plántulas obtenidas en el vivero, transporte inadecuado, falta de mantenimiento control de malezas, entre otros.

Literatura citada

- Chuquizuta, P. D., y O. A. V. Rodríguez. 2020. Crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en respuesta a extractos vegetales. *Agrociencia* 54(5):673-681.
- Escobar, A. S. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *REMEXCA* 10(55):4-38.
- Farias, M. J., U. Russi N., R. Bellé, M. Brião M. y F. de Lima F. 2019. Polvo de hojas de *Melia azedarach* L., *Dendranthema grandiflora* Tzvelev y *Tagetes erecta* L. para el tratamiento de semillas de *Carthamus tinctorius* L. *Biot. Veg.* 19(2):103-111.
- García, M. J., R. H. Gonzalo y M. E. López. 2020. Extracto de *Aloe vera* L. en la adaptación de vitroplantas de plátano. *Avances* 22(1):110-122.
- Incahuamán, S. V. R. 2019. Efecto de abonos orgánicos en el crecimiento inicial de pino (*Pinus radiata*), en vivero forestal de Kesari–Circa–Abancay. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de los Andes. Abancay, Perú. <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/169>
- Pulido, C. R. M. 2014. La silvicultura como elemento crítico para la sostenibilidad y el manejo del bosque. *Rev. Inv. Agr. Amb.* 5(1):147-153.
- Rojas, R. A. 2018. Complejidad y desarrollo forestal. *Rev. For. Per.* 33(2):102-116.
- Rojas, Y. T., y E. D. E. Nolberto. 2021. Te fosfocompost combinados con extractos vegetales en la propagación de *Hylocereus undatus* y *Selenicereus megalanthus*. *Rev. Inv. Cient. Sig. XXI* 1(2):73-87.

- Rojas, G. L. M. 2023. Efecto de la fertilización química y orgánica en el crecimiento y factibilidad económica de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham en vivero. Tesis de grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Triunfo, Chachapoyas, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3317>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/incendios-forestales-148160> [consultado el 25 de junio de 2024].
- Senillani, M. G., A. D. Guzmán V., A. T. Gomez, A. C. Santacruz G., M. B. Sagadin y M. Ewens. 2023. Los bioinsumos en el mundo forestal: ¿mejoran el crecimiento en vivero de plantas de algarrobo blanco? Quipu For. 8:10-14.
- Tucuch P. M. A., J. J. Bojórquez V., R. Arredondo V., F. D. Hernández C. y J. C. Anguiano C. 2021. Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. Ecosist. Rec. Agrop. 8(2):e2745.
- Yuniati, N., K. Kusumiyati, M. Syariful and N. Bambang. 2022. The Role of Moringa Leaf Extract as a Plant Biostimulant in Improving the Quality of Agricultural Products. Plants 11(17):2186.
- Varela, S. A. y J. G. Basil. 2011. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. Informe Técnico del proyecto INTA/PATNOR-810292/AR./. Fortalecimiento de las acciones de extensión y transferencia en sistemas productivos regionales y comunidades locales con énfasis en temáticas forestales y gestión ambiental. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. San Carlos de Bariloche, Argentina. 11 p.

PATRONES DE EMERGENCIA DE PLÁNTULAS DE PINOS MEXICANOS

Andrés Flores^{309*}, Jorge Méndez González³¹⁰, Tomás Pineda Ojeda³¹¹, Enrique Buendía Rodríguez³¹⁰
y Eulogio Flores Ayala³¹⁰

Resumen

La determinación de parámetros de emergencia de plántulas en especies forestales apoya la conservación *ex situ* de germoplasma. Sin embargo, esta no siempre está disponible o es conocida. El objetivo de este trabajo fue determinar siete parámetros de emergencia de plántula en ocho pinos mexicanos, para la construcción de curvas de emergencia. Los parámetros germinativos fueron: capacidad de germinación, valor pico, tiempo de germinación (T50), tiempo promedio de germinación (TPG), tasa media de germinación (TMG), índice de tasa de germinación (ITG) y tasa máxima de germinación (TMGR) se emplearon semillas de *Pinus ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *P. teocote*. Los resultados mostraron que geminaron un total de 669 plántulas durante el ensayo, en el cual *P. rudis* fue la especie dominante con el 15.1% de la emergencia total. La capacidad germinativa de las especies osciló entre 62.5 y 97.1%; *P. rudis* tuvo el porcentaje de germinación más alto y *P. teocote* el más bajo, mientras que el resto de las especies tuvieron un valor superior al 70%. El valor pico osciló casi 5 puntos entre especies: *P. rudis* destacó con 9.9. En el T50, el tiempo osciló entre 6.7 y 14.2 días; *P. teocote* tuvo el mejor desempeño, pero *P. ayacahuite*, *P. hartwegii* y *P. patula* el peor. Con respecto al TPG, este varió de 7.6 a 14.8 días, en los cuales *P. teocote* tuvo el valor menor, pero *P. ayacahuite* y *P. hartwegii* el mayor. Para la TMG, las especies oscilaron entre 0.06 y 0.13, y *P. teocote*, *P. rudis* y *P. leiophylla* tuvieron las tasas más altas. En los lotes de semilla, el ITG presentó valores de 5.8 a 13.1; *P. rudis*, *P. leiophylla* y *P. hartwegii* alcanzaron índices superiores. En la TMGR, los valores fueron de 6.3 a 14.0, en donde *P. ayacahuite* tuvo el tiempo de germinación mayor que el resto de las especies. Probablemente, las diferencias observadas entre las especies se deban a la variación genética y a las características morfológicas y anatómicas de las semillas.

Palabras clave: capacidad de germinación, curvas de emergencia, tasa media de germinación, tiempo de germinación, valor pico

³⁰⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CENID-COMEF. Progreso 5, Alcaldía Coyoacán, CP. 04010, Ciudad de México, México. Correo-e: flores.andres@inifap.gob.mx

³¹⁰ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. Calle Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315. Saltillo, Coahuila, México.

³¹¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Centro. CEVAMEX. Km. 13.5 Carr. Los Reyes- Texcoco, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. México.

Introducción

Para México, la conservación de los recursos forestales es una estrategia viable con base en la preservación de su semilla. No obstante, de forma *ex situ* existen factores que limitan su factibilidad, tales como: infraestructura, presupuesto, conocimiento técnico, capacidad, y coordinación entre los sectores productivo, técnico y gubernamental. Al respecto, la información técnica del germoplasma es necesaria para la planeación de la producción de planta en vivero con fines de reforestación o restauración. Sin embargo, esta no siempre está disponible o es conocida.

Los estudios de germinación de semillas ayudan a comprender las causas de la disminución, presencia o propagación de especies en hábitats cambiantes (Schütz, 2000). Por lo cual, en los últimos años se ha incrementado el número de estudios sobre germinación de especies. La determinación de parámetros de emergencia de plántulas en especies forestales apoya la conservación *ex situ* de germoplasma. Por lo cual, el conocimiento sobre la germinación, el comportamiento de almacenamiento y los requisitos ecológicos de muchas especies de árboles son un requisito en cualquier programa de conservación.

A pesar de que se han hecho esfuerzos para la determinación de parámetros germinativos en coníferas, aún no se tiene el conocimiento total de varios de estos, p. ej. tiempo promedio de germinación o tasa máxima de germinación. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar siete parámetros de emergencia de plántula en ocho pinos mexicanos. Se espera que los resultados obtenidos sirvan de referencia durante las labores de producción de planta en vivero.

Materiales y métodos

Material vegetal

Semillas de ocho especies de pinos: *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *P. hartwegii* Lindl., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. rudis* Endl. y *P. teocote* Schiede ex Schltdl et Cham., fueron proporcionadas por la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural de la Ciudad

de México. Estas especies tienen diferente rango de distribución y se encuentran en diversos hábitats. Las semillas fueron almacenadas a temperatura ambiente (5°C) en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, de la Unidad de Investigación de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO), de la Facultad de Educación Superior Iztacala (Facultad de Estudios Superiores Iztacala- FESI), de la Universidad Nacional Autónoma de México (Universidad Nacional Autónoma de México- UNAM), en Tlalnepantla, Estado de México.

Descripción del experimento

Se seleccionaron ciento cuatro semillas por especie para realizar los ensayos. Estas semillas se sembraron en medio agar (10 g/L), en cajas de Petri (5.5 × 1.5 cm) y se colocaron dentro de una cámara de germinación a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y un fotoperiodo de ocho horas. El ensayo se inició el 9 de marzo de 2022 y se estableció con un diseño completamente al azar, con 13 semillas por unidad experimental y ocho repeticiones.

Análisis de los datos

Se construyeron curvas de emergencia utilizando la germinación diaria, considerando todas las especies juntas y por separado, con base en el porcentaje total acumulado. Por otra parte, los datos de sobrevivencia se utilizaron para calcular siete parámetros germinativos: capacidad de germinación, valor pico, tiempo de germinación (T50), tiempo promedio de germinación (TPG), tasa media de germinación (TMG), índice de tasa de germinación (ITG) y tasa máxima de germinación (TMGR) con el paquete *germinationmetrics* del programa estadístico R.

Resultados y discusión

Curvas de emergencia

Para las ocho especies estudiadas, geminaron un total de 669 plántulas durante el ensayo (Figura 1). El modelo analizado describió el patrón de germinación global con un r^2 de 0.7477, en el cual el 85.44% de emergencia de plántulas se alcanzó 14 días después del inicio del experimento (Cuadro 1). *P. rudis* fue la especie dominante y representó el 15.1% de la emergencia total de plántulas, mientras que *P. patula* y *P. teocote* sólo registraron el 9.4 y el

9.7%, respectivamente. El resto de las especies osciló entre 13.5 y 14.1%, excepto en *P. montezumae*. Estos resultados demuestran que la mayoría de las especies tuvieron una mayor aportación al porcentaje global de germinación, lo cual está asociado a la calidad del germoplasma.

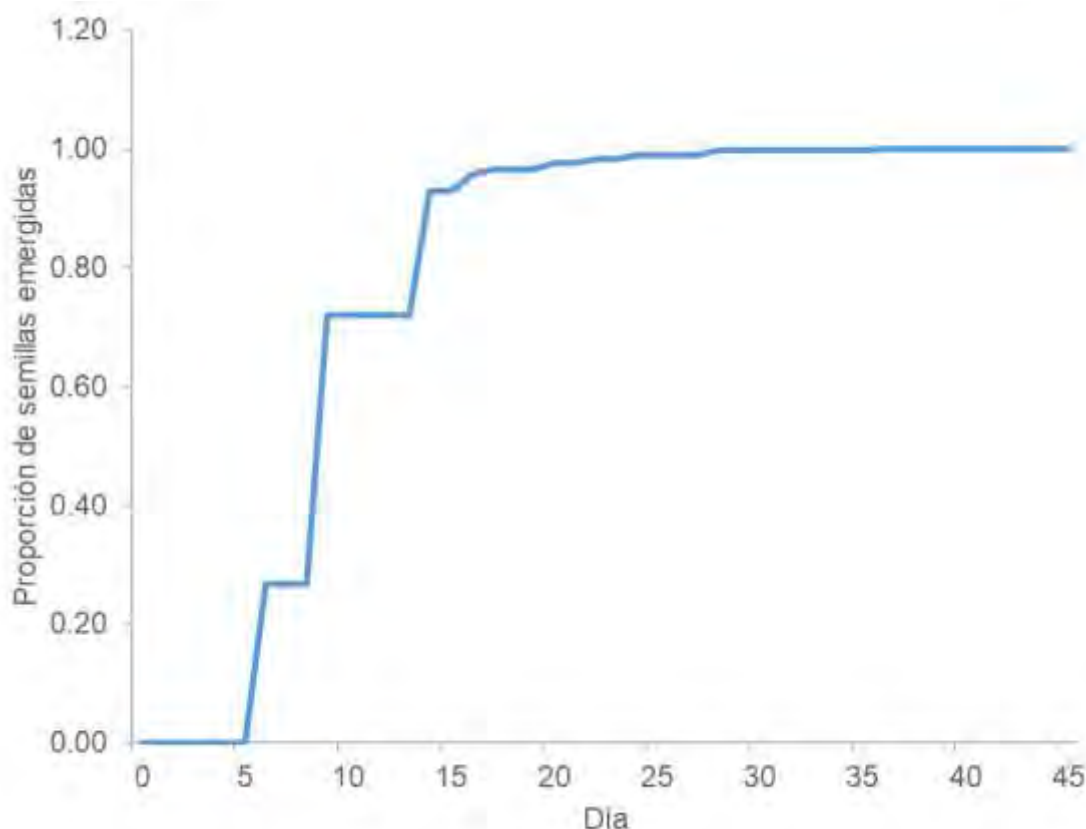


Figura 1. Proporción de todas las semillas emergidas.

Cuadro 1. Parámetros del modelo para curvas de emergencia acumuladas calculadas para ocho especies de pinos mexicanos.

Especies ¹	a	b	c	y0	r ²	p
Todas la especies	85.44	4.16	8.56	-1.6543	0.7477	<0.0001
AY	88.46	12.53	14.19	0.1011	0.7898	<0.0001
HA	88.46	12.53	14.19	1.3819	0.6914	<0.0001
LE	86.54	5.64	7.07	-1.5067	0.6837	<0.0001

Especies ¹	a	b	c	y ₀	r ²	p
MO	70.19	5.94	8.00	-0.1244	0.7001	<0.0001
PA	80.77	6.03	10.45	-1.1498	0.5504	<0.0001
PS	87.50	4.40	9.15	-1.4180	0.7323	<0.0001
RU	97.12	5.96	7.40	-0.7529	0.6952	<0.0001
TE	62.50	5.64	6.71	-1.7611	0.6885	<0.0001

¹ AY—*Pinus ayacahuite*, HA—*P. hartwegii*, LE—*P. leiophylla*, MO—*P. montezumae*, PA—*P. patula*, PS—*P. pseudostrobus*, RU—*P. rudis*, TE—*P. teocote*.

Los modelos de emergencia de plántulas para las especies estudiadas fueron representados con más del 50% de la varianza por los datos experimentales ($r^2 \geq 0.5504$) (Hatcher, 2013) y mostraron diferentes patrones (Figura 2 y Cuadro 1). *P. teocote* fue la especie dominante debido a que alcanzó el 50% de emergencia de plántulas viables en 6 días, pero *P. ayacahuite* y *P. hartwegii* fueron los más bajos con 14 días. Las otras especies oscilaron alrededor de 9 días. Para todas las especies, excepto *P. ayacahuite* y *P. hartwegii*, el número de plántulas emergidas aumentó rápidamente hacia su máximo con factores de forma del modelo (b) de 4.40 a 6.03.

Patrones de emergencia

La capacidad germinativa osciló entre 62.5 y 97.1% en los lotes de semilla (Cuadro 1). *P. rudis* tuvo el porcentaje más alto mientras que *P. teocote* fue el más bajo, y el resto de las especies tuvieron una germinación superior al 70%. Los resultados obtenidos difieren de los de (Aparicio *et al.*, 1999; Altamirano y Aparicio, 2002; Ortega *et al.*, 2003), quienes señalan que la capacidad de germinación es irregular, ya que puede variar en *P. rudis*, *P. hartwegii* y *P. montezumae* de 31.5 a 40.5%, 33.6 a 98.8% y 85.3 a 94.7%, respectivamente; esto seguramente está asociado a la procedencia de las especies. No obstante, los porcentajes registrados en *P. ayacahuite* y *P. leiophylla* fueron muy similares (84.7 y 82.5%, respectivamente) a los reportados por (López *et al.*, 2018; Gómez *et al.*, 2010), lo cual probablemente demuestra una calidad de semilla (peso y tamaño) muy similar con los valores obtenidos en este estudio. En general, las diferencias observadas en germinación son debidas a la variación genética de las especies, la temperatura y las condiciones ambientales (Herrera, 2022).

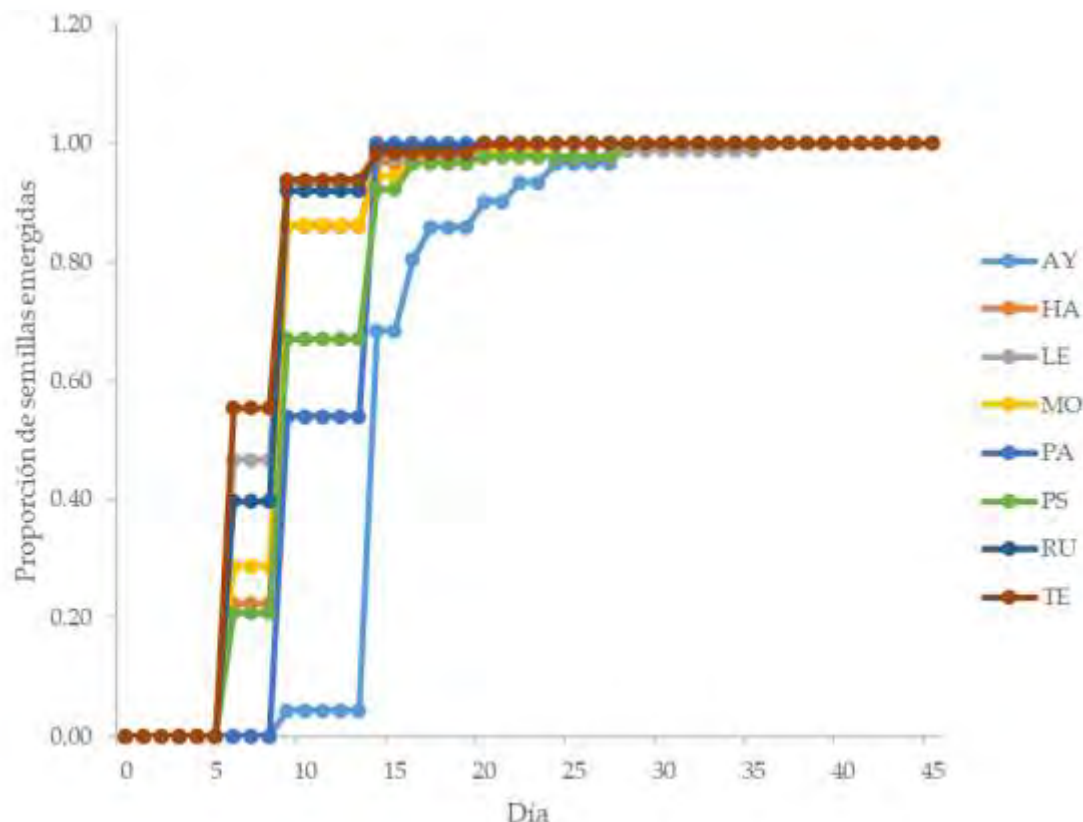


Figura 2. Curvas de germinación de ocho especies de pino.

Para el valor pico, este osciló casi 5 puntos entre especies, en las que *P. ayacahuite* tuvo 4.5 mientras que *P. rudis* 9.9 (Cuadro 2). Para *P. hartwegii*, el valor obtenido fue ligeramente superior a los hallados por Andrade (2019) de 7.5 y 8.5, y de Gómez *et al.*, (2010) con 8.5, pero menor al reportado para *P. montezumae* (14.3) por Herrera (2022). En el T50, los valores oscilaron entre 6.7 y 14.2 días en lotes de semilla; *P. teocote* tuvo el mejor desempeño, pero *P. ayacahuite*, *P. hartwegii* y *P. patula* tuvieron el peor, mientras que las otras especies tuvieron un buen resultado. Para este parámetro, los valores fueron menores a los registrados por Aparicio (1999) para *P. montezumae*, *P. patula* y *P. pseudostrobus* con 12, 19 y 17.5 días, respectivamente, para un tiempo de germinación del 65%. Se ha determinado que los mayores valores de variables de velocidad de germinación, están asociados con la mayor energía para germinar de las semillas (Mangure, 1962).

Cuadro 2. Parámetros de germinación de ocho especies de pinos mexicanos.

Especies ¹	Valor pico	T50 ²	TPG	TMG	ITG	TMGR
AY	4.5	14.2	14.8	0.06	6.2	14.0
HA	8.7	14.2	14.8	0.11	11.0	14.0
LE	9.0	7.1	8.0	0.12	12.0	6.6
MO	6.7	8.0	8.9	0.11	8.8	7.6
PA	5.8	10.4	11.4	0.09	5.8	9.9
PS	6.5	9.1	10.4	0.10	9.8	8.2
RU	9.9	7.4	8.3	0.12	13.1	7.0
TE	6.5	6.7	7.6	0.13	9.0	6.3

¹ AY—*Pinus ayacahuite*, HA—*P. hartwegii*, LE—*P. leiophylla*, MO—*P. montezumae*, PA—*P. patula*, PS—*P. pseudostrobus*, RU—*P. rudis*, TE—*P. teocote*. ² Tiempo de germinación (T50), Tiempo promedio de germinación (TPG), Tasa media de germinación (TMG), Índice de tasa de germinación (ITG) y Tasa máxima de germinación (TMGR).

Con respecto al TPG, este varió de 7.6 a 14.8 días, en los cuales, *P. teocote* tuvo el valor menor, sin embargo, *P. ayacahuite* y *P. hartwegii* presentaron el mayor valor, mientras que los tiempos de las otras especies fueron similares. En *P. pseudostrobus*, el valor estimado fue mayor al reportado por (Romero *et al.*, 2017) con 6 días a pesar de que registraron menos de 10% de capacidad germinativa. Para la TMG, las especies oscilaron entre 0.06 y 0.13. *P. teocote*, *P. rudis* y *P. leiophylla* tuvieron las tasas más altas. Al respecto, estas diferencias de deben probablemente a las características morfológicas y anatómicas de las semillas, que permiten absorber más rápido la humedad y propiciar una germinación más rápida en algunas especies (Espitia *et al.*, 2016).

Para los lotes de semilla, el ITG presentó valores de 5.8 a 13.1; *P. rudis*, *P. leiophylla* y *P. hartwegii* alcanzaron índices superiores. Para *P. patula* y *P. pseudostrobus*, los valores hallados fueron menores a los reportados por Cervantes *et al.* (2023), de 12.69 y 2.33, respectivamente. En la TMGR, los valores fueron de 6.3 a 14.0, en donde *P. ayacahuite* tuvo el tiempo de germinación mayor que el resto de las especies.

Conclusiones

P. rudis presentó el mayor porcentaje de germinación con 97.1%, lo cual muestra que tiene un alto potencial para la producción de plántulas. El resto de las especies, a excepción de *P. montezumae* y *P. teocote*, tuvieron una germinación superior al 80%, lo que les permite lograr una buena cantidad de plántulas. *P. rudis* y *P. leiophylla* registraron el valor pico más alto, el tiempo de germinación más corto y el tiempo promedio de germinación más bajo, por consecuencia, tienen mayor energía de germinación que el resto de las especies. Probablemente, las diferencias observadas entre las especies se deban a la variación genética y a las características morfológicas y anatómicas de las semillas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) de la Ciudad de México por el germoplasma proporcionado y, al Laboratorio de Fisiología Vegetal, de la Unidad de Biología Tecnológica y Prototipos (UBIPRO), de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por las facilidades brindadas durante el desarrollo del presente trabajo.

Literatura citada

- Altamirano Q. M. T. y Aparicio R. A. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. Foresta Veracruzana 4(1):35-40.
- Andrade G. K. A. 2019. Indicadores reproductivos, y germinación de semillas de *Pinus hartwegii*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 86 p.

- Aparicio R., A., Cruz J. H. y Alba L. J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana* 1(2):31-34.
- Cervantes M. M. M., Rodríguez O. G., Enríquez del V. J. R. y Rodríguez V. M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. *E-Cucba* 10(20):44-51.
- Espitia, M., Cardona C. y Araméndiz H. 2016. Pruebas de germinación de semillas de forestales nativos de Córdoba, Colombia, en laboratorio y casa-malla. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19(2):307-315.
- Gómez J. D. M., Ramírez H. C., Jasso M. J. y López U. J. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):297-304.
- Hatcher, L. 2013. *Advanced statistics in research: reading, understanding and writing up data analysis results*. Shadow Finch Media LLC. Saginaw, MI, USA. 644 p.
- Herrera H., R. 2022. Producción y calidad de semilla de *Pinus montezumae* Lambert de ocho poblaciones en el centro de México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 74 p.
- López L. B., Gálvez A. P., Calleja P. B., Méndez G. J. y Ríos C. J. M. 2018. Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roezl) Shaw en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(49):110-124.
- Mangure, J. D. 1962. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.

- Ortega M. A., Mendizábal H. L., Alba L. J. y Aparicio R. A. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(2):29-34.
- Romero R. S., Rubio L. L. E., Chávez S. L., Rojas Z. E. C. y García P. M. 2017. Comportamiento germinativo y crecimiento temprano de *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae). *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología* 10(37-39):749-756.
- Schütz, W. 2000. The importance of seed regeneration strategies for the persistence of species in the changing landscape of Central Europe. *Zeitschrift Für Ökologie Und Naturschutz* 9(1/2):73-83.

ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE ALTURA-DIÁMETRO PARA PINOS TROPICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

Ramiro Puc Kauil³¹², Adán Nava Nava^{313*}, Faustino Ruiz Aquino³¹⁴, Casimiro Ordóñez Prado³¹⁵ y Bossuet Gastón Cortés Sánchez³¹⁶

Resumen

Las plantaciones de pinos tropicales son de gran importancia por su rápida producción de madera. Para optimizar su manejo forestal, se requieren funciones alométricas que estimen la altura total (AT) de los árboles, la cual es una variable crucial para calcular el volumen comercial. El objetivo de la investigación fue desarrollar funciones alométricas locales y generalizadas para modelar la relación AT-diámetro normal (DN) en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y en el híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* × *Pinus tecunumanii* de una plantación en la Sierra Norte de Puebla, México. Se analizaron 1,232 pares de datos AT-DN. Se ajustaron modelos alométricos de tres parámetros con el 80% de los datos y se validaron con el 20% restante. El modelo seleccionado se basó en los criterios de menores valores en el error absoluto promedio, raíz del error medio cuadrático (REMC) y criterio de información de Akaike y mayor valor en el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}). Los modelos explicaron más del 58.55% de la variabilidad en la AT observada. La función logística generalizada fue la que se ajustó mejor para *P. caribaea* var. *hondurensis* (R^2_{adj} = 0.67 y REMC= 1.16 m). Mientras que, para *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii* la función Weibull generalizada obtuvo los resultados superiores (R^2_{adj} = 0.57 y REMC= 1.55 m). La aplicabilidad de las ecuaciones generalizadas es parsimoniosa dado que considera el DN y la edad como únicas variables predictoras de la AT.

Palabras clave: relación altura-diámetro, volumen de madera, modelo de Weibull, manejo sustentable, plantaciones tropicales

³¹² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. Puebla, México.

³¹³ Agropecuaria Santa Genoveva S.A.P.I. de C.V. Campeche, México. *Autor por correspondencia: navagro1976@gmail.com

³¹⁴ Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

³¹⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México.

³¹⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Estado de México, México.

Introducción

La altura total (AT) y el diámetro normal (DN) son variables esenciales en los inventarios forestales para calcular existencias volumétricas de madera, biomasa y carbono, de igual manera, son parámetros cruciales para la planeación y ejecución de tratamientos silvícolas (Mehtätalo *et al.*, 2015; Cruz *et al.*, 2023). Sin embargo, medir la AT implica tiempo, menor precisión y elevados costos, por lo que se recurre a funciones alométricas que relacionan la AT con el DN para facilitar la medición de la AT de los árboles (Lin *et al.*, 2022).

Las funciones alométricas AT-DN pueden ser locales o generalizadas. Las funciones locales solo incluyen el DN como variable predictiva y se aplican a nivel de especie o rodal específico (Corral *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2018). Las generalizadas, además del DN, incluyen como variables predictoras a atributos del rodal como la densidad, edad o calidad del sitio; se aplican en bosques con diversas condiciones de crecimiento y manejo (López *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2015; Santiago *et al.*, 2020).

Las plantaciones de pinos tropicales, tales como el de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus tecunumanii* y *Pinus elliottii* var. *elliottii*, son de rápido crecimiento y potencialmente importantes para la industria forestal (Greaves *et al.*, 2015; Boca *et al.*, 2017). Sin embargo, existen pocos estudios en México que estimen la AT en función del DN para estos pinos (Torres *et al.*, 2020). Dada la demanda de madera de estas plantaciones, es necesario contar con funciones alométricas precisas que contribuyan a estimar el rendimiento maderable y a tomar decisiones de manejo adecuadas.

Esta investigación se realizó en una plantación comercial de pinos tropicales en la Sierra Norte de Puebla, México. Los objetivos fueron: 1) Ajustar funciones alométricas locales de AT-DN para *P. caribaea* var. *hondurensis* y en el híbrido *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii*. 2) Generar una función generalizada para la relación AT-DN por especie. Se planteó la hipótesis de que la relación entre la AT y el DN es diferente entre las especies de pinos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en una plantación de pinos tropicales, ubicada en terrenos del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza entre las coordenadas extremas 20° 28' 19.6" N y 97° 41' 56.4" O, a 340 msnm y pendiente del 5%, en la Sierra Norte de Puebla, México. El clima es cálido húmedo (Cw); la precipitación y temperatura media anual son de 993.3 mm y de 22°C a 29.3°C, respectivamente (García 2004, SMN 2022). El suelo es de tipo vertisol, con textura arcillosa (30%), por lo que se agrietan notablemente durante la época de sequía (Ruiz *et al.*, 2014).

Obtención de los datos

La plantación se estableció en el 2016 bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con ocho tratamientos y seis repeticiones, tiene una superficie de 1.7 ha con densidad de 1 242 árboles ha, con un espacio entre plantas de 3.5 x 2.3 m. El ensayo en el cual se realizó el presente estudio se estableció con *P. caribaea* var. *hondurensis* (SP1, procedencia de Australia y Venezuela) y el híbrido de *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii* (SP2, procedencia de Australia). Es importante señalar que, todas las fuentes de germoplasma provienen de huertos semilleros clonales.

A los seis y siete años (2022 y 2023), se realizó la evaluación de campo de los árboles. Se midió el diámetro normal (DN, cm) con una cinta diamétrica Forestry Supplier modelo 283D/5M® y la altura total (AT, m) con un clinómetro electrónico Haglöf HEC-MP®. Con base en esta información de campo, se integró una base de datos con 1232 pares de observaciones de AT y DN distribuidos de la siguiente manera: SP1 = 843 y SP2 = 389. La muestra utilizada se distribuyó en un intervalo de 2.9 a 26.2 cm de DN y de 2 a 14.7 m de AT (Cuadro1).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de los conjuntos de datos utilizados en el análisis para especies de pinos tropicales en la Sierra Norte de Puebla, México.

Especie	Variable	Ajuste (n= 993)					Validación (n= 239)				
		Min	Max	Media	DE	CV	Min	Max	Media	DE	CV
SP1 (n = 843)	DN	2.9	21.0	12.8	3.2	0.3	4.0	21.0	12.7	3.5	0.3
	AT	2.0	13.1	8.7	2.0	0.2	3.0	13.0	8.4	1.9	0.2
SP2 (n =389)	DN	4.0	26.2	14.8	3.8	0.3	4.7	23.7	14.5	3.8	0.3
	AT	2.8	14.7	9.5	2.4	0.2	3.8	13.9	9.5	2.2	0.2

donde DN: diámetro normal (cm), AT: altura total (m), Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, SP1: *P. caribaea* var. *hondurensis*, SP2: *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii*.

Ecuaciones locales

El análisis de la relación entre la AT y el DN se realizó en dos etapas, siguiendo la metodología de Carus y Akguş (2018). En la primera etapa, se utilizó el 80% de los datos para ajustar siete modelos alométricos y de crecimiento con tres parámetros (Cuadro 2) para cada especie de pino (Cuadro 1). Estos modelos han demostrado ser confiables para analizar la relación AT-DN en diversos estudios previos (Mehtätalo *et al.*, 2015; Corral *et al.*, 2019; Ordóñez *et al.*, 2023). En la segunda etapa, se validaron los modelos ajustados en la primera etapa con el 20% restante de los datos (Cuadro 1). Este proceso permitió evaluar la capacidad predictiva de los modelos y confirmar su confiabilidad para estimar la AT a partir del DN.

Cuadro 2. Modelos altura total-diámetro normal ajustados para pinos tropicales en la Sierra Norte de Puebla, México.

Clave	Nombre	Modelo
MOD1	Prodan	$AT = 1.3 + \frac{DN^2}{\beta_0 + \beta_1 DN + \beta_2 DN^2}$
MOD2	Logístico	$AT = 1.3 + \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 DN}}$
MOD3	Weibull	$AT = 1.3 + \beta_0 \left(1 - e^{-\beta_1 DN^{\beta_2}}\right)$

Clave	Nombre	Modelo
MOD4	Gompertz	$AT = 1.3 + \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 DN}}$
MOD5	Sibbesen	$AT = 1.3 + \beta_0 DN^{\beta_1} DN^{-\beta_2}$
MOD6	Ratkowsky	$AT = 1.3 + \beta_0 e^{\frac{-\beta_1}{DN + \beta_2}}$
MOD7	Hossfeld IV	$AT = 1.3 + \frac{\beta_0}{1 + \frac{1}{\beta_1 DN^{\beta_2}}}$

Donde DN: diámetro normal (cm); AT: altura total (m); β_i : parámetros a ser estimados.

Ecuación generalizada

Con base en la premisa de que la relación alométrica entre AT y DN en los híbridos es diferente a la de sus parentales, se desarrolló una función alométrica generalizada que permite estimar la AT con mayor precisión para las dos especies estudiadas. Esta función también amplía su aplicabilidad en la plantación, ya que incorpora la edad como una variable inherente al crecimiento de los árboles. El análisis consistió en incorporar la edad de la plantación a uno de los parámetros de las ecuaciones locales y evaluar diferentes combinaciones hasta encontrar la que proporcionaba los mejores resultados y parámetros estadísticamente significativos. Un ejemplo de esta combinación se muestra a continuación:

$$AT = 1.3 + \frac{DN^2}{\beta_0 \ln(E) + \beta_1 DN + \beta_2 DN^2}$$

$$AT = 1.3 + \frac{dn^2}{\beta_0 + \beta_1 DN \ln(E) + \beta_2 DN^2}$$

$$AT = 1.3 + \frac{dn^2}{\beta_0 + \beta_1 DN + \beta_2 \ln(E) DN^2}$$

donde **DN**: diámetro normal (cm); **AT**: altura total (m); **E**: edad (años); β_i : parámetros a ser estimados; ln: logaritmo natural.

Para el análisis de la ecuación generalizada se aplicaron las etapas usadas en el ajuste de ecuaciones locales (Carus y Akguş, 2018).

Análisis y evaluación de las ecuaciones

El ajuste de los modelos AT-DN se realizó mediante la técnica clásica de mínimos cuadrados ordinarios no lineales (Corral *et al.*, 2019; Ordóñez *et al.*, 2023). Para ello, se utilizó el lenguaje de programación R y las librerías nlme (Pinheiro *et al.*, 2023) y ggplot2 (Wickham, 2009).

En la primera etapa, se evaluó la bondad de ajuste de las ecuaciones locales y generalizadas mediante los indicadores estadísticos: Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) que indica la proporción de la varianza explicada por el modelo, corregido por el número de parámetros; raíz del error medio cuadrático de la estimación (REMC) que mide la distancia promedio entre los valores observados y los predichos por el modelo; Criterio de Información de Akaike (AIC) que permite comparar diferentes modelos y seleccionar el que mejor se ajusta a los datos. Para la etapa de validación, se calcularon dos medidas de error adicionales: Error absoluto promedio (EAP) que indica la magnitud promedio del error absoluto en las predicciones y el error porcentual absoluto promedio (EPAP) que expresa el error absoluto promedio en términos porcentuales (Xu *et al.*, 2022; Tanovski *et al.*, 2023).

La mejor ecuación que seleccionar minimiza los valores de la REMC, el AIC, EAP y EPAP y, maximiza la R^2_{adj} . Asimismo, con base en Tewari y Singh (2018) se realizó una clasificación de los modelos AT-DN locales y generalizados considerando los estadísticos de bondad de ajuste. A cada modelo se le asignó un valor de 1 para el mejor desempeño y un valor 7 para el peor desempeño en cada estadístico. Posteriormente, se sumaron los rangos de cada modelo, obteniendo una clasificación final donde la menor suma de rangos indica el mejor modelo.

Para lograr la homogeneidad en las varianzas, se incorporó la función *VarPower* en los modelos tanto locales como generalizados. Esta función pondera los residuales en función de una potencia del DN (Chenge, 2021): $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2 |DN_i|^{2\omega}$, donde DN_i es el diámetro normal del árbol i , ω es la potencia de la covariable de la varianza.

Con los mejores modelos seleccionados (local y generalizado), se realizaron análisis exhaustivos para verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos y validar la idoneidad del modelo elegido, tal como la construcción de gráficos de valores predichos vs residuales (Mehtätalo y Kansanen, 2022); y la comparación de la tendencia biológica de crecimiento de las curvas generadas con el modelo seleccionado vs los datos observados (Zhang *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2022).

Resultados y discusión

Ecuación local

Los modelos explicaron alrededor del 61% de la variabilidad observada en la AT. El modelo MOD2 (Logístico) fue superior para la SP1, con un error promedio de estimación de 1.26 m (Cuadro 3). Por otra parte, el modelo MOD3 (Weibull) se ajustó mejor para la SP2, con un error de estimación de 1.66 m. Todos los parámetros de los modelos seleccionados fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$) (Cuadro 4).

Cuadro 3. Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos locales AT-DN. Con * están resaltados los modelos seleccionados.

Modelo	Especie	Ajuste			Validación		Calificación total
		R^2_{adj}	REMC	AIC	EAP	EPAP	
MOD1	SP1	0.6067	1.2631	331.035	0.9930	12.6	22
	SP2	0.5092	1.6613	301.409	1.1700	12.5	21
MOD2	SP1*	0.6080	1.2610	328.603	0.9990	12.7	15.5
	SP2	0.5074	1.6644	302.503	1.1600	12.6	27
MOD3	SP1	0.6068	1.2630	330.853	0.9950	12.7	21.5
	SP2*	0.5097	1.6605	301.153	1.1700	12.6	12.5
MOD4	SP1	0.6078	1.2614	329.077	0.9990	12.7	18.5
	SP2	0.5094	1.6610	301.334	1.1700	12.6	21.5
MOD5	SP1	0.6065	1.2634	331.338	0.9930	12.6	25
	SP2	0.5091	1.6614	301.476	1.1700	12.5	24
MOD6	SP1	0.6072	1.2624	330.161	0.9960	12.6	16.5
	SP2	0.5096	1.6606	301.185	1.1700	12.6	15.5
MOD7	SP1	0.6067	1.2631	330.957	0.9950	12.6	21
	SP2	0.5095	1.6608	301.238	1.1700	12.6	18.5

donde R^2_{adj} : coeficiente de determinación ajustado; REMC: raíz del cuadrado medio del error; AIC: Criterio de Información de Akaike; EAP: error absoluto promedio; EPAP: error porcentual absoluto promedio. SP1: *P. caribaea* var. *hondurensis*, SP2: *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii*.

Cuadro 4. Parámetros de los modelos locales por especie.

Especie	Parámetro	Valor	Error estándar	Valor t	Pr > t
SP1: <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	β_0	11.799	0.675	17.480	<0.0001
	β_1	6.914	0.610	11.326	<0.0001
	β_2	0.184	0.017	11.096	<0.0001
SP2: <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> × <i>Pinus tecunumanii</i>	β_0	15.945	4.819	3.309	<0.0001
	β_1	0.031	0.007	4.746	<0.0001
	β_2	1.181	0.215	5.488	<0.0001

Los modelos locales MOD2 y MOD3 demostraron un buen ajuste a los datos, ya que los residuos se distribuyeron de manera aleatoria y no presentaron patrones claros, lo cual sugiere que estos modelos capturan de manera adecuada la variabilidad de los datos (Figura 1). La trayectoria de los valores estimados por ambos modelos se alinea estrechamente con la de los datos observados, confirmando su capacidad para reproducir los patrones subyacentes (Figura 2).

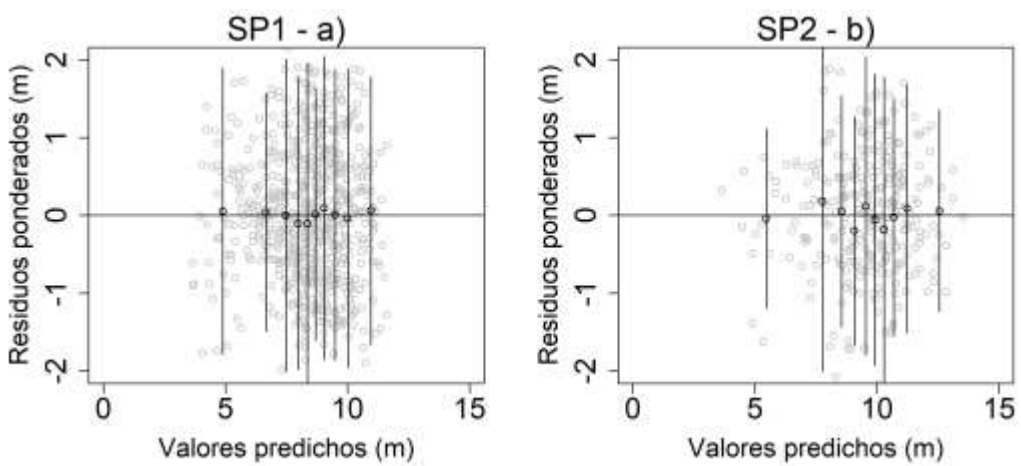


Figura 1. Residuales de los modelos locales para la relación AT en función DN por especie de pinos tropicales.

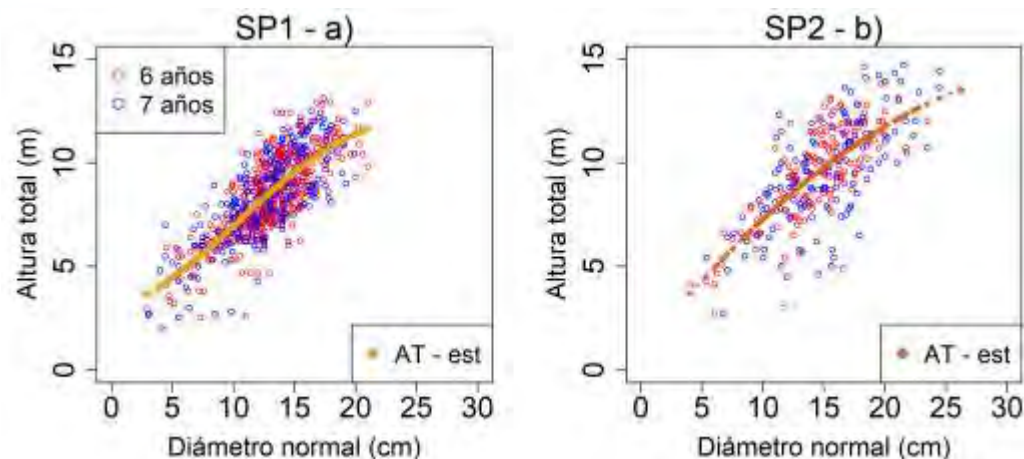


Figura 2. Tendencia de la estimación promedio de la AT estimada con los modelos locales en función del DN por especie de pinos tropicales.

Ecuación generalizada

Los modelos que incluyeron la edad explicaron el 68% de la variabilidad de la AT (Cuadro 5). El error promedio de estimación (EAP) fue menor a 1 m para la SP1 y ligeramente superior para la SP2. Los modelos MOD2 y MOD3 son los más adecuados para estimar la AT de las especies de pino por presentar los mejores indicadores de bondad de ajuste y menor calificación total (Cuadro 5). Todos los parámetros de los modelos seleccionados fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$) (Cuadro 6).

Cuadro 5. Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos generalizados AT-DN. Con * están resaltados los modelos seleccionados.

Modelo	Parámetro modificado	Especie	Ajuste			Validación		Calificación total
			R^2_{adj}	REMC	AIC	EAP	EPAP	
MOD1	β_1	SP1	0.6217	1.2387	303.725	1.1700	15.4	35
	β_1	SP2	0.5234	1.6371	292.813	1.1300	13.3	35
MOD2	β_0	SP1*	0.6704	1.1564	207.421	0.9850	12.7	12
	β_0	SP2	0.5673	1.5598	264.492	1.0400	11.4	21
MOD3	β_0	SP1	0.6696	1.1577	209.008	0.9850	12.7	18
	β_0	SP2*	0.5709	1.5533	262.050	1.0300	11.5	9

Modelo	Parámetro modificado	Especie	Ajuste			Validación		Calificación total
			R ² _{adj}	REMC	AIC	EAP	EPAP	
MOD4	β_0	SP1	0.6703	1.1564	207.484	0.9850	12.7	15
	β_0	SP2	0.5694	1.5560	263.070	1.0400	11.4	18
MOD5	β_2	SP1	0.6510	1.1899	247.348	0.9880	12.6	24
	β_2	SP2	0.5442	1.6011	279.783	1.0800	11.8	30
MOD6	β_2	SP1	0.6781	1.1427	190.759	1.0000	13.1	15
	β_2	SP2	0.5701	1.5549	262.635	1.0400	11.4	12
MOD7	β_0	SP1	0.6695	1.1580	209.319	0.9850	12.7	21
	β_0	SP2	0.5700	1.5550	262.687	1.0400	11.4	15

Donde R²_{adj}: coeficiente de determinación ajustado; REMC: raíz del cuadrado medio del error; AIC: Criterio de Información de Akaike; EAP: error absoluto promedio; EPAP: error porcentual absoluto promedio. SP1: *P. caribaea* var. *hondurensis*, SP2: *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii*.

Cuadro 6. Parámetros de los modelos generalizados por especie.

Especie	Parámetro	Valor	Error estándar	Valor t	Pr > t
SP1: <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	β_0	5.823	0.243	23.991	<0.0001
	β_1	6.566	0.683	9.614	<0.0001
	β_2	0.200	0.017	11.883	<0.0001
SP2: <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> × <i>Pinus tecunumanii</i>	β_0	7.580	1.523	4.978	<0.0001
	β_1	0.034	0.009	3.745	<0.0001
	β_2	1.222	0.205	5.949	<0.0001

El comportamiento de los valores predichos vs residuales de los modelos seleccionados (MOD2 y MOD3) mostró una tendencia aleatoria alrededor de cero y sin manifestar un patrón definido (Figura 3).

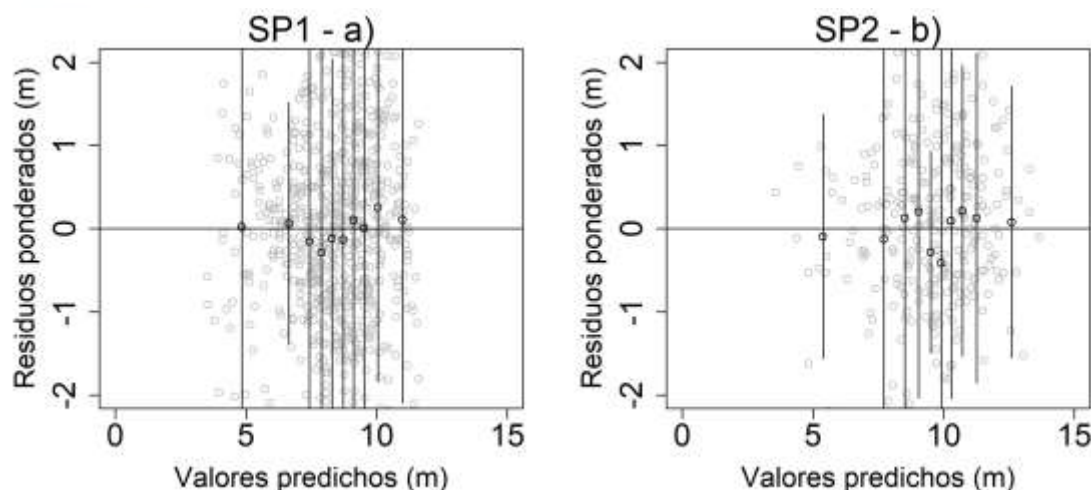


Figura 3. Residuales de los modelos generalizados para la relación AT en función DN por especie de pinos tropicales.

El modelo MOD2 y MOD3 revela patrones diferenciados de altura para cada especie (Figura 4). SP1 muestra alturas menores que la SP2, mientras que la SP2 ya empieza a desacelerar su crecimiento.

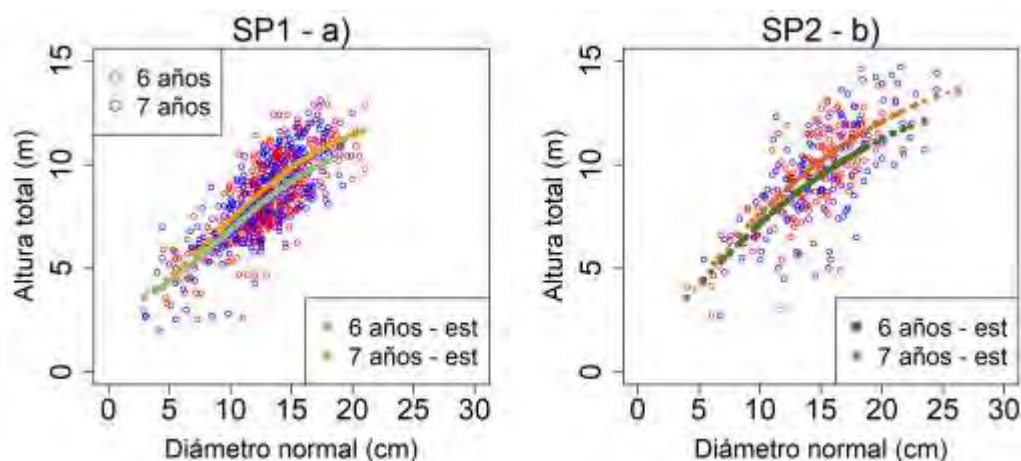


Figura 4. Tendencia de la estimación promedio de la AT generada con los modelos generalizados en función del DN por especie y edad de pinos tropicales.

A siete años de la plantación, SP2 presentó el mejor crecimiento en AT y DN. Las condiciones edafológicas, topográficas y climáticas del área de estudio son favorables para el desarrollo de estas especies (Gómez *et al.*, 2004, González *et al.*, 2013).

Se probaron siete funciones matemáticas para modelar la relación AT-DN de SP1 y SP2. Las funciones Logística (MOD2) y Weibull (MOD3) que incluyeron la edad de la plantación, mostraron los mejores resultados porque explicaron el 68% de la variabilidad observada y registraron un error de predicción menor a 1.55 m. Otros estudios han reportado que la adición de la edad en los modelos generalizados aumentó la variabilidad explicada al 71% y redujo el error de predicción a 1.51 m (Burkhart y Tomé, 2012; Pödör *et al.*, 2014; Hulshof *et al.*, 2015). Los modelos generalizados permiten a los silvicultores estimar la AT de los árboles utilizando solo DN y edad, sin necesidad de covariables adicionales. Por lo tanto, reduce el trabajo de campo, los costos y el tiempo de la medición de la AT. Además, estos modelos son relevantes para el manejo de plantaciones, ya que permiten comprender la respuesta de la AT al manejo, la competencia y las condiciones del sitio (Huang *et al.*, 1992; Prodan *et al.*, 1997; Santiago *et al.*, 2020).

Las funciones Logística y Weibull generalizadas son estadísticamente confiables y se han utilizado con éxito en estudios de crecimiento en todo el mundo (Seki y Sakici 2022; Ordóñez *et al.*, 2023; Rubio *et al.*, 2022). Dichas funciones son herramientas útiles para estimar la AT de *P. caribaea* var. *hondurensis* y del híbrido *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii* en las condiciones del sitio de estudio. No obstante, el análisis aplicado en este estudio, se recomienda ampliarlo incluyendo otras covariables del rodal y aplicando diferentes enfoques de ajuste estadístico (Hernández *et al.*, 2020; Santiago *et al.*, 2020).

Con relación en las funciones Logística y Weibull locales, aun cuando sus parámetros fueron significativos, deberán ser considerados con precaución debido a sus errores de estimación mayores que las generalizadas.

Conclusiones

Se desarrolló una función alométrica local y generalizada para estimar la altura total (AT) de árboles de *P. caribaea* var. *hondurensis* y del híbrido *P. caribaea* var. *hondurensis* × *P. tecunumanii* a partir de su diámetro normal (DN). Las funciones Logística y Weibull modificadas de la ecuación local mostraron los mejores resultados en términos de ajuste y validación, describiendo con precisión la relación AT-DN en cada especie de pino. La inclusión de la edad

en la función alométrica permite a los manejadores de plantaciones predecir la AT de los árboles de manera confiable y precisa sin necesidad de mediciones de altura o variables adicionales. Esta información puede contribuir a un mejor manejo, planificación y aprovechamiento de las plantaciones comerciales de estas especies en la región de estudio.

Literatura citada

- Boca, T., H. Fassola, E. Crechi, S. Barth, A. Kelle, R. Winck *et al.* 2017. Modelos aditivos de predicción de biomasa aérea de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de Misiones Argentina. *Quebracho* 25(1):5-15.
- Burkhart, H. E. and M. Tomé. 2012. Modeling forest trees and stands. Springer. USA. 457 p.
- Carus, S. and Y. Akguş. 2018. Development of diameter-height models for Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Tarsus region. *Tur. J. For.* 19(1):1-8.
- Chenge, I. B. 2021. Height–diameter relationship of trees in Omo strict nature forest reserve, Nigeria. *Trees, For. People* 3:100051.
- Corral, R. S., A. M. Silva A. y G. Quiñonez B. 2019. Modelo no-lineal altura-diámetro con efectos mixtos para siete especies de *Pinus* en Durango, México. *Rev. Mex. Cienc. For.* 10(53):86-117.
- Corral, R. S., J. G. Álvarez G., F. Crecente C. and J. J. Corral R. 2014. Local and generalized height-diameter models with random parameters for mixed, uneven-aged forests in Northwestern Durango, Mexico. *For. Ecosyst.* 1(1):1-9.
- Cruz, C. F., G. Quiñonez B., V. Hernández M., S. Corral R., A. Nava N. 2023. Sistemas compatibles de ahusamiento y volumen comercial para dos especies de *Pinus* en Durango, México. *Rev. Mex. Cienc. For.* 14(77):76-102.

- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Quinta Edición. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México. 97 p.
- Gómez, F. E., A. González A., R. H. Grá y A. Ancizar. 2004. Comportamiento de los índices de sitio más empleados para *Pinus caribaea* Mor. var. *caribaea* ante algunos factores edáficos que influyen en su crecimiento y desarrollo. For. Ver. 6(2):19-26.
- González, I. E., M. H. Barrero y R. Y. Carrasco. 2013. Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). Ecosistemas 22(3):46-51.
- Greaves, E. D., Y. Marin and F. Visaez. 2015. Forestry plantations of *Pinus caribaea* in Venezuela as a solar energy collector. Interciencia 40(7):457-464.
- Hernández, R. J. J., J. García M., A. Hernández R., X. García C., G. G. García E., H. J. Muñoz F. *et al.* 2018. Ecuaciones alométricas de altura-diámetro para *Pinus pseudostrobus* Lindl. Ecosist. Rec. Agrop. 5(13):15-23.
- Hernández, R. J., A. Avilés C., J. J. García M., A. Hernández R., X. García C. y C. Flores L. 2020. Ecuaciones locales y generalizadas de altura-diámetro para *Pinus patula* Schl. *et* Cham. en Veracruz, México. Ecosist. Rec. Agrop. 7(3):1-11.
- Hernández, R. J., X. García C., A. Hernández R., J. J. García M., H. J. Muñoz F., C. Flores L. *et al.* 2015. Ecuaciones altura-diámetro generalizadas para *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el estado Hidalgo. Rev. Mex. Cienc. For. 6(31):08-21.
- Huang, S., S. J. Titus and D. P. Wiens. 1992. Comparison of nonlinear height–diameter functions for major Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22(9):1297-1304.
- Hulshof, C. M., N. G. Swenson and M. D. Weiser. 2015. Tree height–diameter allometry across the United States. Ecol. Evol. 5(6):1193-1204.

- Lin, F., L. Xie, Y. Hao, Z. Miao and L. Dong. 2022. Comparison of Modeling Approaches for the Height–diameter Relationship: An Example with Planted Mongolian Pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) Trees in Northeast China. *Forests* 13(8):1168.
- López, S. C. A., S. R. Rodríguez y G. J. G. Álvarez. 2012. Relación altura-diámetro con parámetros aleatorios para rodales regulares de "*Pseudotsuga Menziesii*" en el norte de España. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 34:135-140.
- Mehtätalo, L. and K. Kansanen. 2022. Imfor: Functions for Forest Biometrics. R package version 1.6. <https://CRAN.R-project.org/package=Imfor>. [Consultado el 10 de noviembre de 2023].
- Mehtätalo, L., S. De-Miguel, T. G. Gregoire. 2015. Modeling height-diameter curves for prediction. *Can. J. For. Res.* 45(7):826-837.
- Ordóñez, P. C., A. Nava N., J. C. Tamarit U. y P. Hernández Z. 2023. Ecuaciones para estimar la altura total de culmos comerciales en tres especies de bambú. *Ecosist. Rec. Agrop.* 10(3):e3696.
- Pinheiro, J. C., D. M. Bates and R. C. Team. 2023. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. <https://svn.r-project.org/R-packages/trunk/nlme/> [Consultado el 15 de noviembre de 2023].
- Pödör, Z., M. Manninger and L. Jereb. 2014. Application of sigmoid models for growth investigations of forest trees. p. 353-364. *In*: van Do, T., H. Thi and N. Nguyen. (eds.). *Advanced computational methods for knowledge engineering. Advances in intelligent systems and computing.* Vol 282. Springer Cham. Switzerland.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. *Mensura forestal.* Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 586 p.

- Rubio, E. A. C., R. S. Corral, H. J. A. López, D. Á. A. Chávez, C. J. Xelhuantzi and N. Jürgen. 2022. Generalized height-diameter models with random effects for natural forests of central Mexico. CERNE 28:e103033.
- Ruiz, C. J., R. Castelán V., V. Tamariz F. y M. A. Hernández. 2014. Componentes del paisaje en el estado de Puebla, México. p. 65-72. *In*: Flores, D. C. D., A. Priego S. y J. Ruiz-C. (eds.). Ciencias ambientales. Temáticas para el desarrollo. Volumen VII. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Santiago, G. W., A. H. Jacinto S., G. Rodríguez O., A. Nava N., E. Santiago G., G. Ángeles P. *et al.* 2020. Generalized height-diameter models for five pine species at Southern Mexico. Forest sci. technol. 16(2):49-55.
- Seki, M. and O. E. Sakici. 2022. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. For. Sci. 68(5-6):452-463.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2022. Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica> [Consultado el 10 de octubre de 2023].
- Tanovski, V., B. Matović, M. Risteski and P. Trajkov. 2023. Modelling the tree height-diameter relationship of Macedonian pine (*Pinus peuce* Gris.) forests in North Macedonia. J. For. Sci. 69(11):497-513.
- Tewari, V. P. and B. Singh. 2018. Total wood volume equation for *Tectona grandis* Linn F. stands in Gujarat, India. J. For. Environ. Sci. 34(4):313-320.
- Torres, Á. D., H. M. de los Santos P., A. Velázquez M. y J. C. Tamarit U. 2020. Ahusamiento y volumen comercial de tres procedencias de pinos tropicales en plantaciones forestales de Veracruz, México. Madera y Bosques 26(3):e2331890.

- Wickham, H. 2009. Getting Started with ggplot2. *In*: ggplot2. Use R. Springer Cham. New York, USA. pp. 11-31.
- Xu, Q., X. Lei, H. Zang and W. Zeng. 2022. Climate change effects on height–diameter allometric relationship vary with tree species and size for Larch plantations in northern and northeastern China. *Forests* 13(3):468.
- Zhang, X., L. Fu, R. P. Sharma, X. He, H. Zhang, L. Feng and Z. Zhou. 2021. A nonlinear mixed-effects height-diameter model with interaction effects of stand density and site index for *Larix olgensis* in northeast China. *Forests* 12(11):1460.

MAPEO DE LA COBERTURA FORESTAL MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN, OBTENIDAS POR DRONES DE BAJO COSTO

Casimiro Ordóñez Prado^{317*}, Enrique Buendía Rodríguez³¹⁸, Adrián Hernández Ramos³¹⁹
y Bossuet Gastón Cortés Sánchez³²⁰

Resumen

El mapeo de la vegetación forestal es importante para la conservación, manejo y aprovechamiento de los bosques. Estimar la cobertura del suelo, empleando datos de sensores remotos, transportados por drones, es una alternativa viable para pequeños predios forestales. El objetivo del presente estudio fue clasificar la cobertura forestal en un bosque de *Juniperus* sp. a partir de fotografías aéreas tomadas con un dron de bajo costo. Se capturaron 280 fotografías con una cámara digital (20 Mpx) instalada en un dron Mavic 2 Pro, estas se procesaron con el programa OpenDronMap® para generar el ortomosaico de alta resolución espacial (2.5 cm). Las bandas rojo, verde y azul fueron separadas para extraer los valores de coloración y generar los índices de vegetación GRVI, VARI, NGRDI y GLI. Se generaron 228 campos de referencia para las siguientes clases de cobertura: suelo desnudo, árboles muertos, cuerpos de agua, herbáceas, *Pinus* spp., *Juniperus* sp. y sombras. Con esos datos se realizó una clasificación supervisada con el algoritmo Random Forest (RF); para ello, se consideró 80% de los campos para el entrenamiento y 20% para la evaluación. La calidad de la clasificación se evaluó a través de la precisión, índice Kappa y los errores de omisión y comisión. Se obtuvo una precisión global de 87% y un índice Kappa de 0.82. Los cuerpos de agua (97%) y suelo desnudo (94%) presentaron una precisión más alta, los mayores errores de omisión y comisión se registraron en las herbáceas, *Pinus* spp. y *Juniperus* sp. El empleo de drones equipados con cámaras digitales es factible para mapear la cobertura forestal con alta confiabilidad; por lo que, son herramientas que complementan la cuantificación y el manejo de los bosques.

Palabras clave: fotogrametría, Random Forest, clasificación de vegetación, validación cruzada

³¹⁷ Campo Experimental San Martinito. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia: ordonez.casimiro@inifap.gob.mx

³¹⁸ Campo Experimental Valle de México, Centro de Investigación Regional Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

³¹⁹ Campo Experimental Saltillo, Centro de Investigación Regional Noreste. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

³²⁰ Sitio Experimental Tlaxcala, Centro de Investigación Regional Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Introducción

El monitoreo continuo de los recursos es necesario para el entendimiento de los cambios y dinámica de los procesos ecosistémicos esenciales como el almacenamiento de carbono y la regulación climática (Vega-Puga *et al.*, 2024). Los drones de bajo costo son una herramienta útil para generar material cartográfico en ecosistemas forestales. La amplia oferta de equipos y sensores remotos ha permitido su accesibilidad para técnicos y silvicultores, lo que favorece su incorporación en actividades relacionadas con la gestión de los recursos forestales (Gallardo-Salazar *et al.*, 2020; Tello *et al.*, 2021). En la última década, las investigaciones sobre el uso de drones en el área forestal se han incrementado notablemente. Estos han mostrado ser útiles para mapear la vegetación, detectar árboles enfermos, plagados y muertos (Guevara-Bonilla *et al.*, 2023). También, se ha investigado su aplicación en la realización de inventarios maderables y de biomasa.

El mapeo de la vegetación con drones se basa en los principios de la fotogrametría. Esta se define como “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos” (ASPRS). La fotogrametría está ligada con los avances científicos y tecnológicos. Al inicio, el proceso fotogramétrico era realizado de manera analógica, pero con el desarrollo computacional es posible hacerlo de forma analítica. Además, es fundamental para la generación de ortomosaicos con imágenes aéreas tomadas con drones, ya que el proceso es automático, contempla los fundamentos de la fotogrametría y se inicia con la adquisición de fotografías aéreas que son una proyección geométrica central de un objeto. A diferencia de la fotografía normal, este tipo de imágenes deben cumplir con características especiales que permitan su estudio cuantitativo y la elaboración de ortomosaicos.

La resolución espacial de las imágenes desempeña un papel importante en el mapeo de la vegetación. La capacidad de detectar con precisión objetos pequeños aumenta, al incrementarse la resolución, lo que es relevante cuando se cartografían árboles a nivel de género o especie (Yu *et al.*, 2006). Liu *et al.* (2020) determinaron que se puede clasificar, adecuadamente, la vegetación dentro de plantaciones muy fragmentadas con este tipo de información. Lo mismo ocurre en la gestión de los bosques naturales, ya que los procesos

naturales y la extracción de madera generan discontinuidades en el dosel forestal, y crean diferentes condiciones en la vegetación (Sánchez-Meador *et al.*, 2015). Por lo tanto, es relevante analizar, si las fotografías aéreas tomadas con drones pueden ser una buena alternativa para el mapeo de vegetación de bosques, el cual es uno de los insumos principales y obligatorios para la planificación del manejo forestal. En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue clasificar la cobertura forestal en un bosque de *Juniperus* sp. mediante fotografías aéreas tomadas con un dron de bajo costo.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se ubica en el municipio Atlangatepec, al norte del estado de Tlaxcala; colinda al norte con el municipio Tlaxco, a una altitud de 2,560 m, con coordenadas 19°32'50.95" latitud N y 98°08'22.45" longitud O (Figura 1).

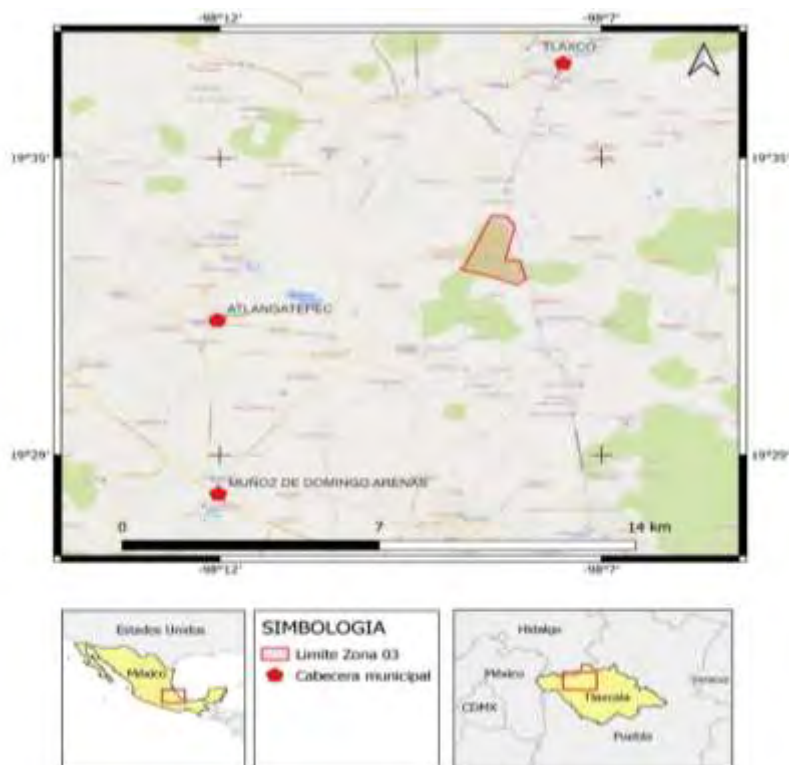


Figura 1. Localización geográfica del bosque de *Juniperus* sp. en el área de estudio.

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano entre 600 y 700 mm. La temperatura promedio máxima anual registrada es de 20.7°C; una vegetación compuesta principalmente por bosque de sabino, el cual en la mayoría de los casos se encuentra fuertemente perturbado, o bien ha sido desplazado por la agricultura. La especie dominante es el sabino (*Juniperus deppena* Steud.), y cuando la densidad del arbolado es baja, se asocian otras especies de árboles, arbustos y hierbas. Es muy común encontrar este bosque asociado a elementos propios del matorral xerófito y al bosque de encino.

Fotografías aéreas y proceso fotogramétrico

Se obtuvieron 280 fotografías aéreas de un bosque de *Juniperus* sp., mediante un vuelo autónomo a una altura de 100 m y solape de 70% entre fotografías y líneas de vuelo. Para ello, se utilizó un dron DJI modelo Mavic 2 Pro, equipado con una cámara digital del 20 Mpx. Las fotografías aéreas se procesaron con el software OpenDronMap®, especializado para fotogrametría digital, en una laptop marca Acer® modelo nitro 5 con procesador CORE i7 2.30 GHz y memoria RAM de 16.0 GB. El resultado del proceso fotogramétrico fue una orto-imagen con resolución espacial del 2.5 cm por píxel (Figura 2), que fue la base para extraer los niveles de coloración de las bandas roja, verde y azul.



Figura 2. Ortomosaico de alta resolución generado a partir fotografías tomadas con un dron de bajo costo de un bosque de *Juniperus* sp.

Con la combinación de estas bandas, se generaron los índices de vegetación (IV) del verde-rojo (GRVI, por sus siglas en inglés), índice Visible de Resistencia Atmosférica (VARI, por sus siglas en inglés), índice de Diferencia Verde-Rojo Normalizado (NGRDI, por sus siglas en inglés) y el índice de Hoja Verde (GLI, por sus siglas en inglés) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices de vegetación generados a partir de valores de color de una ortoimagen de alta resolución de un bosque de *Juniperus* sp.

Índice de vegetación	Estructura matemática	Descripción
GRVI	$GRVI = \frac{\rho_{Red} - \rho_{Green}}{\rho_{Red} + \rho_{Green}}$	La vegetación verde, el suelo y el agua tienen valores de GRVI positivos, negativos y cercanos a cero, respectivamente. Permite distinguir entre la vegetación verde y otros tipos de coberturas del suelo (Motohka <i>et al.</i> , 2010)
VARI	$VARI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Blue} - \rho(\rho_{Green} - \rho_{Blue})}$	VARI es una medida indirecta desarrollada a partir del Índice de Área Foliar (LAI) y fracción de vegetación (VF) basada en los valores de reflectancia de las longitudes de onda visibles (Anisa y Hermina, 2020).
NGRDI	$NGRDI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Red}}$	La diferencia entre los números digitales verde y rojo diferencia entre plantas y suelo, y la suma se normaliza según las variaciones en la intensidad de la luz entre diferentes imágenes (Hunt <i>et al.</i> , 2015).
GLI	$GLI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red} + \rho_{Green} - \rho_{Blue}}{2 \cdot \rho_{Green} + \rho_{Red} + \rho_{Blue}}$	El GLI describe la superficie potencial disponible para el intercambio de gases foliares entre la atmósfera y la biosfera terrestre. Se asocia a procesos biológicos y físicos de la vegetación, incluida la interceptación de la luz y lluvia, la atenuación de la luz a través del

Índice de vegetación	Estructura matemática	Descripción
		dosel, la transpiración, la fotosíntesis, la respiración autótrofa y el carbono y los nutrientes (Viña <i>et al.</i> , 2011)

Donde: ρ_{Red} , es la capa roja, ρ_{Green} es la capa verde ρ_{Blue} corresponde a la capa azul.

Para homogeneizar la información del color de las capas roja, verde y azul (valores de 0-255), se realizó una estandarización Z score, que consiste en restar el valor observado menos la media poblacional y luego dividirlo entre la desviación estándar (Ecuación 1). En la Figura 3 se presentan las capas de color del rojo, verde, azul estandarizadas y los IV.

$$Z = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Donde: X_i es el valor del color de cada píxel de la capa, μ es la media poblacional (de todos los pixeles) y σ es la desviación estándar.

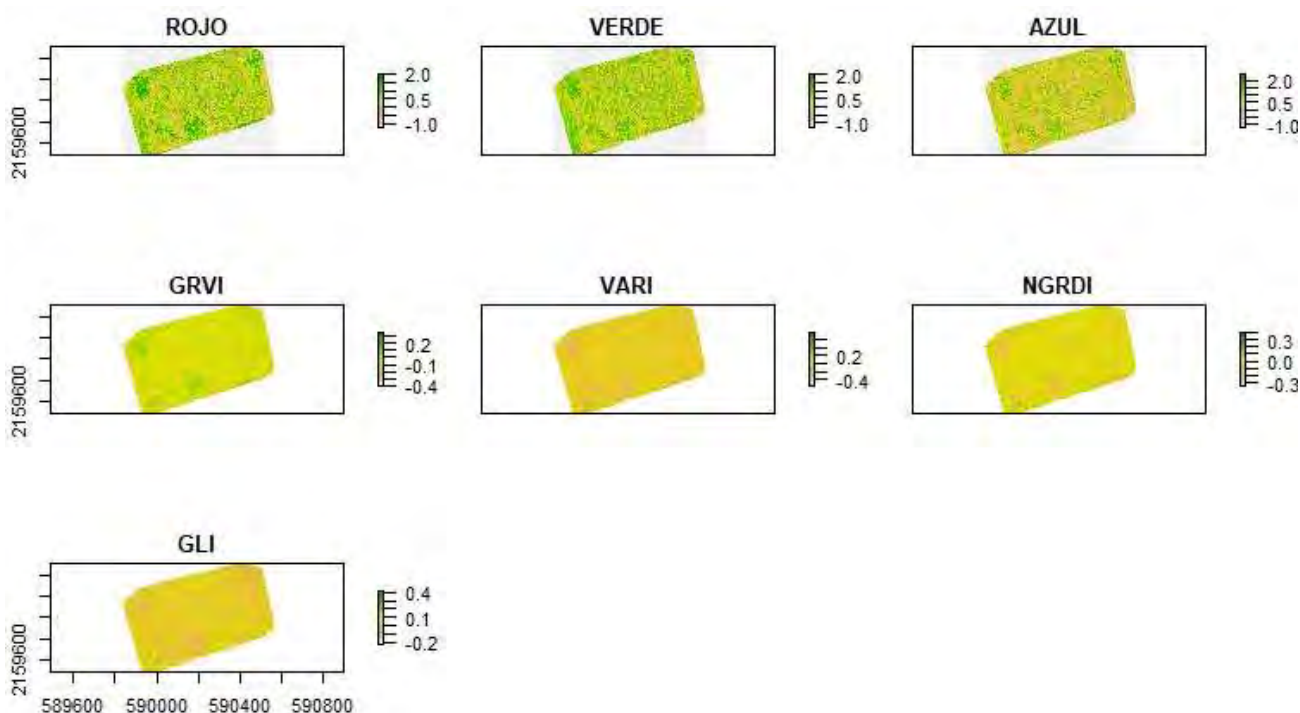


Figura 3. Capas roja, verde y azul e índices de vegetación generados a partir de fotografías de drones.

Clasificación de la cobertura del suelo

Se llevó a cabo una clasificación supervisada; para ello, se emplearon 228 campos de entrenamiento generados a partir de la orto-imagen original y recorridos de campo. Estos registros fueron polígonos asignados a un tipo de cobertura del suelo, definidas como: suelo desnudo, árboles muertos, cuerpos de agua, herbáceas, *Pinus* spp., *Juniperus* sp. y sombras. Para cada campo se extrajo el valor medio de los píxeles del conjunto de capas y el IV, mediante la librería ráster del programa R®. Con estos datos se conformó una base para realizar un análisis de varianza y una comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) que permitieron detectar diferencias entre clases de cobertura y entre capas. Las diferencias se visualizaron con una gráfica de caja y bigotes. Se utilizó el algoritmo de aprendizaje automático de clasificación y regresión Random Forest (RF) desarrollado por Breiman (2001), método utilizado en los últimos años para clasificar la vegetación a nivel macroescala (Mellor *et al.*, 2013). RF genera y combina árboles predictivos, caracterizados por su capacidad para seleccionar vectores aleatorios de la muestra, con distribuciones iguales. Cada árbol se entrena con una muestra aleatoria extraída de los datos de entrenamiento originales, para lo cual se usa la media de cada remuestreo con reemplazo (Medina-Merino y Ñique-Chacón, 2017). El algoritmo se entrenó tomando aleatoriamente 80% de los 228 campos identificados para la clasificación, el resto (20%) se utilizó para validar el rendimiento del clasificador mediante una validación cruzada de $k=10$ iteraciones (k -fold validación-cruzada). Este método divide los datos totales en k subconjuntos, de forma que el modelo emplea un subconjunto diferente en cada validación $k-1$ (Anguita *et al.*, 2012). Para la clasificación se utilizó la librería randomForest del software R® (R Development Core Team, 2021).

Se estimó la precisión y el índice Kappa utilizando una matriz de confusión (Congalton y Green 2008). La precisión se obtuvo dividiendo el número de píxeles identificados correctamente para una clase de vegetación entre el número total de píxeles que el modelo predijo para la misma clase (Abraira, 2001). El índice Kappa (k) es la relación entre la proporción de veces en que los clasificadores coinciden y la proporción máxima de veces en que los clasificadores podrían estar de acuerdo, que a su vez se corrigen para que haya concordancia con las probabilidades (Abraira, 2001). A través de la matriz de confusión, se estimó la precisión del productor y del usuario, con sus respectivos errores de omisión y comisión para cada clase de cobertura. El error de omisión corresponde a los píxeles de una clase de cobertura que no fueron

clasificados de esta forma, mientras que el error de comisión se refiere a los píxeles clasificados como una clase de cobertura a la que no pertenecen (Sánchez-Muñoz, 2016).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para las capas roja, verde, azul y los IV (p -valor < 0.01). Estas diferencias reflejan el potencial que representan las fotografías aéreas tomadas con drones de bajo costo para clasificar la cobertura de suelo. Además, se observó que existen clases que se diferencian en todas las bandas e IV (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valor medio del color de las capas del rojo, verde y azul e índices de vegetación, así como la comparación de medias entres clases de cobertura del suelo.

Clase de cobertura del suelo	Rojo	Verde	Azul	NGRDI	VARI	GRVI	GLI
Suelo desnudo	1.6647 a	1.42 a	1.6463 a	-0.046 c	-0.0841 d	0.0463 b	-0.0127 d
Árboles muertos	0.8672 b	0.5211 c	0.7154 b	-0.0931 d	-0.1625 e	0.0931 a	-0.0423 e
Cuerpos de agua	1.7508 a	1.4423 a	1.4923 a	-0.0561 c	-0.097 d	0.0561 b	-0.0039 d
Herbáceas	0.7833 b	0.8697 b	0.8528 b	0.0197 b	0.0345 c	-0.0197 c	0.0444 c
<i>Pinus</i> spp.	0.3567 c	0.4782 c	0.4657 c	0.0666 a	0.1231 a	-0.0666 d	0.0715 b
<i>Juniperus</i> sp.	0.2789 c	0.4364 c	0.1312 d	0.0272 b	0.0428 c	-0.0272 c	0.0962 a
Sombras	-0.8899 d	-0.8878 d	-0.7962 e	0.0401 b	0.0813 b	-0.0401 c	0.0284 c

GRVI = índice del verde-rojo, VARI= índice visible de resistencia atmosférica, NGRDI= índice GLI= el índice de hoja verde.

Al respecto, el suelo desnudo y los cuerpos de agua fueron diferentes a la vegetación herbácea y el estrato arbóreo, lo anterior se visualiza en la Figura 4; ello reafirma la separación entre las clases, principalmente la vegetación del estrato arbóreo conformado por *Pinus* spp. y *Juniperus* sp.; que tuvieron valores altos en los índices VARI, NGRDI y GLI, mientras que estas mismas clases presentaron valores bajos para las capas roja, verde y azul.

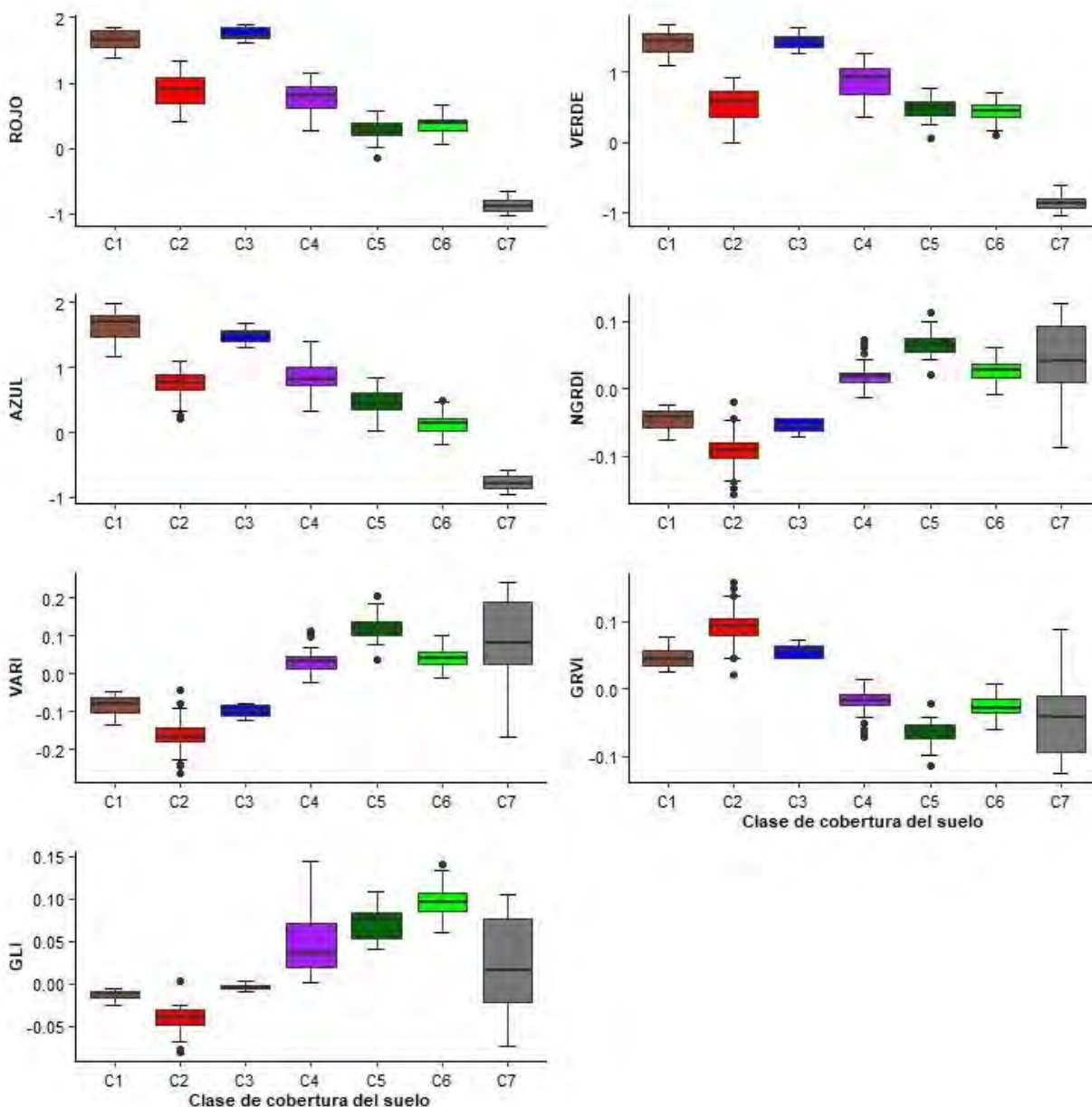


Figura 4. Valores de las capas e índices de vegetación para las clases de cobertura del suelo: C1= suelo desnudo, C2 = árboles muertos, C3 = cuerpos de agua, C4 = herbáceas, C5 = *Pinus spp.*, C6= *Juniperus sp.* y C7 = sombras.

Los índices de vegetación generaron una clasificación más robusta, ya que índices como el GLI muestran claras diferencias en las características de la clorofila entre los distintos niveles de verdor de los árboles y herbáceas. En este sentido, Olariu *et al.* (2022) con los índices de

diferencia del verde-rojo y el GLI para clasificar mesquites, encinos y juníperos obtuvieron diferencias significativas entre los índices de vegetación de esas especies.

En la clasificación con RF se logró una precisión global de 87% y un índice Kappa de 0.82 en la clasificación de la cobertura del suelo. Estos valores son aceptables para el tipo de información utilizada, ya que fueron superiores a los estándares actuales (Díaz-Varela *et al.*, 2018), y generalmente la clasificación de vegetación se realiza utilizando imágenes multiespectrales. Los errores de omisión y de comisión fueron menores en las clases de cuerpos de agua (3%) y suelo desnudo (6%). La mayor confusión se presentó al clasificar las clases de estrato herbáceo, *Pinus* spp. y *Juniperus* sp. En cuanto al estrato herbáceo, el principal error fue por omisión (zonas clasificadas diferentes, pero que pertenecen al estrato herbáceo); en la clase de *Pinus* spp. y *Juniperus* sp. sus errores de omisión y comisión fueron menores a 15%, lo que se puede considerar como un error bajo en la clasificación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de confusión de la clasificación de cobertura del suelo mediante imágenes aéreas tomadas con drones de bajo costo de un bosque de *Juniperus* sp.

Clase de cobertura del suelo	Suelo desnudo	ÁrM	CAg	Herb	P. spp.	J. sp.	Som	T	PrProd (%)	ErCom (%)
Suelo desnudo	12865	717	80	4	1	4	0	13671	94	6
Árboles muertos	724	4437	8	50	48	75	1	5343	83	17
Cuerpos de agua	91	2	3334	0	0	0	0	3427	97	3
Herbáceas	8	39	0	2535	749	1075	0	4406	58	42
<i>Pinus</i> spp.	1	60	0	784	16338	1552	25	18760	87	13
<i>Juniperus</i> sp.	5	76	0	831	1627	17240	5	19784	87	13
Sombras	0	3	0	0	34	8	143	188	76	24
Total	13694	5334	3422	4204	18797	19954	174	Precisión global		87%
Precisión de usuario (%)	94	83	97	60	87	86	82	Índice Kappa		0.82
Error de omisión (%)	6	17	3	40	13	14	18			

ArM: Árbol muerto; CAG: Cuerpo de agua; Herb:Herbáceas; P. spp.: *Pinus* spp.; J. sp.: *Juniperus* sp.; Som: Sombras; T: Total; PrProd: Presición de productor; ErCom: Error de comisión.

Estos resultados son ligeramente inferiores a los citados por Ordóñez *et al.* (2024), quienes señalan precisiones de 82% a 96% para la clasificación de coníferas, encinos, latifoliadas, especies herbáceas, suelo desnudo y sobras; esas diferencias pueden asociarse al tipo de vegetación y al sensor utilizado, ya que en su estudio emplearon imágenes multiespectrales tomadas con dron. Olariu *et al.* (2022) probaron diferentes algoritmos para clasificar un bosque conformado por mezquite, encinos y juníperos mediante imágenes RGB; obtuvieron precisiones globales que de 77.1 a 93.8% e índices Kappa de 0.71 a 0.92. Sus mejores resultados los registraron con el algoritmo de Máquinas de Soporte Vectorial y los menores con Regresión Lineal Múltiple. Estos resultados son ligeramente mayores a los de la presente investigación, lo cual está asociada al tipo de algoritmo, vegetación y las capas e índices de vegetación usados para la clasificación.

El mapeo mediante fotografías aéreas, tomadas con un dron de bajo costo, representó con claridad la distribución espacial de las clases de cobertura del suelo (Figura 5).

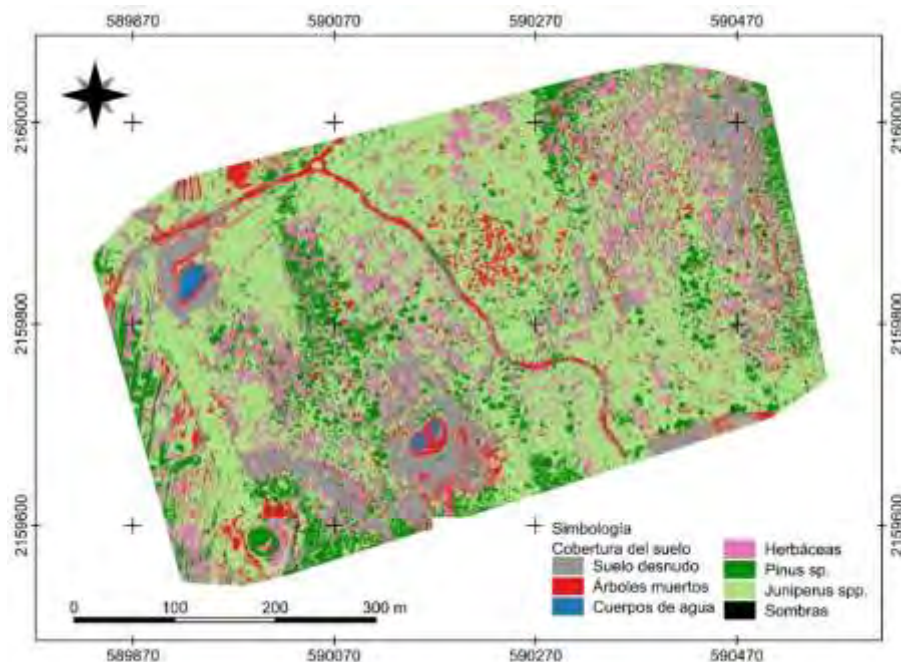


Figura 5. Clasificación de la cobertura del suelo utilizando imágenes aéreas tomadas con dron de bajo costo y la implementación del algoritmo Random Forest.

La clase de suelo desnudo se registró de manera fiel y mostró áreas altamente erosionadas. Al igual, la clase de árboles muertos fue bien identificada. Sin embargo, los árboles se confunden con el estrato herbáceo seco ubicado a las orillas de los caminos y cuerpos de agua. Por otra parte, se logró separar los individuos de pino de los sabinos, información sobresaliente para la zonificación y el manejo del bosque. Los rodales de *Juniperus* sp. cubrieron 48% de la superficie estudiada, se estimó que 11% de esta presenta suelos degradados, en los que se requiere de obras de restauración y conservación (Figura 6).

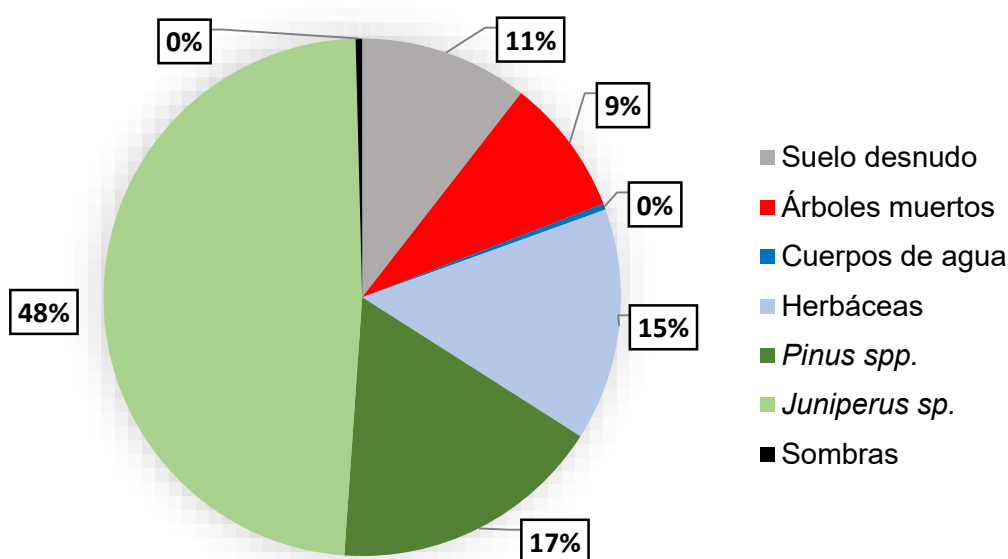


Figura 6. Clases de cobertura del suelo estimada mediante clasificación de imágenes digitales (digitales) tomadas con dron.

En general, los hallazgos evidenciaron que los sensores RGB montados en drones fueron capaces de proporcionar clasificaciones precisas de especies leñosas en rodales abiertos de bosques de juníperos. Esta clasificación podría mejorar incorporando el modelo digital de dosel, para separar aún más los árboles del estrato herbáceo.

Conclusiones

La tecnología de drones equipados con sensores remotos permite mapear la cobertura del suelo con alta precisión y a una resolución fina; y con ello separar la vegetación dentro de una clase de cobertura macro (forestal). Las imágenes RGB de alta resolución espacial tomadas con un dron y procesadas mediante la incorporación de técnicas de aprendizaje automático como Random Forest mejoran la clasificación de vegetación de un bosque de sabino (*Juniperus deppeana*). Además, diferencian adecuadamente los usos de suelo presentes en la zona de estudio, con una precisión global de 87% y un índice Kappa de 0.82. Por lo que, esta tecnología es una alternativa viable para actualizar los mapas de vegetación a un costo asequible, sobre todo para proyectos forestales de pequeña escala.

Literatura citada

- Abraira, V. 2001. El índice kappa. SEMERGEN, 27(5), 247-249.
- Anisa, M. N., y R. Hernina. 2020. UAV application to estimate oil palm trees health using Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) (Case study of Cikabayan Research Farm, Bogor City). In E3S Web of Conferences, Vol. 211. p. 05001. EDP Sciences.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. Machine Learning, 45: 5-32.
- Congalton, R.G., y K. Green. 2008. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Second Edition. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Díaz-Varela, R. A., S. Calvo Iglesias, C. Cillero Castro y E. R. Díaz-Varela. 2018. Sub-metric analysis of vegetation structure in bog heathland mosaics using very high resolution RPAS imagery. Ecological Indicators, 89:861-873.

- Gallardo-Salazar, J. L., M. Pompa-García, C. A. Aguirre-Salado, P. M. López-Serrano y A. Meléndez-Soto. 2020. Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61): 27-50.
- Guevara-Bonilla, M., E. Ortiz-Malavasi, J. Hernández-Cole, y V. Villalobos-Barquero. 2023. Vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo del estado nutricional y fitosanitario de cultivos forestales. *Colombia Forestal*, 26(1): 123-133.
- Hunt, E. R., M. Cavigelli, C. S. Daughtry, J. E. McMurtrey y C. L. Walthall. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6: 359-378.
- Medina-Merino, R. F. y C. I. Ñique-Chacón, 2017. Bosques aleatorios como extensión de los árboles de clasificación con los programas R y Python. *Interfaces*, 0(10): 165.
- Mellor, A., A. Haywood, C. Stone y S. Jones. 2013. The performance of random forests in an operational setting for large area sclerophyll forest classification. *Remote Sensing*, 5(6): 2838-2856
- Motohka, T., K. N. Nasahara, H. Oguma y S. Tsuchida. 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2(10): 2369-2387.
- Olariu, H. G., L. Malambo, S. C. Popescu, C. Virgil y B. P. Wilcox. 2022. Woody plant encroachment: Evaluating methodologies for semiarid woody species classification from drone images. *Remote Sensing*, 14(7): 1665.
- Ordóñez, P., C., J. R. Valdez-Lazalde, H. Flores-Magdaleno, G. Ángeles-Pérez, H. M. de los Santos-Posadas y E. Buendía-Rodríguez. 2024. Implicaciones operativas de la resolución espacial de imágenes de drones en el mapeo de la vegetación para el manejo forestal. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(2): 1-18.

- R Development Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sánchez-Muñoz, J. M. 2016. Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. G.I.E Pensamiento Matemático, 6(2): 9-26.
- Tello, C. M., P. M. L. Serrano, V. R. Ramírez, A. T. Miranda y M. D. U. Salas. 2021. Experiencia educativa de drones en silvicultura 4.0, competencias específicas del profesional forestal. e-CUCBA, (17): 79-87.
- Vega-Puga, M. G., J. R. Romo-León, A. E. Castellanos, R. A. Castillo-Gámez y J. Garatuza-Payán. 2024. Uso de vehículos aéreos no tripulados para la estimación de almacén de carbono en biomasa aérea de matorral subtropical. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente, 30(2): 1–18.
- Viña, A., A. A. Gitelson, A. L. Nguy-Robertson y Y. Peng. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. Remote sensing of environment, 115(12): 3468-3478.
- Yu, Q., P. Gong, N. Clinton, G. Biging, M. Kelly y D. Schirokauer. 2006. Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(7): 799-811.

BIODETERIORO EN MADERA PRESERVADA DE AILE, ENCINO, PINO Y PAPALOTE

Jesús Mao Aguilar Luna^{321*}, Juan Manuel Loeza Corte³²², Liliana Hernández Vargas³²¹
y Julia García Luna³²¹

Resumen

La madera es un material orgánico, poroso, fisiológicamente inactivo, fibroso, higroscópico, anisotrópico, elástico y ortotrópico; sufre pérdida de biomasa y se descompone aun preservándola con diversos productos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el biodeterioro de la madera de aile (*Alnus acuminata*), encino (*Quercus rugosa*), pino (*Pinus patula*) y papalote (*Platanus mexicana*) preservada y expuesta al microcosmos edáfico durante 36 meses. Se realizaron cuatro tratamientos preservativos a las cuatro especies, dos tratamientos con aplicación de lasur de Droptec® y dos con aplicación de barniz AD-0051 de Sayer®. Para cada tratamiento se evaluaron a 12% y 30% de contenido de humedad. Las probetas, de 10 x 10 x 2 cm, se etiquetaron y enterraron a 5 cm de profundidad en un área circular de 200 m², con pendiente < 20%, en un suelo luvisol perteneciente a un bosque de pino-encino en la Sierra Norte de Puebla (19°46'15" N, 97°50'47" O y 2516 msnm). La pérdida de biomasa se obtuvo a partir del peso seco inicial - peso seco final / entre peso seco inicial. Se estableció un diseño factorial, con cuatro repeticiones, los datos se sometieron a ANOVAS y se realizó una comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), el software empleado fue Rstudio. Hubo diferencia estadística significativas entre tratamientos, el lasur resultó ser un mejor preservador que el barniz en muestras de madera seca. En especímenes con 12% de humedad, el biodeterioro se redujo hasta en 59% comparado con probetas al 30% de humedad. En especímenes secos y tratados con lasur, se obtuvo un menor biodeterioro (4.53%). En las probetas con humedad $\geq 30\%$, ningún producto ofreció protección efectiva para reducir el biodeterioro, ya que la pérdida de biomasa fue alta, especialmente en aile y encino. Para las maderas de pino y papalote, el barniz resultó ser ligeramente más efectivo, para preservarlas.

Palabras clave: barniz, lasur, microcosmos edáfico

³²¹ Ingeniería Agroforestal, BUAP. *Autor por correspondencia: mao.aguilar@correo.buap.mx

³²² Ingeniería en Agroindustrias, UNCA.

MORFOLOGÍA DEL POLEN DE *Pinus greggii* Engelm. DE INDIVIDUOS DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIE EN CERRO DE LEÓN, VERACRUZ

Elba Olivia Ramírez García^{323*}, Danna Paola Torres Campillo³²⁴, Juan Márquez Ramírez³²³, Héctor Cruz Jiménez³²³, Juan Alba Landa³²³ y Lilia del C. Mendizábal Hernández³²³

Resumen

Pinus greggii Engelm. es una especie endémica de México, con importancia comercial y ecológica, utilizada para reforestar terrenos degradados por su adaptabilidad. Resultando necesario optimizar el proceso de obtención de plántulas, mediante el entendimiento de su ciclo reproductivo, para ello, se considera prioritario el estudio del polen. La presente investigación determinó la variación morfométrica del polen de *Pinus greggii*, de un ensayo de procedencias/progenie, establecido en Cerro de León, Veracruz. Se analizaron 1800 granos de polen, de 20 individuos de las procedencias Naolinco y Huayacocotla, del estado de Veracruz. Los caracteres morfológicos fueron descritos mediante observación en microscopía electrónica; mientras que la medición de las variables morfométricas: espesor, eje polar y ecuatorial total, la relación del eje polar/eje ecuatorial, el eje polar y eje ecuatorial de las alas del polen y de la célula principal, se realizó a partir de capturas fotográficas en microscopia de campo claro con ayuda del software Motic Image Plus. Los datos se procesaron con el Software Statistica (2010), obteniendo estadísticas descriptivas y análisis de varianza. Mediante la observación con el microscopio electrónico de barrido, se determinó que el polen de ambas procedencias evaluadas, como bisacados, inaperturados, con exina perforada y escultura verrucada-rugulada en la zona proximal de la célula principal y, foveolada en el ala. Además, la media obtenida para las variables es mayor en la procedencia de Huayacocotla que en la de Naolinco (ejemplos, Eje polar y ecuatorial total: 62.248 μm y 71.132 μm ; 53.131 μm y 59.930 μm , respectivamente), encontrándose diferencias significativas en los caracteres morfométricos entre y dentro de procedencias. Las condiciones ambientales del lugar de procedencia de los individuos analizados, influyeron sobre la morfología del grano de polen ocasionando variaciones. Los resultados obtenidos en este estudio, contribuyen con información básica sobre biología reproductiva, de las procedencias y familias evaluadas de *Pinus greggii*, que pueden ser útiles para el desarrollo de futuros trabajos de conservación y mejora genética por hibridación.

Palabras clave: *Pinus greggii*, polen, caracteres micromorfológicos. variación, uso, conservación

³²³ Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: elramirez@uv.mx

³²⁴ Facultad de Biología. Universidad Veracruzana.

PRODUCCIÓN DE CONOS EN UN HUERTO SEMILLERO CLONAL DE *Pinus patula* EN AQUIXTLA, PUEBLA

Liliana Muñoz Gutiérrez^{325*}

Resumen

Conocer la magnitud y variación en la producción de conos, en los huertos semilleros, es importante para la planeación y desarrollo de actividades orientadas, a mejorar la producción de semillas de calidad genética. Por lo anterior, el objetivo fue determinar la correlación entre años de producción de conos de clones de *Pinus patula*. El estudio se realizó en el huerto semillero clonal de ocho años, establecido en la Reserva Forestal Multifuncional “El Manantial”, predio Chichicaxtla, Aquixtla, Puebla (19° 43’13” N, 97° 59’20” O, 2,860 m). De los 31 clones establecidos, con diferente número de rametos, se recolectó la totalidad de los conos maduros presentes en la copa, de todos los clones, en abril de los años 2021, 2022, 2023 y 2024. Se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson, de la producción promedio de conos por clon, a través del programa de análisis estadístico SAS y, se obtuvieron las estadísticas descriptivas por año. La producción promedio por árbol varió de 30 conos en 2021, 147 en 2022, 166 en 2023, hasta 210 conos en 2024, además, este último año con valores mínimos de 46 hasta máximos de 621 conos. Los coeficientes de correlación entre años de producción fueron, entre 2021 y 2022 de 0.62 ($p \leq 0.01$); entre los ciclos 2021-2023 de 0.55 ($p \leq 0.03$), 2022-2024 de 0.73 ($p \leq 0.001$) y 2023-2024 de 0.89 ($p \leq 0.0001$). Las diferencias entre clones se han ido acentuando conforme a la edad del arbolado, incrementando la formación de conos a partir de la primera cosecha cuando el huerto tenía cinco años. Sin embargo, la capacidad productiva de los clones varió ampliamente con diferencias mayores en el año 2023, ya que el coeficiente de variación fue mayor (103.36 vs 85.0% en promedio de los otros tres años). De manera similar ocurrió con los coeficientes de correlación, a medida que la edad del arbolado incrementa y su capacidad de producir conos, la correlación es mayor (2023-2024, 0.89) con diferencias altamente significativas. Esto indica que los clones son relativamente estables, en su potencial de producción de conos, en los diferentes ciclos de cosecha.

Palabras clave: clones, conos, variación

³²⁵ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP. *Autor de correspondencia: gutierrez.liliana@inifap.gob.mx

ELEMENTOS TÉCNICOS FUNDAMENTALES PARA USAR LA APLICACIÓN INFORMÁTICA SIIMADER EN LA PRESCRIPCIÓN DE ACLAREOS

Juan Carlos Tamarit Urias^{326*} y Melchor Rodríguez Acosta³²⁷

Resumen

Las aplicaciones informáticas (AI) disponibles en la Web para apoyar el manejo forestal son una tendencia actual, creciente y global. En México, para gestionar el manejo de la densidad de bosques regulares mediante la prescripción de aclareos se dispone de la AI Siimader® (Sistema Informático INIFAP para Manejar la Densidad de Rodales), la cual como herramienta informática e innovación tecnológica en línea (<https://www.siimader.com>) automatiza los procesos de evaluación del nivel de densidad y competencia de rodales coetáneos, de generación de guías de densidad y de prescripción de programas de aclareos. Para utilizar eficientemente la AI Siimader se planteó el objetivo de identificar los elementos técnicos fundamentales que faciliten su uso práctico e inmediato para tomar decisiones informadas en la prescripción de aclareos. El Siimader se sometió a una prueba de validación para su posterior transferencia a prestadores de servicios técnicos forestales, quienes identificaron los siguientes elementos: (1) realizar el registro para disponer de Usuario y Contraseña; (2) previamente preparar información dasométrica en sitios de muestreo circulares de 1000 m² por rodal y predio, la especie principal de interés (conífera o latifoliada) debe ser dominante en abundancia en al menos 80% del sitio y conformar rodales coetáneos, la información se tendrá en un archivo de Excel formato csv UTF-8 con las variables (campos) requisitados que especifica el manual de usuario del Siimader; (3) para la especie dominante de interés previamente se dispondrá de los valores para los parámetros (α y β) de las funciones linealizadas de Reineke ($\ln(N) = \alpha + \beta \cdot \ln(Dq)$) y de Yoda ($\ln(Vp) = \alpha + \beta \cdot \ln(N)$), donde N es la densidad (número de árboles/ha), Dq es el diámetro cuadrático medio, Vp es el volumen promedio por árbol y ln es logaritmo natural; (4) disponer para las especies presentes en el predio o rodal por trabajar de los valores para los parámetros del modelo de volumen total árbol (vta) de Schumacher-Hall no lineal ($vta = \alpha_0 \cdot Dn^{\alpha_1} \cdot At^{\alpha_2}$) o lineal ($\ln(vta) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln(Dn) + \alpha_2 \cdot \ln(At)$), donde Dn es el diámetro normal en cm y At es la altura total en m. La atención y cumplimiento de los elementos técnicos referidos hará que el Siimader tenga mayor funcionalidad operativa y efectividad para el silvicultor.

Palabras clave: innovación tecnológica, manejo de la densidad, rodales coetáneos

³²⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *Autor de correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx.

³²⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Ixtacuaco.

CONSERVACIÓN *in situ* Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE *Pinus hartwegii* Lindl.

Andrés Flores^{328*}, Tomás Pineda Ojeda³²⁹, Enrique Buendía Rodríguez³²⁹, Eulogio Flores Ayala³²⁹
y Jorge Méndez González³³⁰

Resumen

En México, no se registran esfuerzos de conservación genética *in situ* para *Pinus hartwegii*, los cuales garanticen su continuidad en el tiempo, ante los escenarios climáticos futuros. Por lo anterior, es necesario definir sitios para preservar el material genético dentro de su distribución natural. El objetivo del presente trabajo fue definir unidades de conservación genética (UCG) de *P. hartwegii* y determinar el uso de sus recursos genéticos. Se determinó la distribución de la especie en zonas genéticas, con base en los registros de latitud y longitud del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Después, se definieron las unidades de conservación genética con base en seis criterios de selección, que consideraron el tamaño de la población, el tipo de gestión, el monitoreo y el régimen de propiedad. Finalmente, para el uso de los recursos genéticos de las especies en cada zona genética, se tomó en cuenta el número de árboles muestreados por el INFyS, número de poblaciones con datos moleculares, número de poblaciones con rodales semilleros, número de individuos seleccionados para pruebas de progenie, número de poblaciones presentes en pruebas de procedencia y el número de huertos de semilleros. Los resultados mostraron la presencia de la especie en nueve zonas genéticas, pero solo en seis de ellas (V.3, X.2, X.3, XII.3, XII.4 y XII.5) se definieron ocho UCG. De estas zonas, 75% contaban con información genética existente (caracterización molecular) y el 25% se ubicaron dentro de bosques naturales. En cuando al uso de los recursos genéticos de la especie, la cantidad de árboles muestreados durante el INFyS (2004 a 2007) no fue tan alta, solo el 66% de las zonas genéticas contó con información genética molecular. En estas zonas, solo se han establecido rodales semilleros y ensayos de procedencias, pero no pruebas de progenie ni huertos semilleros.

Palabras clave: diversidad genética, pino de las alturas, unidades de conservación genética

³²⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CENID-COMEF. Progreso 5, Alcaldía Coyoacán, CP. 04010, Ciudad de México, México. Correo-e: flores.andres@inifap.gob.mx

³²⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Centro. CEVAMEX. Km. 13.5 Carr. Los Reyes- Texcoco, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. México.

³³⁰ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. Calle Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315. Saltillo, Coahuila, México.

MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR ALTURA, VOLUMEN Y BIOMASA EN TRES ESPECIES GIGANTES DE BAMBÚ

Juan Carlos Tamarit Urias^{331*}, Casimiro Ordóñez Prado³³¹, Melchor Rodríguez Acosta³³²
y Martha Elena Fuentes López³³¹

Resumen

Los bambúes tienen altas tasas de crecimiento y de producción de biomasa, para México se citan 65 especies; de ellas, las de porte alto generan servicios ecosistémicos como captura de carbono, producción de agua, protección del suelo y conservación de biodiversidad; además, son materia prima para elaborar una amplia gama de productos. Pese a su importancia, los estudios en México orientados a la generación de herramientas biométricas para realizar estimaciones cuantitativas mediante inventarios sobre volumen, biomasa y carbono son escasos. Por lo anterior, se planteó el objetivo de desarrollar modelos alométricos que permitan estimar la altura, volumen y biomasa de *Guadua aculeata* Rupr. ex E. Fourn., *G. angustifolia* Kunth y *Bambusa oldhamii* Munro en Puebla, México. A partir de muestreos destructivos de ejemplares de esas especies, se colectó información biométrica e y se conformaron bases de datos exprofeso, que se procesaron mediante el ajuste estadístico por regresión de funciones alométricas para altura, ahusamiento-volumen y biomasa. Los resultados relevantes están en el orden de las especies como antes fueron referidas: (1) para estimar la altura total (At) de culmos en función del diámetro normal (Dn) se debe usar el modelo de crecimiento logístico ($At = 1.3 + \beta_0 / (1 + \beta_1 \cdot e^{\beta_2 Dn})$), con $e=2.7182818$, cuyos valores de los parámetros son 25.9352, 14.3129 y 0.3819; 25.9352, 4.1834 y 0.2062 y; 25.9352, 14.3129 y 0.3819, respectivamente; (2) para estimar el volumen aparente (v_a) del culmo se emplea el modelo de Schumacher-Hall ($v_a = \beta_0 \cdot Dn^{\beta_1} \cdot At^{\beta_2}$), con valores de los parámetros para las dos primeras especies de 0.000056, 1.97602 y 0.87979; en *B. oldhamii* usar 0.000056, 2.021715 y 0.877979, respectivamente; (3) para la biomasa aérea seca por componente y total ($B_{culmo} + B_{ramas} + B_{follaje} = B_t$) se utiliza un sistema de ecuaciones aditivas basado en un modelo alométrico potencial ($B_i = \alpha Dn^{\beta}$), cuyos valores de los parámetros ordenados por componente y especie son: -3.06939, 0.83043, -6.00135, 0.847316, -9.56672 y 1.264337; -3.79362, 0.912742, -1.293901, 0.159006, -24.78722 y 3.051848 y; -4.44154, 1.010929, -0.242134, 0.143066, -0.506478 y 0.088767, respectivamente. Las ecuaciones alométricas generadas en forma de sistema de cubicación y ecuaciones aditivas son tecnologías biométricas fundamentales para conservar, manejar y aprovechar rodales naturales y plantaciones comerciales de los taxones de bambú estudiados.

Palabras clave: perfil fustal, volumen aparente, biomasa aérea

³³¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *Autor de correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx.

³³² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Ixtacuaco.

PRODUCCIÓN DE BIOMASA, CAPTURA DE C Y FIJACIÓN DE CO_{2e} DEL BAMBÚ EXÓTICO *Dendrocalamus giganteus* Munro

Juan Carlos Tamarit Urias^{333*}, Lucía Hernández Adame³³⁴, Melchor Rodríguez Acosta³³⁵
y Martha Elena Fuentes López³³³

Resumen

El cambio climático actual es el problema ambiental, económico y social más desafiante para la humanidad. El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero que contribuye con 51% del calentamiento global. Ante esta problemática debe estudiarse el almacenamiento de carbono por las plantas; y el bambú puede ser una opción para secuestrar C y absorber CO₂ atmosférico, pero es prioritario determinar para cada taxón su potencial de captura de C y de fijación para CO₂. El objetivo fue generar un sistema de ecuaciones aditivas que estime la producción de biomasa aérea, determinar el contenido de C y calcular la fijación de CO₂ equivalente (CO_{2e}) en *Dendrocalamus giganteus* Munro en Puebla, México. Se colectaron en el *Bambusetum* del INIFAP, localizado en el predio Las Margaritas, Hueytamalco, Puebla, 15 ejemplares de cuatro años. En cada individuo derribado se midió el diámetro normal (Dn en cm) y la altura total (At en m), cada componente de biomasa aérea se separó y pesó en condición verde: culmo, ramas y follaje (B_{cu}, B_{ra} y B_{fo}); se obtuvieron muestras de cada uno para registrar su peso verde; posteriormente se secaron hasta su condición anhidra, y se registró el peso seco y la relación peso seco a peso fresco. Se determinó el peso seco por componente, la biomasa seca total (BST) por ejemplar se obtuvo sumando la biomasa de los tres componentes. Mediante regresión aparentemente no correlacionada se generó el sistema de ecuaciones aditivas de biomasa: $B_{cu} = e^{-1.77963} \cdot Dn^{1.967919}$, $B_{ra} = e^{-1.33759} \cdot Dn^{1.251846}$ y $B_{fo} = e^{-1.62201} \cdot Dn^{1.274144}$, con $e=2.7182818$ ($R^2_{adj}=0.9241$ para BST). El peso de la BST para el ejemplar promedio (Dn=9.03 cm y At=13.81 m) fue de 20.34 kg. La fracción media de contenido de carbono orgánico (CCO) para culmo, ramas y follaje fue de 0.5259, 0.5091 y 0.4610, respectivamente; el ejemplar medio tuvo un CCO de 10.4 kg. Al aplicar el factor de proporcionalidad de 3.67, el ejemplar promedio fijó 38.16 kg de CO_{2e}. *D. giganteus* tiene alta capacidad para almacenar C, en México se perfila como una opción para generar una estrategia regional de bajo costo para fijar CO_{2e} y contribuir a mitigar el cambio climático.

Palabras clave: bambú gigante, dióxido de carbono, estrategia de mitigación

³³³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *Autor de correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx.

³³⁴ Tesista Nivel Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales y del Ambiente.

³³⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Ixtacuaco.

MERCADO DE PRODUCTOS DE BAMBÚ EN MÉXICO

Martha Elena Fuentes López^{336*}, Casimiro Ordóñez Prado³³⁶, Juan Carlos Tamarit Urias³³⁶,
Idalia Zaragoza Hernández³³⁷ y Juan Quintanar Olguin³³⁶

Resumen

El cultivo, aprovechamiento y transformación de bambú en México ha evolucionado como un sistema productivo que genera ganancias y aporta valor a la biodiversidad forestal. A pesar de la inexperiencia en el manejo y bajos niveles de comercialización, las plantaciones de bambú muestran crecimiento y desarrollo rápidos. En México se presenta, para el bambú, alta capacidad empresarial y la creación de industrias que procesan varios productos. La expansión de su mercado es impulsada por el aumento de la demanda de productos ecológicos y la búsqueda de alternativas para materiales tradicionales en diversas industrias, derivada de la creciente conciencia de sostenibilidad y las propiedades versátiles del bambú, ha propiciado una mayor adopción de esa planta en la construcción, decoración y moda. El objetivo del estudio fue determinar las tendencias de consumo de los productos de bambú en México y la percepción del consumidor sobre estos, en términos de sostenibilidad y calidad. Se incluyó un enfoque mixto de investigación secundaria de mercado: revisión de literatura, informes de mercado y análisis de tendencias en el sector de productos sostenibles; encuestas a una muestra representativa de consumidores mexicanos para evaluar sus preferencias y percepciones sobre productos de bambú. Se realizó un análisis de competencia de las empresas que operan en el mercado, respecto de sus productos y se identificó su oferta, precios y estrategias de *marketing*. Los resultados mostraron un incremento de 20% en la demanda de productos de bambú, en categorías como utensilios de cocina, muebles y artículos de higiene personal. Los consumidores valoraron la sostenibilidad y la durabilidad del bambú. En el análisis de competencia de las empresas, sus estrategias de *marketing* se centraron en la sostenibilidad y la calidad del producto, con enfoque creciente en el comercio electrónico. Los productos de exportación (artesanías), se elaboran en Jalisco, Puebla, Chiapas, Veracruz y Oaxaca. Se concluye que el consumidor percibe al bambú como alternativa ecológica viable, pero desconfía de su durabilidad. La recomendación a los empresarios es proporcionar educación al consumidor de los beneficios del bambú, resaltar sus compromisos de sostenibilidad y explorar canales de distribución en línea para ampliar su mercado.

Palabras clave: consumidor, competencia, comercialización

³³⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *Autor de correspondencia: fuentes.martha@inifap.gob.mx.

³³⁷ Técnico independiente.

EFFECTO HORMÉTICO DE DOS FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE EN LA GERMINACIÓN *in vitro* DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Laura Yasmin Flores López³³⁸, Lourdes Georgina Iglesias Andreu^{338*},
María de Lourdes Palafox Chávez³³⁹ e Ivar Diego Aceves Sánchez³³⁹

Resumen

Pinus pseudostrobus Lindl. es una de las especies de coníferas más empleada en trabajos de reforestación, pese a que sus semillas presentan porcentajes muy variados de germinación. La combinación de las técnicas de radiaciones ionizantes con las de cultivo *in vitro*, se han empleado ampliamente en el mejoramiento genético de especies agrícola, sin embargo, se han desarrollado pocos estudios sobre el efecto combinado de estas tecnologías en coníferas. Es por ello, que se propuso evaluar en el presente estudio, el efecto hormético generado sobre la capacidad germinativa, el uso de bajas dosis (0, 0.25, 0.5, 1.5, 3, 5, 7.5, 10, 12, 15, 20 y 25 Gy) de dos fuentes de radiaciones ionizantes (Cobalto-60, ⁶⁰Co y Acelerador Lineal). Con ese fin, se aplicó un diseño experimental completamente al azar, en el que se evaluó *in vitro*, durante 15 días, la germinación, la energía germinativa al 50%, el valor pico, así como: el índice germinativo de las semillas sometidas a los diferentes tratamientos de radiaciones evaluadas. Se determinaron las diferencias significativas entre los valores medios de las variables evaluadas por cada tratamiento, mediante ANOVA y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados mostraron que las dosis de ⁶⁰Co (0, 0.25, 0.5, 1.5, 3.0, 5.0 y 7.5 Gy) y, las dosis de radiación aplicadas con el Acelerador Lineal (0, 0.5, 1.5, 3.0 y 5.0 Gy), mostraron un efecto hormético sobre la capacidad germinativa (100%), que fue superior a lo observado en las semillas no irradiadas (85%). El mayor efecto hormético se obtuvo al emplear un rango de dosis específica, para cada fuente (de 0.5 a 5.0 Gy para el Acelerador Lineal y de 0.25 hasta 12 Gy para ⁶⁰Co), lo que indica que la energía emitida por cada fuente de radiación ionizante juega un papel importante. Se concluye que el empleo conjunto de las técnicas de cultivo *in vitro* y las bajas dosis de radiaciones ionizantes, pueden contribuir a la propagación masiva de especies forestales y con ello, evitar la presión que actualmente se ejerce sobre los bosques naturales.

Palabras clave: hormesis, radiaciones ionizantes, germinación, *in vitro*

³³⁸ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada. Universidad Veracruzana. Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte. Av. de las Culturas Veracruzanas Núm. 101. Colonia Emiliano Zapata, Xalapa, Veracruz, México. C. P. 91090. *Autor de correspondencia: liglesias@uv.mx

³³⁹ Departamento de Radioterapia, Centro Estatal de Cancerología Dr. Miguel Dorantes Mesa, Soconusco 31 Bis, Aguacatal, 91130 Xalapa, Veracruz, México.

ESTIMACIÓN DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS MEDIANTE VANT, EN UN RODAL DE *Pinus hartwegii* Lindl., EN EL PICO DE ORIZABA

Martha Luisa Rodríguez Espinoza^{340*}, Bernabé Colohua Citlahua³⁴¹
y Teresa de Jesús Nicolás Silva³⁴⁰

Resumen

La medición de variables dendrométricas se realiza tradicionalmente a través de muestreos en campo, sin embargo, el constante avance de la tecnología ha hecho posible su aplicación en diversas actividades en el sector forestal. Actualmente, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) han generado mucho interés por sus múltiples aplicaciones. Conocer y aplicar estas tecnologías en inventarios forestales mejora la calidad, precisión y cantidad de información. Este estudio se realizó en un rodal boscoso a 3700 m de elevación, con exposición sur en el Parque Nacional Pico de Orizaba, con el objetivo de comparar estadísticamente el levantamiento de información dendrométrica con dos métodos. Se levantaron variables de manera tradicional para 22 individuos de *P. hartwegii* Lindl., y digitalmente por medio de análisis de imágenes capturadas por el VANT, mediante procesos fotogramétricos realizados en el software Agisoft Metashape 1.8 y Global Mapper 19.0.0. Para el análisis estadístico se hicieron correlaciones y comparación de medias pareadas. Para la variable diámetro de copa, se encontró una correlación de $p = 0.83$ y, para el caso de la altura total (AT) fue de 0.95. Sin embargo, no fue posible la medición digital del diámetro normal (DN), por lo que su estimación se realizó mediante una regresión lineal, de los datos de DN obtenidos en campo en función a la AT, ecuación que presentó una correlación de 0.89. La positiva y elevada correlación sugieren que las estimaciones, de las variables analizadas, mediante el uso de VANT, no difieren de manera significativa de las mediciones realizadas en el inventario tradicional forestal. Estos datos nos arrojan el potencial de utilizar VANT, para la obtención de variables dasométricas para inventarios forestales. Asumiendo que se puede reducir el tiempo en campo, sustituyendo parte de los inventarios tradicionales mediante el uso de VANT.

Palabras clave: fotogrametría, modelo digital de elevación, dasometría

³⁴⁰ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica – Campus Tezonapa. *Autor de correspondencia: marlu.roespino@gmail.com

³⁴¹ Parque Nacional Pico de Orizaba. Orizaba, Veracruz.

EVALUACIÓN DE AGRIETAMIENTO DE CULMOS DE BAMBÚ POR SECADO

Juan Quintanar Olguín^{342*} y Martha Elena Fuentes López³⁴²

Resumen

La parte que más se emplea del bambú son los culmos, conformados por material leñoso, son rectos, huecos y cilíndricos con diámetro y espesor constante a lo largo del culmo, seccionados con nudos y entrenudos. Un proceso clave para el procesamiento de culmos es el secado, que inicia desde el instante que es cortado, presentando un agrietamiento de sus paredes a medida que disminuye la humedad de la pieza, cuya intensidad depende de características propias como diámetro, longitud, espesor, longitud de los entrenudos, contenido de humedad inicial, densidad, madurez y sección del culmo (baja, media y alta). Las causas del comportamiento de agrietamiento de los culmos durante el secado no han sido determinadas. El objetivo del presente estudio fue evaluar la aparición de grietas en culmos durante el secado bajo una condición de temperatura constante. Se utilizaron culmos de *Guadua aculeata*, obteniendo muestras de la parte basal y media, con un tamaño correspondiente al largo del entrenudo: una con ambos diafragmas del nudo y la otra solamente el entrenudo sin los diafragmas. El proceso de secado se realizó a una temperatura de 40°C. El desarrollo del agrietamiento fue medido en relación con la pérdida de humedad desde el inicio del secado. Los resultados mostraron que el agrietamiento se desarrolló desde que inició la pérdida de humedad, ocurriendo en la parte interior de las muestras en los entrenudos sin diafragma, provenientes de la parte baja del culmo, siendo más intenso en aquellos de mayor diámetro y grosor de pared del culmo, debido a su estructura anatómica conformada en mayor proporción de parénquima, lo que facilita el agrietamiento, generado por la liberación de tensión de contracción desigual desarrollada en las primeras etapas de secado, cuando la humedad es aún alta. El agrietamiento en culmos de bambú, ocurre desde que inicia la disminución de humedad y el grado e intensidad que presenta está estrechamente relacionado con el diámetro y el grosor de la pared del culmo, contenido de humedad inicial y parte del culmo de donde se obtiene la muestra: baja, media y alta, bajo condiciones constantes de secado.

Palabras clave: pérdida de humedad, altura del culmo, temperatura de secado

³⁴² Campo Experimental San Martinito, CIRGOC. INIFAP. *Autor por correspondencia: quintanar.juan@inifap.gob.mx

REQUERIMIENTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BAMBÚ EN MÉXICO

Juan Quintanar Olguín^{343*} y Martha Elena Fuentes López³⁴³

Resumen

Se conoce con el nombre genérico de bambú a una gran colección de especies herbáceas con tallos lignificados, distribuidas prácticamente en todos los ecosistemas del mundo. Desde tiempos ancestrales, el bambú ha representado para los habitantes de los entornos rurales una fuente de material constructivo, de protección, alimento e ingresos; además de, estar presente en expresiones culturales y religiosas. En años recientes, el bambú ha pasado de ser una fuente de materias primas para bienes básicos a un material esencial para una amplia gama de productos, en los cuales se utiliza toda la planta; desde el rizoma y la raíz, hasta el culmo y las hojas; todo ello mediante enfoques innovadores para el uso de materiales naturales con perspectivas prometedoras en diversos campos, dada su sostenibilidad, multifuncionalidad y adaptabilidad. Bajo estas consideraciones, la finalidad del presente trabajo fue documentar avances en el desarrollo de innovación tecnológica para la transformación del bambú que optimicen su uso en productos de alto valor agregado, a través de un estudio exploratorio y documental de artículos científicos sobre el tema. Del análisis, resalta la concentración del uso de los culmos para la construcción, básicamente, de tipo rustico en áreas rurales y en la producción de artesanías. Sin embargo, a nivel mundial se está desarrollando innovación tecnológica referente a los métodos de procesamiento a partir del concepto de biorrefinería, para diversificar el uso de la biomasa de bambú en nuevos productos y funciones: enzimas de interés medicinal e industrial, resinas, aceites, alcoholes, aromatizantes, bioplásticos, biopolímeros, productos farmacéuticos y otros artículos, entre los que destaca el uso del carbón de bambú en la elaboración de cosméticos y productos de consumo diario como jabones, cremas o champús, carbón para procesos de filtración de agua para consumo humano y en actividades agropecuarias como remediador de suelos y sustratos. Dado que, en México, la transformación e industrialización del bambú es incipiente, se requiere de innovación tecnológica en toda la cadena productiva bajo el concepto de biorrefinería, para utilizar toda la planta y obtener productos de alto valor agregado, en un marco de sostenibilidad y de alternativas ecológicas.

Palabras clave: biorrefinería, valor agregado, diversificación de usos

³⁴³ Campo Experimental San Martinito, CIRGOC. INIFAP. *Autor de correspondencia: quintanar.juan@inifap.gob.mx

ANÁLISIS PROXIMAL DEL CARBÓN VEGETAL DEL BAMBÚ NATIVO

Guadua aculeata Rupr. ex E. Fourn

Edna Elena Suárez Patlán^{344*}, Casimiro Ordóñez Prado³⁴⁴, Christian Eduardo Limón Luna³⁴⁵
y Martha Elena Fuentes López³⁴⁴

Resumen

El bambú es uno de los productos forestales no maderables de mayor importancia debido a que se utiliza como materia prima de la cual se deriva una alta gama de productos como el carbón vegetal y muchos otros bienes de alto valor comercial. En este estudio se investigó el efecto del tiempo y temperatura de pirólisis sobre el rendimiento del carbón vegetal de *Guadua aculeata* Rupr. ex E. Fourn, así como el contenido de volátiles, carbono fijo, cenizas y humedad. Se realizó una pirólisis controlada de muestras de bambú maduro (siete años); para ello, se siguió un diseño experimental factorial completo, cuyo factor A correspondió al tiempo de residencia del bambú en la cámara de pirólisis (30 y 45 minutos) y el factor B fue la temperatura (300, 400, 500, 600, 700 y 800°C). El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey. Los resultados mostraron que el factor A no tiene influencia en el rendimiento, ya que solo presentó diferencias estadísticas significativas en la presencia de volátiles y carbono fijo. El rendimiento de carbón se registró en un intervalo de 40.86% a 300°C y de 28.58% a 800°C, sin diferencias significativas a partir de los 600°C. En esa misma tendencia, hubo una mayor presencia de volátiles en el carbón obtenido a temperaturas de 300, 400 y 500°C; por lo que, con temperaturas de 600, 700 y 800°C se alcanzó un producto más puro; así como un contenido de carbono fijo superior a 76% en estas mismas condiciones. Se determinaron contenidos de cenizas menores a 10% y contenido de humedad inferior a 5%. Se concluye que una mayor temperatura de pirólisis reduce el rendimiento del carbón vegetal del bambú; aunque, se mejoran las propiedades de volátiles y carbono fijo, las cuales están asociadas a la calidad del producto.

Palabras clave: pirólisis, biomasa de bambú, volátiles y carbono fijo

³⁴⁴ Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. INIFAP. *Autor de correspondencia: suarez.edna@inifap.gob.mx

³⁴⁵ Tecnológico de México Campus Chimalhuacán.



Acuícola y Pesquera

CRECIMIENTO DE *Tetraselmis chuii* (BUTCHER, 1959) CON DIFERENTES MEDIOS NUTRITIVOS Y SALINIDAD EN LABORATORIO

José Alfredo Solís Echeverría^{346*}, Ángel Ancona Ordaz³⁴⁶, Rodrigo Raúl García Torcuato³⁴⁶,
Juan Quintín Román Tiburcio³⁴⁶ e Itzel Alejandra Chim Chi³⁴⁶

Resumen

El presente estudio se centró en evaluar el crecimiento de la microalga *Tetraselmis chuii* bajo diferentes medios nutritivos y salinidades en condiciones de laboratorio, para lo cual se probaron los medios nutritivos F2 de Guillard (Proline) y el fertilizante foliar Bayfolan en dosis de 1 mL/L para ambos medios. De igual manera, los cultivos fueron sometidos a tres concentraciones de salinidad de 25, 30 y 35 ups. El experimento se realizó por cinco días bajo las siguientes condiciones: temperatura de 20-22°C, pH 7-8, fotoperiodo de 24 horas de luz e intensidad de luz de 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los tratamientos fueron ensayados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías ($p \leq 0.05$) por triplicado. En cada tratamiento se tomaron muestras cada 24 horas para determinar la densidad del cultivo mediante conteos directos en la cámara Neubauer. La densidad celular (cel/mL) se empleó para determinar los parámetros poblacionales como son tasa de crecimiento específico (TCE div/día) y el tiempo de duplicación de la biomasa (Td días). Como resultado el medio de cultivo Bayfolan a una salinidad de 30 ups registró la concentración celular promedio más alta con 1016666.6 ± 451839 seguido del tratamiento F2 de Guillard a salinidad de 35 ups con 718333.3 ± 558219 (cel/mL), sin embargo, estos valores no fueron superiores significativamente ($p > 0.05$) a los registrados en todos los demás tratamientos. La mayor TCE (0.714 div/día) y el menor Td (0.857 días) se alcanzaron con el tratamiento Bayfolan a salinidad de 30 ups y con F2 de Guillard a salinidad de 20 ups, respectivamente. Mientras que, el menor valor de TCE (0.485 div/día) se observó con el tratamiento de Bayfolan a salinidad de 35 ups. El mayor Td (2.075 días) se registró con la combinación de F2 de Guillard y salinidad de 30 ups. Los resultados muestran que *T. chuii* puede cultivarse con el fertilizante foliar Bayfolan a salinidad de 30 ups, lo cual puede implicar una reducción en los costos de producción del cultivo de esta microalga.

Palabras clave: densidad celular, F2 de Guillard, microalgas, Bayfolan

³⁴⁶ Tecnológico Nacional de México campus Lerma. *Autor de correspondencia: jose.se@itlerma.edu.mx

Introducción

Las microalgas juegan un rol muy importante en la cadena alimenticia de la acuicultura, ya que son utilizadas en la nutrición y cría de moluscos, camarones y peces en sus diferentes etapas de crecimiento, así como en la producción de zooplancton (Prieto *et al.*, 2005; Montoya-Vallejo y Acosta-Cárdenas, 2021). Los géneros de microalgas más utilizados en la alimentación de organismos acuáticos por su potencial nutritivo son: *Isochrysis*, *Pavlova*, *Nannochloropsis*, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Dunaliella*, *Rhodomonas*, *Chaetoceros*, *Nitzschia*, *Phaedodactylum* y *Thalassiosira* (Canavate, 2014).

Las microalgas marinas del género *Tetraselmis* (Chlorophyta, Chlorodendrophyceae) se han utilizado como alimento para la acuicultura durante décadas como alimento de peces y camarones, especialmente en sus estados larvarios, rotíferos y crustáceos, gracias a su composición bioquímica, tamaño y facilidad para el cultivo y su cosecha a bajo costo (Michels *et al.*, 2014; Borowitzka, 2016). Actualmente se encuentran entre las cepas más prometedoras para la producción de biodiesel (Huerlimann *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2013). En general, *Tetraselmis* sp. representa un buen modelo para la producción de cepas de microalgas de mejor calidad nutricional para su uso en la acuicultura (Adarme-Vega, 2014).

Dentro de las especies más estudiadas del género *Tetraselmis* se encuentra: *T. chuii* (El-Sayed *et al.*, 2020; Harris *et al.*, 2022), *T. tetrahele* (El-Kassas y El-Sheekh, 2016), *T. suesica* (Sen *et al.*, 2005; Pugkaew *et al.*, 2018), *T. indica* (Sawant, 2023) y *Tetraselmis* sp. (Montoya-Vallejo y Acosta-Cárdenas, 2021).

Las células de *T. chuii* son ligeramente comprimidas con una forma ovalada, y las dimensiones típicas de las células oscilan entre 10 y 25 μm de longitud, 7-20 μm de ancho y 6,5-18 μm de grosor (Norris *et al.*, 1980; Rafay *et al.*, 2020).

El crecimiento del fitoplancton es una función de muchos factores, como la luz (duración e intensidad), los nutrientes, la esterilización, el gas carbono, la temperatura, el pH y la salinidad (Meseck *et al.*, 2005; Durmaz y Piringç, 2017; Osorio *et al.*, 2020).

Los cultivos de *Tetraselmis* generalmente producen una alta productividad de lípidos y biomasa (Huerlimann *et al.*, 2010); éstos se pueden mantener bajo un sistema de producción a gran escala al aire libre y toleran algunas condiciones extremas como la alta concentración de NaCl y CO₂ (Sing *et al.*, 2014). Sin embargo, algunas microalgas, a saber, cepas eurihalias y/o

osmotolerantes, son capaces de prosperar en una amplia gama de salinidades (Zhu *et al.*, 2016). En este sentido, Sen *et al.* (2005) investigaron el cultivo de *T. suecica* con el medio de medio F2 de Guillard en condiciones de 24 horas de iluminación a salinidades de 25, 30 y 35 ups, y determinaron que el número de células no aumentó y/o se mantuvo casi sin cambios durante este experimento, lográndose valores del orden de 11.5×10^6 , 12×10^6 y 9.5×10^6 células/mL, respectivamente. Así mismo, Venckus *et al.* (2021) investigaron el efecto de diferentes salinidades en el crecimiento y el contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos en el alga verde *T. suecica*, utilizando cuatro concentraciones diferentes de salinidad: 15, 30, 60, 90 ups de sal marina artificial para preparar un medio para el cultivo al aire libre de esta microalga. Estos autores reportan que el crecimiento más alto se logró utilizando un medio con 15 ups y concluyeron que a concentraciones más altas de salinidad, los rendimientos de biomasa tienden a reducirse.

Por otro lado, los nutrientes, especialmente los macroelementos (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), influyen directamente en el crecimiento de las microalgas (Zhuang *et al.*, 2018). Para su cultivo se usa comúnmente alguna variante del medio F2 de Guillard que, en general, se prepara con sales de grado industrial o con fertilizantes, los cuales pudieran modificar el crecimiento y la composición bioquímica de las microalgas (Valenzuela-Espinoza *et al.*, 2005). Sin embargo, se han desarrollado varias técnicas de bajo costo, que plantean el uso de fertilizantes agrícolas en la producción de microalgas con el perfil nutricional adecuado (Uribe, 1994). Por lo que, el uso de fertilizantes agrícolas se considera una alternativa económica para reducir los costos de producción en el cultivo de microalgas, los cuales han sido ampliamente experimentados y usados en acuicultura (Piña *et al.*, 2007).

En este sentido, Brito *et al.* (2013) mencionan que el uso de fertilizantes agrícolas en la acuicultura es una fuente nutritiva adecuada, debido a que son muchos más económicos en relación con el medio F2 de Guillard. Así mismo, Pereira *et al.* (2017) recomiendan que en cultivos estáticos de microalgas, y hasta 20 L, es necesario el uso de medios analíticos, ya que los medios no convencionales o simplificados, pueden afectar el crecimiento de la microalga y su composición cambiando el contenido de varias fracciones orgánicas. Lo anterior es reafirmado por Valenzuela-Espinoza *et al.* (2005) quienes consideran que los fertilizantes agrícolas son una alternativa viable para el mantenimiento de cepas y la obtención de inóculos para volúmenes mayores de producción de microalgas.

El uso del fertilizante agrícola Bayfolan ha quedado demostrado por varios investigadores, entre los que destacan Arbaiza *et al.* (2020) quienes probaron el efecto del fotoperiodo y el fertilizante Bayfolan de diferentes dosis (0.1, 0.05 y 0.025 mg/L) en el crecimiento del alga marina *Pyropia* sp. en condiciones de laboratorio, concluyendo que con la adición del Bayfolan en una concentración de 0.025 mL/L, obtuvieron biomásas ligeramente menores a las concentraciones de 0.1 y 0.05 mL/L; sin embargo, al tener menor concentración de nutriente es más recomendable en temas económicos.

El propósito de este trabajo fue experimentar el medio nutritivo Bayfolan de uso agrícola contra el medio F/2 de Guillard modificado, el cual requiere productos químicos y vitaminas que son costosos y, en algunos de estos productos químicos están regulados o son difíciles de obtener. A la vez, se busca determinar la concentración salina, que permita obtener las mayores densidades, reducir el estrés y conservar las propiedades nutritivas de *T. chuii*.

Materiales y métodos

La cepa de las microalgas de *T. chuii* se obtuvo del cepario del área de alimento vivo de la UMDI- Sisal perteneciente a la Facultad de Ciencias de la UNAM, en tubos ensaye de 15 mL. Esta fue aclimatada a las condiciones del laboratorio de producción de microalgas del Ciencias Marinas del Tecnológico de Lerma. Los parámetros ambientales se mantuvieron a una temperatura de 20-22°C, salinidad de 30 ups, pH 7-8 e intensidad lumínica de 50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A los dos días las cepas se transfirieron bajo condiciones asépticas a matraces Erlenmeyer de 250 mL con medio de cultivo F2 de Guillard y agua marina tratada mediante un sistema de filtración compuesto de filtro de cartucho a 18 micras, filtro de cordón de 5 micras, luz ultravioleta y esterilizado en autoclave a 121°C y a una presión de 1.5 lbs/pulg² durante 15 minutos. El agua se desinfectó con hipoclorito de sodio (3%) a razón de 1 mL/L de agua de mar, y después de 24 horas se eliminaron sus residuos con tiosulfato de sodio (0.06 mg/L). Estos medios esterilizados se mantuvieron por 24 horas en la sala de microalgas para su aclimatación. Después de 5-6 días, los primeros inóculos se transfirieron a matraces Erlenmeyer de 500 mL conteniendo 300 mL de medio cultivo, empleando el F2 de Guillard. Al cabo de cinco días, los cultivos iniciales se transfirieron a matraces de 1000 mL con un volumen

de 800 mL, a los cuales se añadieron por triplicado los medios nutritivos Bayfolan y F2 de Guillard (Proline) ambos en dosis de 1 mL/L. Estos mismos se mantuvieron por triplicado a tres salinidades de 20, 30 y 35 ups, de manera que se obtuvieron 18 tratamientos. Durante los siete días de cultivo, el crecimiento se monitoreó cada 24 horas, para determinar la densidad celular mediante conteos directos en la cámara Neubauer, siguiendo el procedimiento propuesto por Ynga y Niño (2019). Estos datos se usarán para determinar las curvas de crecimiento y los parámetros poblacionales como la tasa de crecimiento específico, las divisiones por día y el tiempo de duplicación de la biomasa de acuerdo con Guillard y Sieracki (2005) y Panta *et al.* (2016), empleando las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \frac{\ln N_{t1} - \ln N_{t0}}{\Delta t}$$

Donde:

μ = tasa de crecimiento específico; Δt = longitud del intervalo de tiempo ($t_1 - t_0$); N_{t0} = tamaño de la población al comienzo del intervalo de tiempo.

$$T_d = \frac{\log 2}{\mu}$$

Donde:

T_d = tiempo de duplicación; $\log 2$ = logaritmo natural de 2; μ = tasa de crecimiento específico. En el análisis estadístico los supuestos normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene, respectivamente, ambas con un nivel de significancia de 95%. Para el análisis estadístico se aplicó el análisis de varianza de dos vías (ANOVA) mediante un diseño factorial ($p > 0.05$). Para la comparación de promedios se aplicó la prueba de Tukey ($p > 0.05$). En todos los tratamientos se determinó la densidad celular del cultivo (cel/mL), los parámetros poblacionales como tasa de crecimiento específica (TCE) y tiempo de duplicación de la biomasa (T_d) (Guillard, 1973).

Resultados y discusión

Diversos autores han documentado la eficacia del uso de fertilizantes agrícolas en la producción de microalgas entre los que destacan: Silva-Benavides (2016), Montoya-Vallejo y

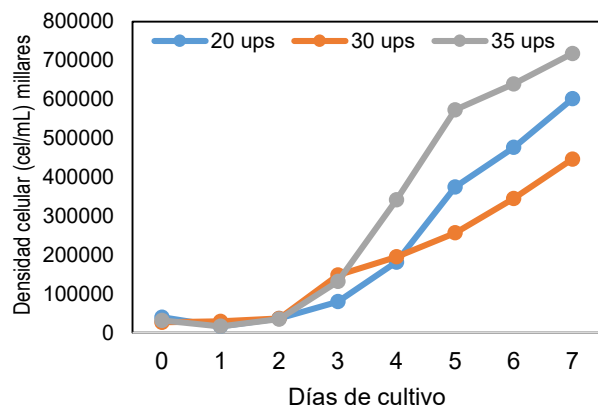
Acosta-Cárdenas (2021), Venckus *et al.* (2021) y Zevallos-Feria *et al.* (2023), quienes han reportado que la densidad celular con este tipo de nutrientes ha llega a ser igual o en algunos casos mayor al obtenido por medios convencionales como el F2 de Guillard. Los resultados de este estudio muestran que el tratamiento con Bayfolan a 30 ups presentó la mayor densidad celular promedio en el cultivo de *T. chuii* con una densidad de 1016666 ± 451839 cel/mL (Cuadro 1 y Figura 1b). Sin embargo, los tratamientos de Bayfolan (BF) a salinidades de 20 y 35 ups estuvieron por debajo de los tratamientos con F2 de Guillard a cualquier salinidad. Con respecto al medio F2 de Guillard, el promedio más alto se registró a 35 ups con 718333.3 ± 558219 cel/mL (Cuadro 1 y Figura 1a). De igual manera, se evidenció que la densidad promedio más baja correspondió al tratamiento Bayfolan y salinidad 35 ups, lo que registró una densidad de 333333.3 ± 522071 cel/mL (Cuadro 1 y Figura 1b).

Cuadro 1. Densidad celular (cel/mL) de en el cultivo *T. chuii* para los diferentes tratamientos.

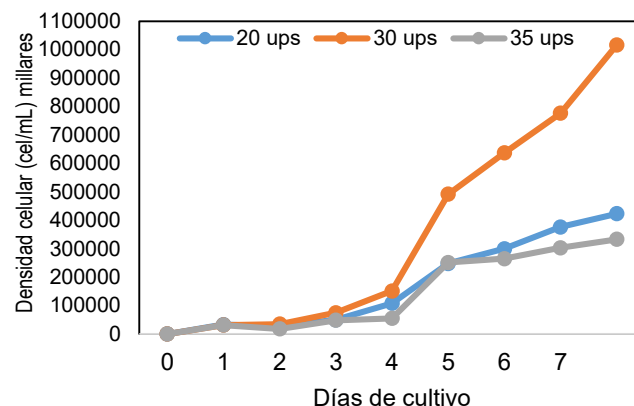
Medio de cultivo	Salinidad (ups)	Máxima	Promedio	Mínima
*F2	20	1000000	601666.7 ± 346999	3650000
F2	30	790000	446666.7 ± 342503	105000
F2	35	1340000	718333.3 ± 558219	260000
**BF	20	7450000	410000.0 ± 350963	45000
BF	30	1285000	1016666.6 ± 451839	495000
BF	35	935000	333333.3 ± 522071	65000

*F2= F2 de Guillard; **BF= Bayfolan; $\pm$ Desviación estándar.

Los supuestos de normalidad ($p > 0.05$) y de homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) se cumplieron en el ANOVA en el cultivo de *T. chuii*. Sin embargo, el ANOVA indicó que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) para los tipos de nutrientes, salinidades y la interacción entre estas variables (Figura 2).



a



b

Figura 1. Densidad celular (cel/mL) para *T. chuii* con los medios de cultivo F2 de Guillard (a) y Bayfolan (b) a diferentes salinidades.

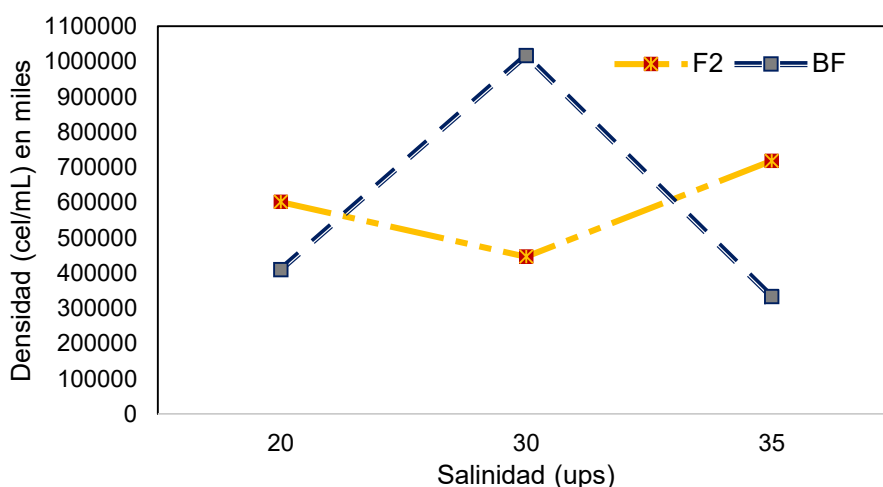


Figura 2. Efecto de la interacción entre los medios nutritivos y la salinidad en el cultivo de *T. chuii*.

Con relación a los parámetros de tasa de crecimiento (TCE) y tiempo de duplicación de la biomasa (Td), los resultados indicaron que el valor más alto para TCE se logró con el medio de cultivo Bayfolan a 30 ups, siendo este valor de 0.714 div/día, así mismo, el menor Td fue para tratamiento con medio de cultivo F2 de Guillard a 20 ups con valor de 0.857 días. El valor más bajo de TCE se registró con el tratamiento de Bayfolan a 35 ups, en tanto que, el mayor Td se alcanzó con el tratamiento de F2 de Guillard a 30 ups (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros poblacionales promedio en el cultivo *T. chuii* para los diferentes tratamientos.

Medio de cultivo	Salinidad (ups)	TCE μ (div/día)	Td (días)
*F2	20	0.558	0.857
F2	30	0.580	2.075
F2	35	0.643	1.460
**BF	20	0.523	1.235
BF	30	0.714	1.797
BF	35	0.485	1.428

*F2= F2 de Guillard; **BF= Bayfolan.

Diversos investigadores han explorado el uso de medios económicos derivados de fertilizantes o de residuos agrícolas llegando a la conclusión de que *Tetraselmis* es una microalga resistente que no requiere de vitaminas para su crecimiento, esto fue demostrado por Montoya-Vallejo y Acosta-Cárdenas (2021), quienes emplearon fertilizantes agrícolas compuestos por 20% N, 10% P₂O₅, y 10% K₂O en el cultivo de *Tetraselmis* sp. a 27 ups, concluyendo que este fertilizante presentó mayor productividad (2.5×10^5 cel /mL). Por otro lado, Zevallos-Feria *et al.* (2023) reportaron que en el cultivo experimental de *T. striata* con el fertilizante foliar Bayfolan se alcanzó una mayor densidad celular que con el medio F2 de Guillard, con valores de 7.85×10^6 y 4.68×10^6 cel/mL, respectivamente; estos resultados muestran ser consistentes con los de este estudio, con respecto al efecto del Bayfolan. En este mismo sentido, Harris *et al.* (2022) evaluaron el crecimiento de *T. chuii*, empleando el medio de cultivo basal Bold y diferentes salinidades; estos autores reportaron la mayor densidad de cultivo a 30 ups de salinidad con 9.275×10^6 , valor que está por debajo del alcanzado con nuestros datos, para esta misma salinidad con ambos medios de cultivo. Así mismo, Mohammadi *et al.* (2015) evaluaron el cultivo experimental de *T. chuii* a diferentes salinidades e intensidad de luz y reportaron que a salinidad de 25 ups se alcanzaron las mayores densidades del cultivo en todas las intensidades de luz.

En la literatura se menciona que la salinidad óptima para el crecimiento superior de *T. chuii* siempre ocurre en 25 y 30 ups, ya que a valores 40 ups se presenta una reducción de las tasas crecimiento, debido a que el agotamiento de nutrientes es más rápido en el medio de cultivo

(Mohammadi *et al.*, 2015). Resultados similares fueron reportados por Sen *et al.* (2005) en el cultivo de *T. suecica* con el medio de cultivo F2 de Guillard, en donde las densidades más altas se lograron con 25 y 30 ups de salinidad con valores de 11.5×10^6 , 12×10^6 cel/mL, respectivamente. De igual manera, El-Kassas y EL-Sheekh (2016) confirmaron lo anterior al presentar los resultados de la evaluación del cultivo de *T. tetrahele* a diferentes salinidades y concluyendo que a salinidades de 30 y 35 ups se registraron las densidades celulares más altas y a valores de 40 ups se presenta cierta muerte celular y, en consecuencia, los valores más pequeños en la densidad celular. Así mismo, Durmaz y Piringç (2017) evaluaron el efecto de la salinidad (20, 30 y 40 ups) en el cultivo de *T. chuii*, y concluyeron que la densidad más alta de 167×10^4 se alcanzó con las salinidades de 30 ups a los ocho días de cultivo empleando F2 de Guillard como medio de cultivo. Estos resultados muestran ser consistentes con los de este estudio para los promedios de densidad celular bajo estas salinidades en ambos medios de cultivo.

Montoya-Vallejo y Acosta-Cárdenas (2021) obtuvieron la mayor TCE (1.832 div/día) con Bayfolan en comparación con el F2 de Guillard con *Tetraselmis* sp., por lo que la TCE es similar con los resultados de este estudio (1.797 div/día) a 30 ups de salinidad, siendo estos valores superiores a los reportados por Zevallos-Feria *et al.* (2023) para *T. striata* quienes obtuvieron tasas de 0.23 y 0.21 para el medio F2 de Guillard y Bayfolan, respectivamente, a salinidades de 35 ups. Así mismo, Montoya-Vallejo y Acosta-Cárdenas (2021) reportaron en el cultivo de *T. suecica* una TCE (0.55 div/día) y Td (1.26 días) a bajas concentraciones de fertilizantes agrícolas, a una salinidad de 27 ups; valores que están por debajo de los resultados de este estudio. Al respecto, Soto-León *et al.* (2016) demostraron con esta misma especie, que a mayor concentración de nitrógeno disminuye la TCE (0.9 div/día) y el Td (0.64 días). Harris *et al.* (2022) reportaron valores TCE (0.686 div/día) y Td (1.01 días) para *T. chuii* por debajo del promedio de los resultados obtenido en este trabajo con Bayfolan.

Conclusiones

El fertilizante foliar Bayfolan en combinación con salinidad de 30 ups produce la mayor densidad celular (cel/mL) de la microalga *T. chuii* bajo las condiciones del cultivo del laboratorio

de Ciencias Marinas. El cultivo de *T. chuii* con Bayfolan y salinidad de 30 ups presenta la mayor TCE, mientras que el menor Td se presenta con F2 de Guillard a 20 ups de salinidad. El cultivo de *T. chuii* con el fertilizante foliar Bayfolan bajo salinidades de 20 y 35 ups, mantuvo los niveles de densidad celular por debajo de los registrados con el F2 de Guillard.

Agradecimientos

Se agradece al personal del área de producción de microalgas y a los estudiantes de la carrera de ingeniería en Acuicultura del Tecnológico Nacional de México campus Lerma, por su colaboración en esta investigación.

Literatura citada

- Adarme-Vega, T. C. 2014. Optimization of microalga growth conditions for production of eicosapentaenoic acid (EPA). A PhD thesis. The University of Queensland, Australia. 132 p.
- Arbaiza, S., M. Castañeda, O. Advíncula y V. Meza. 2020. Efecto del fotoperiodo y el uso de un nutriente foliar comercial en el crecimiento (biomasa) de *Pyropia* sp. Chi “cochayuyo” bajo condiciones controladas de cultivo. *Anales científicos* 81(2):347-354.
- Borowitzka, M. A. 2016. Algal physiology and large-scale outdoor cultures of microalgae. p. 601-652. *In*: Borowitzka M. A., J. Beardall and J.A. Raven (eds.). *The physiology of microalgae*. Springer, Dordrecht.
- Brito, D., A. Castro, J. Colivet, E. Gómez y R. Mora. 2013. Cinética de crecimiento de un cultivo mixto de las microalgas *Hyaloraphidium contortum* y *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Interciencia* 38(8):604-608.

- Canavate, H. P. 2014. Funciones de las microalgas en acuicultura. p. 193-205. *In*: Las algas como recurso. Valorización, aplicaciones industriales y tendencias. CETMAR.
- Durmaz, Y. and P. Piringç. 2017. Investigation of the effect of salinity concentration on growth and pigment composition on some marine microalgae (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii* and *Dunaliella salina*). *Ege. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 34(1):75-80. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2017.34.1.11>.
- El-Kassas, H. Y. and M. M El-Sheekh. 2016. Induction of the synthesis of bioactive compounds of the marine alga *Tetraselmis tetraathele* (West) Butcher grown under salinity stress. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 42:385-391. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.10.006>.
- El-Sayed, H. S., A. M. El-Fattah, M. A. El-Naby and A. M. Khairy. 2020. Purification of petroleum wastewater and biodiesel production by Prasinophyte alga *Tetraselmis chuii*. *Rom. Biotechnol. Lett.* 25(4):1790-1801. <http://dx.doi.org/10.25083/rbl/25.4/1790.1801>.
- Guillard, R. R. L. 1973. Division rates. p. 289-312. *In*: Stein, J.R. (ed.). *Handbook of phycological methods: Culture methods and growth measurements*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Guillard, R. L. and M. S. Sieracki. 2005. Counting cells in cultures with the light microscope. *In*: Anderson, R.A. (ed.). *Algal culturing techniques*. Elsevier 16:239-252.
- Harris, N., H. Manan, J. Malinna, H. Khatoon, T. Katayama and N. A. Kasan. 2022. Effect of different salinity on the growth performance and proximate composition of isolated indigenous microalgae species. *Aquaculture* 22:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100925>.

- Huang, X., Z. Huang, W. Wen and J. Yan. 2013. Effects of nitrogen supplementation of the culture medium on the growth, total lipid content and fatty acid profiles of three microalgae (*Tetraselmis subcordiformis*, *Nannochloropsis oculata* and *Pavlova viridis*). J. Appl. Phycol. 25:129-137.
- Huerlimann, R., R. De Nys and K. Heimann. 2010. Growth, lipid content, productivity, and fatty acid composition of tropical microalgae for scale-up production. Biotechnol. Bioeng. 107:245-257.
- Meseck, S. L., J. H. Alix and G. H. Wikfors. 2005. Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga, *Tetraselmis chuii* (PLY429). Aquaculture 246:393-404.
- Michels, M. H. A., M. Vaskoska, M. H. Vermuë and R. H. Wijffels. 2014. Growth of *Tetraselmis suecica* in a tubular photobioreactor on wastewater from a fish farm. Water Research 65:290-296.
- Mohammadi, M., N. Kazeroni and M. J. Baboli. 2015. Fatty acid composition of the marine micro alga *Tetraselmis chuii* Butcher in response to culture conditions. J. Algal Biomass Utln. 6(2):49-55.
- Montoya-Vallejo, C. y A. Acosta-Cárdenas. 2021. Crecimiento de *Tetraselmis* sp. empleando fertilizante como medio de cultivo. ION 34(2):53-64.
- Norris, R. E., T. Hori and M. Chihara. 1980. Revision of the genus *Tetraselmis* (Class Prasinophyceae). Botan. Magaz. Tokyo 93:317-339. <https://doi.org/10.1007/BF02488737>.

- Osorio, K., K. Palacios, D. Lumbi, P. Hsieh, G. C. Zuniga y A. Aguilar. 2020. Capacidad reproductiva de *Nannochloropsis oculata* en diferentes concentraciones de salinidad y fertilización: una contribución a la bioeconomía acuícola. *Bioeconomía y Cambio Climático* 6(12):1440-1445.
- Panta, V. R., G. A. Macay, Z. E. Moncayo y C. J. Vélez. 2016. Crecimiento de las microalgas *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana* con fertilizantes agrícolas, en laboratorio. *La Técnica* (16):44-55.
- Pereira, G. F., R. A. Jáuregui, B. A. Devia y R. J. Rojas. 2017. Cultivo de microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para alimentación de larvas de peces marinos. *Mutis* 7(2):81-85.
- Piña, P., A. Medina, M. Nieves, S. Leal, J. López-Elías y M. Guerrero. 2007. Cultivos de cuatro especies de microalgas con diferentes fertilizantes utilizados en acuicultura. *Investigaciones Marinas* 28(3):225-236.
- Prieto, M., M. Mogollon, A. Castro y L. Sierra. 2005. Efecto del medio y condiciones de cultivo en la productividad de tres diatomeas marinas con potencial acuícola. *MVZ- Córdoba* 10(1):544-554.
- Pugkaew, W., M. Meetam, K. Yokthongwattana, N. Leeratsuwan and P. Pokethitiyook. 2018. Effects of salinity changes on growth, photosynthetic activity, biochemical composition and lipid productivity of marine microalga *Tetraselmis suecica*. *J. Appl. Phycol.* 31:969-979. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1619-7>.
- Rafay, R., J. M. Uratani, H. H. Hernandez and J. Rodríguez. 2020. Growth and nitrate uptake in *Nannochloropsis gaditana* and *Tetraselmis chuii* cultures grown in sequential batch reactors. *Frontie in Marine Science* (7):77:1-9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00077>.

- Sawant, T. R. 2023. Repercussions of salinity variation on the growth of *Tetraselmis indica* (Chlorodendrophyceae, Chlorophyta). Maester in Science thesis. Goa University. India. 67 p.
- Sen, B., M. A. T. Kocer and M. T. Alp. 2005. Studies on growth of marine microalgae in batch cultures: IV. *Tetraselmis suecica* (Kylin) Butcher (Prasinophyta). Asian Journal of Plant Sciences 4:645-647.
- Silva-Benavides, A. M. 2016. Evaluación de fertilizantes agrícolas en la productividad de la microalga *Chlorella sorokiniana*. Agron. Mesoam. 27(2):265-275. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.24361>.
- Sing, S. F., A. Isdepsky, M. A. Borowitzka and D. M. Lewis. 2014. Pilot-scale continuous recycling of growth medium for the mass culture of a halotolerant *Tetraselmis* sp. in raceway ponds under increasing salinity: a novel protocol for commercial microalgal biomass production. Bioresour Technol. 161:47-54.
- Uribe, T. E. 1994. Cultivo de microalgas. p. 95-137. *In*: Cultivo de peces marinos. Chile: FACIMAR- UCN.
- Valenzuela-Espinoza, E., F. Lafarga-De La Cruz., R. Millán-Núñez y F. Núñez-Cebrero. 2005. Crecimiento, consumo de nutrientes y composición proximal de *Rhodomonas* sp. cultivada con medio F/2 y fertilizantes agrícolas. Ciencias Marinas 31(1):79-89.
- Venckus, P., B. Cicchi and G. Chini Zittelli. 2021. Effects of medium salinity on growth and biochemical composition of the green microalga *Tetraselmis suecica*. Journal of Applied Phycology 33(6):1-9. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02560-7>
- Ynga, G. y A. Niño. 2019. Manual para producción de microalgas marinas en el Instituto del Mar del Perú. Inf. Inst. Mar Perú 46(1):5-16.

- Zevallos-Feria, S., V. Dianderas, L. Quispe, K. Martínez, D. Ortiz, Y. Sanz *et al.* 2023. Determination of the parameters kinetic growth to the culture algal biomass from Locumba river in Peru for its future use in the Pharmaceutical Industry. J. Popul. Ther. Clin. Pharmacol. 30(6):252-266.
- Zhu, L. D., Z. H. Li and E. Hiltunen. 2016. Strategies for lipid production improvement in microalgae as a biodiesel feedstock. Biomed. Res. Int. 8792548. <https://doi.org/10.1155/2016/8792548>.
- Zhuang, L. L., D. Yu, J. Zhang, F. Liu, Y. H. Wu, T. Y. Zhang *et al.* 2018. The characteristics and influencing factors of the attached microalgae cultivation: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94:1110-1119.

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL, ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA ACUACULTURA SUSTENTABLE EN MÉXICO

Abimael Lagunes Domínguez^{347*}, Diego Esteban Platas Rosado³⁴⁷, Alberto Asiain Hoyos³⁴⁷, Rosa Isela Castillo Zamudio³⁴⁷ y Juan Cristóbal Hernández Arzaba³⁴⁸

Resumen

La acuacultura es la cría de organismos en un medio acuático; sin embargo, es una práctica que ha sido criticada por su carencia de resiliencia y por el desperdicio y la contaminación del agua. Aunado a ello, los efectos adversos ocasionados por el uso indiscriminado de productos químicos dentro de la agricultura industrializada, a lo cual se le ha atribuido ser el causante directo e indirecto del cambio climático y otros efectos adversos en la salud ambiental y humana, ha remarcado la importancia de crear o rediseñar los agroecosistemas actuales a agroecosistemas sustentables, siendo los agroecosistemas de policultivos, donde las interacciones entre distintos tipos de plantas junto con la cría de animales, la opción más viable para esta causa. Esto propicia una mejora en los agroecosistemas acuícolas tradicionales a sistemas de producción de alimentos resilientes, autosustentables y sostenibles, lo que mejora positivamente su impacto ambiental, económico y social. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar el potencial ambiental, económico y social de la acuacultura sustentable en México. Para lo anterior, se realizó una investigación documental en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Veracruz, lugar donde se hizo uso de buscadores y herramientas especializadas para el análisis de los documentos. Con los resultados obtenidos, se realizó un mapa mental con el fin de facilitar la organización de ideas y obtener un panorama holístico sobre el potencial de la acuacultura sustentable en el país, en el que se hace evidente la incidencia de esta práctica dentro de la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible, el Plan Nacional de Desarrollo y los Programas Nacionales Estratégicos del CONAHCYT, mostrando que la acuacultura sustentable es una práctica que puede generar beneficio ambiental, económico y social, a través del cuidado y la conservación de los recursos naturales y la oferta de alimentos inocuos, mientras ofrece una oportunidad de empleo a los actores involucrados en dicha práctica.

Palabras clave: agroecosistemas, desarrollo, sostenibilidad

³⁴⁷ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: lagunes.abimael@colpos.mx

³⁴⁸ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Administrativas, Sociales e Ingeniería.

Introducción

La acuicultura es la cría de organismos acuáticos en ambientes controlados, que ha emergido como una práctica para satisfacer la demanda de productos marinos y reducir la sobreexplotación de la industria pesquera sobre las áreas naturales marinas. Su historia se remonta a miles de años atrás, cuando diversas culturas comenzaron a domesticar y criar pecados y mariscos para consumo humano (Stickney y Treece, 2012; Stickney y Gatlin III, 2022). Es así como en los últimos años la acuicultura se ha convertido en una opción viable para la producción de alimentos, debido a que puede obtenerse carne de forma más eficiente, en comparación con otras especies pecuarias (Anderson *et al.*, 2017). Sin embargo, el concepto moderno de acuicultura y su enfoque hacia la sustentabilidad surgieron en respuesta a los desafíos ambientales, económicos y sociales que han dado origen al cambio climático (Hambrey, 2017).

La urgencia de resolver los problemas ambientales, económicos y sociales causados por malas prácticas agrícolas dentro de los agroecosistemas (AES) ha remarcado la necesidad de rediseñar los AES a sistemas de producción sustentables, que sean autosuficientes y de bajos insumos, para reducir la contaminación ambiental causada por los agroquímicos (Bianconi *et al.*, 2013; Altieri, 2018). Esta necesidad ha generado cambios sociales y estructurales importantes dentro y fuera de los agroecosistemas, que han resaltado la importancia de la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales de manera amigable con el ambiente (Andersen *et al.*, 2013).

Por otro lado, el concepto de desarrollo sustentable surge en 1987, a través del informe "Nuestro Futuro Común" de Brundtland, definiéndolo como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Este concepto se originó de la idea de que los recursos naturales de la Tierra son finitos, por lo que, el consumo desenfrenado podría privar a las generaciones futuras de la misma capacidad de bienestar y desarrollo. En 1992, durante la conferencia de la ONU sobre medio ambiente y desarrollo surgió el programa conocido como Agenda 21, que impulsa al desarrollo sustentable. En tanto que, en el año 2015, surge la agenda 2023 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con el propósito de atender desafíos como la eliminación de la pobreza extrema y el hambre, la búsqueda de la igualdad

de género y la protección del medio ambiente. Estos avances marcaron un compromiso global hacia un futuro sustentable que equilibre el desarrollo ambiental, económico y social (Peñalosa *et al.*, 2024).

De este modo surge la acuicultura sustentable, una práctica que se enfoca en la producción responsable de alimentos, con la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico y el bienestar social. Esto se debe a que la acuicultura sustentable se centra en la integración de prácticas de cultivo que hagan uso eficiente de los recursos disponibles y generen bienestar social. Este enfoque reconoce las relaciones existentes entre los sistemas acuáticos, los ecosistemas terrestres y la sociedad, por lo que busca integrar de manera armoniosa estos tres elementos (Osmundsen *et al.*, 2020; Thomas *et al.*, 2021).

En México, la acuicultura es una práctica que tiene el potencial productivo necesario para satisfacer la demanda actual y futura de pescados y mariscos, incluso para su exportación (Subasinghe *et al.*, 2009; Cantrell, 2023). La acuicultura surge en México en 1923 por la necesidad de repoblar los mares nacionales y tenía como objetivo generar beneficio ambiental, económico y social; fue hasta la década de 1950 que la acuicultura se establece como sistema de producción de alimentos, debido al desarrollo tecnológico que obtuvo de su uso extensivo y experimental (INAES, 2018). Es así como en la década de 1970 la acuicultura se establece en el estado de Veracruz, con la creación de diversos centros acuícolas ubicados en todo el estado, que surgieron debido a la demanda de organismos marinos para su cultivo (Platas y Vilaboa, 2014).

De ese modo, la acuicultura sustentable también ofrece ventajas ambientales, económicas y sociales, ámbitos importantes para el desarrollo del país. Por la parte ambiental, la acuicultura sustentable utiliza prácticas sostenibles, como la gestión adecuada de los recursos naturales, la implementación de tecnologías y técnicas de producción más eficientes; esto permite minimizar el impacto negativo causado al medio ambiente por la producción de alimentos industrializados (Salin y Ataguba, 2018).

Por la parte económica, la acuicultura sustentable propicia la generación de empleos en comunidades locales, la reducción de los precios del pescado para los consumidores y la mejora de la infraestructura en áreas rurales. Además, la acuicultura sustentable puede impulsar la inversión en tecnologías innovadoras y prácticas de producción eficientes, lo que

a su vez puede aumentar la productividad y la rentabilidad de las operaciones acuícolas (Bhari y Visvanathan, 2018).

En la parte social, la acuacultura sustentable contribuye al bienestar de las personas al proporcionar oportunidades de trabajo y mejorar sus ingresos. Aporta a la seguridad alimentaria y a la oferta de productos inocuos y nutritivos a precios accesibles, lo que beneficia a las poblaciones locales al mejorar su calidad de vida y nutrición. Además, esta práctica promueve la inclusión social y la participación de las comunidades en las actividades productivas, lo que fortalece el tejido social y fomenta el empoderamiento de los grupos vulnerables (Engle y van Senten, 2022). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar el potencial ambiental, económico y social de la acuacultura sustentable en México.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se realizó una investigación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el Plan Nacional de Desarrollo y los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del CONAHCYT, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Veracruz, lugar donde se hizo uso de herramientas especializadas para la búsqueda y el análisis de documentos. Además, se utilizó la metodología descrita por Buzan (2002) para la elaboración de mapas mentales y observar de manera holística el potencial de la acuacultura sustentable en México.

Resultados y discusión

El mapa mental permite observar de mejor manera la incidencia de la acuacultura sustentable de la Agenda 2030 y los ODS, el Plan Nacional de Desarrollo y los Pronaces; esto puede apreciarse de mejor manera en la Figura 1.



Figura 1. Mapa mental de la acuicultura sustentable.

En ese sentido, debido al potencial y a las implicaciones de la acuicultura sustentable, esta práctica incide dentro de la Agenda 2030, en especial con cinco de los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS). Dichos objetivos son: 2. Hambre cero, 8. Trabajo decente y crecimiento económico, 12. Producción y consumo responsables, 14. Vida submarina y 15. Vida de ecosistemas terrestres.

Dentro del objetivo 2. Hambre cero, la acuicultura sustentable puede aportar a la seguridad alimentaria, mientras fomenta una alimentación saludable. En este sentido, la acuicultura sustentable es considerada como una de las formas más eficientes para producir alimentos, a la vez que contribuye a la seguridad alimentaria, la generación de empleos y al mejoramiento de la nutrición de las comunidades rurales, con la oferta de alimentos saludables (FAO, 2018; Bohnes *et al.*, 2022).

En el objetivo 8. Trabajo decente y crecimiento económico, la acuicultura sustentable propicia la generación de empleos, aportando al desarrollo económico de las localidades costeras y rurales vulnerables (Halwart, *et al.*, 2003). Por otro lado, en el objetivo 12. Producción y consumo responsables, la acuicultura sustentable promueve la producción y el consumo

responsable, mediante la reducción del impacto ambiental causado durante la producción de alimentos con el uso eficiente los recursos naturales disponibles (Little *et al.*, 2012).

En el objetivo 14. Vida submarina, la acuicultura sustentable aporta a la protección y restauración de la biodiversidad marina, al reducir la presión de la industria pesquera sobre las especies marinas. La gestión sustentable de los recursos marinos permite el cuidado y la conservación de la biodiversidad, en especial de aquellas especies que se encuentran en peligro de extinción por la sobrepesca (Gentry *et al.*, 2017).

Por último, en el objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres, la acuicultura sustentable puede reducir el impacto negativo causado en los ecosistemas acuáticos y terrestres. La inclusión de prácticas dentro de la acuicultura sustentable puede ayudar a reducir la sobreexplotación que reciben los ecosistemas terrestres, al disminuir la necesidad de transformar áreas naturales en zonas de cultivo o pastoreo (Edwards, 2015; Salin y Ataguba, 2018).

De este modo es como la acuicultura sustentable aporta o se relaciona con la Agenda 2030 y los ODS, debido a la capacidad de la acuicultura sustentable para contribuir a la seguridad alimentaria, la generación de empleos, la conservación de los recursos naturales, así como el fomento de la producción y el consumo responsable, remarca la importancia de esta práctica y del rediseño de los agroecosistemas actuales a agroecosistemas integrales que permitan hacer frente a los efectos adversos ocasionados por el cambio climático, mientras se producen alimentos sanos, nutritivos e inocuos.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND, 2019) es un documento elaborado por el gobierno federal, donde se toma en cuenta la participación ciudadana, donde se presentan los objetivos y estrategias del sexenio en turno. El PND tiene como objetivo mejorar las condiciones sociales del país para lograr un mayor bienestar para la población en general. El PND está conformado por distintos ejes que dan soporte a la estructura del documento, los cuales son: justicia y estado de derecho, bienestar, desarrollo económico, igualdad de género, combate a la corrupción y mejora de la gestión pública, y territorio y desarrollo sostenible (Gobierno de México, 2024).

La importancia del PND puede observarse en el artículo 26 A, publicado el 03 de febrero de 1983 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), cuya última reforma fue el 29 de enero de 2016. El artículo 26 A. menciona que: “El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad,

permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación” (Cámara de Diputados, 2020).

Es así como surge el PND (2019-2024) en México, que tiene como objetivo establecer las políticas, estrategias y metas que guiarán el desarrollo ambiental, económico y social del país, durante un sexenio. En este sentido, la acuacultura sustentable cuenta con el potencial necesario para atender los problemas ambientales, económicos y sociales del país, debido a que esta práctica ha generado bienestar social y económico a través de la conservación de los recursos naturales.

En el PND, dentro del apartado 2. Política social, incluye al desarrollo sostenible en términos ambientales, económicos y sociales. Mientras que en el apartado 3. Economía se encuentran tres puntos importantes: 1) “impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo”, 2) “autosuficiencia alimentaria y rescate del campo”, y 3) “ciencia y tecnología”.

En el apartado de política social, la acuacultura sustentable es una práctica que propicia la conservación de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente, aportando al desarrollo sustentable del país. La implementación de prácticas en la acuacultura sustentable, como el uso de la tecnología Biofloc, permiten aprovechar de manera eficiente el agua que se encuentra en los estanques, y de este modo reducir el impacto negativo que pudiera causar a la disponibilidad del agua (Emerenciano *et al.*, 2013). De este modo resalta la importancia de la acuacultura sustentable como herramienta para el desarrollo sostenible, generando beneficios ambientales, económicos y sociales (Aich *et al.*, 2020; Boyd *et al.*, 2020).

En el apartado de economía, la acuacultura sustentable puede aportar a la generación de empleos, ha sido documentado que esta práctica emplea a miles de personas en actividades de producción, comercialización, así como de investigación científica y tecnológica (CONAPESCA, 2020). Además, de que puede contribuir al desarrollo económico de las comunidades costeras y rurales del país, mejorando las condiciones de vida de las poblaciones locales; en especial de zonas rurales marginadas, a través de la generación de empleos al facilitar la creación o reactivación de empresas que se relacionen con las actividades de la acuacultura sustentable (Grealis *et al.*, 2017; Olaganathan y Mun, 2017).

La acuacultura sustentable posee características que se alinean con el objetivo del PND, al aportar a la seguridad alimentaria, la generación de empleos y a la preservación de los recursos naturales del país. Donde lograr la seguridad alimentaria siguen siendo un desafío,

sin embargo, la acuacultura sustentable permite la diversificación de la dieta humana, con el acceso a alimentos marinos saludables y a bajo costo, especialmente en zonas rurales vulnerables (Kumar, 2014; Pradeepkiran, 2019). De este modo, la acuacultura sustentable genera bienestar ambiental, económico y social al país, por lo que queda en evidencia que la acuacultura sustentable puede incluirse dentro de los apartados 2. Política social y 3. Economía del PND.

Los Pronaces (CONAHCyT, 2023), surgen en respuesta de la Agenda 2030 y los ODS, así como del PND, por lo que éstos se encuentran alineados con sus objetivos; además de tener como función orientar toda investigación científica a la atención de problemas nacionales prioritarios, para dar solución a los mismos. De este modo, los Pronaces tienen como objetivo el cuidado del medio ambiente y la sociedad, donde la acuacultura sustentable incide dentro de los Pronaces, agua, soberanía alimentaria y sistemas socio-ecológicos.

En el Pronaces Agua, la acuacultura sustentable puede ser una práctica de producción económica sustentable, que requiere de menos agua en comparación con la producción de proteína animal de otras especies, además de que el agua usada en la acuacultura puede ser reutilizada como agua de riego agrícola, con el plus de estar enriquecida con nutrientes que mejoran el desarrollo y el crecimiento de los cultivos donde se utiliza. Actualmente México cuenta con 6'000,000 ha de riego, donde utilizar esa agua para la acuacultura y luego para riego puede satisfacer la demanda interna del recurso hídrico.

Por otro lado, en el Pronace Soberanía Alimentaria, la acuacultura sustentable promueve la producción de alimentos saludables, nutritivos e inocuos, sustituyendo el uso de insumos químicos y/o procesados, lo que contribuye de manera directa e indirecta en el bienestar de la sociedad mexicana. También puede contribuir a mejorar las condiciones laborales y a la participación de las mujeres, en especial en las zonas rurales, así como al fortalecimiento de los pequeños y medianos acuicultores.

Por último, en el Pronace Sistemas Socio-ecológicos, con la aplicación de técnicas como la zonificación y la economía circular a la acuacultura sustentable, puede lograrse el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales, lo cual ocasionaría la sostenibilidad de este sistema alimentario y permitiría atender problemas de salud ambiental y humana, generando beneficios socio-ecológicos.

Conclusiones

1. La acuacultura sustentable fomenta el cuidado y la conservación de los recursos naturales.
2. Tiene el potencial necesario para generar empleos y reactivar el mercado interno y 3. Aporta a la seguridad alimentaria del país con alimentos sanos e inocuos.

Literatura citada

- Aich, N., S. Nama, A. Biswal and T. Paul. 2020. A review on recirculating aquaculture systems: Challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Innovative Farming* 5(1):017-024.
- Altieri, M. A. 2018. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. CRC Press.
- Andersen, P. S., H. Vejre, T. Dalgaard and J. Brandt. 2013. An indicator-based method for quantifying farm multifunctionality. *Ecological Indicators* 25:166-179.
- Anderson, J. L., F. Asche, T. Garlock and J. Chu. 2017. Aquaculture: Its role in the future of food. p. 159-173. *In: World Agricultural Resources and Food Security: International Food Security*. Emerald Publishing Limited.
- Bhari, B. and C. Visvanathan. 2018. Sustainable aquaculture: Socio-economic and environmental assessment. *Sustainable Aquaculture* 63-93.
- Bianconi, A., T. Dalgaard, B. F. Manly, J. S. Govone, M. J. Watts, P. Nkala *et al.* 2013. Methodological difficulties of conducting agroecological studies from a statistical perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37(4):485-506.

- Bohnes, F. A., M. Z. Hauschild, J. Schlundt, M. Nielsen and A. Laurent. 2022. Environmental sustainability of future aquaculture production: Analysis of Singaporean and Norwegian policies. *Aquaculture* 549:737717.
- Boyd, C. E., L. R. D'Abramo, B. D. Glencross, D. C. Huyben, L. M. Juarez, G. S. Lockwood *et al.* 2020. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society* 51(3):578-633.
- Buzan, T. 2002. *Cómo crear mapas mentales*. Ediciones Urano. Madrid, España. 126 p.
- Cámara de Diputados. 2020. Artículo 26 constitucional. Iniciativas de reforma presentadas en las LXII, LXIII y LXIV Legislaturas de la Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx> [consultado el 6 de mayo de 2024].
- Cantrell, D. 2023. Aquaculture: Sustainable food production. p. 679-701. *In: The Palgrave Handbook of Global Sustainability*. Cham: Springer International Publishing.
- CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías). 2023. Programas Nacionales Estratégicos. <https://conahcyt.mx/pronaces/> [consultado el 6 de mayo de 2024].
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). 2020. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2020. <https://nube.conapesca.gob.mx> [consultado el 6 de mayo de 2024].
- Edwards, P. 2015. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. *Aquaculture* 447:2-14.
- Emerenciano, M., G. Gaxiola and G. Cuzon. 2013. Biofloc technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass Now-Cultivation and Utilization* 12:301-328.

Engle, C. R. and J. van Senten. 2022. Resilience of communities and sustainable aquaculture: Governance and regulatory effects. *Fishes* 7(5):268.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. <http://www.fao.org> [consultado el 6 de mayo de 2024].

Gentry, R. R., H. E. Froehlich, D. Grimm, P. Kareiva, M. Parke, M. Rust *et al.* 2017. Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature ecology & evolution* 1(9):1317-1324.

Gobierno de México. 2024. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. <https://www.planeandojuntos.gob.mx> [consultado el 6 de mayo de 2024].

Grealis, E., S. Hynes, C. O'Donoghue, A. Vega, S. Van Osch and C. Twomey. 2017. The economic impact of aquaculture expansion: An input-output approach. *Marine Policy* 81:29-36.

Halwart, M., S. Funge-Smith and J. Moehl. 2003. The role of aquaculture in rural development. p. 47-58. *In: Review of the State of World Aquaculture*. FAO. Rome.

Hambrey, J. 2017. The 2030 Agenda and the sustainable development goals: The challenge for aquaculture development and management. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*.

INAES (Instituto Nacional de la Economía Social). 2018. <https://www.gob.mx/inaes> [consultado el 6 de mayo de 2024].

Kumar, M. S. 2014. Sustainable management of fisheries and aquaculture for food security and nutrition: Policies requirements and actions. *Agricultural Research* 3:97-103.

- Little, D., B. K. Barman, B. Belton, M. Beveridge, S. J. Bush, L. Dabaddle *et al.* 2012. Alleviating poverty through aquaculture: Progress, opportunities and improvements.
- Olaganathan, R. and A. T. K. Mun. 2017. Impact of aquaculture on the livelihoods and food security of rural communities. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 5(2):278.
- Osmundsen, T. C., V. S. Amundsen, K. A. Alexander, F. Asche, J. Bailey, B. Finstad *et al.* 2020. The operationalisation of sustainability: Sustainable aquaculture production as defined by certification schemes. *Global Environmental Change* 60:102025.
- Peñalosa, M. D., F. J. Vergara-Solana, M. E. Araneda P. and F. Aranceta G. 2024. An introduction to sustainable aquaculture. Routledge.
- PND (Plan Nacional de Desarrollo). 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. <https://lopezobrador.org.mx> [consultado el 6 de mayo de 2024].
- Pradeepkiran, J. A. 2019. Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational Animal Science* 3(2):903-910.
- Platas, R. D. E. y J. Vilaboa A. 2014. La acuicultura mexicana: potencialidad, retos y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Agronegocios* 35:1065-1071.
- Salin, K. R. and A. G. Ataguba. 2018. Aquaculture and the environment: Towards sustainability. *Sustainable Aquaculture* 1-62.
- Stickney, R. R. and D. M. Gatlin III. 2022. Aquaculture: An introductory text. Cabi.
- Stickney, R. R. and G. D. Treece. 2012. History of aquaculture. p. 15-50. *In: Aquaculture Production Systems*.

Subasinghe, R., D. Soto and J. Jia. 2009. Global aquaculture and its role in sustainable development. *Reviews in Aquaculture* 1(1):2-9.

Thomas, M., A. Pasquet, J. Aubin, S. Nahon and T. Lecocq. 2021. When more is more: Taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews* 96(2):767-784.

ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

Diana Berenice Reyes Jaen³⁴⁹, Victoria Magdalena Pulido Juárez³⁴⁹,
Ignacio Alejandro Pérez Legaspi³⁴⁹, Ana Leticia Platas Pinos³⁴⁹ y Eugenio Rangel León^{349*}

Resumen

Los antimicrobianos combaten o previenen enfermedades causadas por microorganismos como: bacterias, hongos, virus y parásitos. La resistencia de patógenos a los antibióticos ha aumentado la morbilidad y mortalidad humana, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevos compuestos antimicrobianos de fuentes naturales, especialmente marinas, como algas e invertebrados. Las algas producen compuestos secundarios con potencial biomédico, entre los que se incluyen: antibacterianos, antifúngicos, antitumorales, anticoagulantes y antivirales. Entre los componentes antimicrobianos, los compuestos fenólicos son abundantes, seguidos de los terpenos. Las algas pardas y verdes son ricas en compuestos fenólicos, mientras que, los terpenos son más comunes en algas pardas y rojas. Investigaciones en regiones como el Mediterráneo, India, China, Australia y Canadá, con más de 150 especies recolectadas en el Caribe, han demostrado la presencia de compuestos antimicrobianos en diversas algas. Ejemplos incluyen a *Phaeocystis pouchetii* (ácido acrílico) y *Spirulina platensis* (ácido linolénico). En Oaxaca se extrajeron compuestos de 18 especies de algas con notable actividad antibacteriana, especialmente de *Jania tenella* contra *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes*. En este trabajo se evaluó la actividad antibacteriana de extractos de algas *Gracilaria bursa-pastoris*, *Gracilaria caudata*, *Acanthophora spicifera* y *Padina gymnospora* recolectadas en Boca del Río, Veracruz. Los resultados muestran que *A. spicifera* y *P. gymnospora* tienen la mayor actividad antibacteriana, alcanzando hasta un 80% en comparación con el control antibiótico. Las cepas *S. aureus* y *B. subtilis* fueron las más sensibles a los extractos, especialmente los de etanol, metanol y acetona. *E. coli* mostró baja actividad para los extractos alcohólicos, sin superar los 10 mm de inhibición. La actividad antibacteriana fue mayor en cepas Gram positivas que en Gram negativas. Se concluye que, *A. spicifera* y *P. gymnospora* presentan la mayor actividad antibacteriana. Las cepas de *S. aureus* y *B. subtilis* fueron las más sensibles a los extractos, especialmente los de etanol, metanol y acetona. Los extractos de *Gracilaria* solo mostraron actividad en los extractos alcohólicos para *B. subtilis* y *P. aeruginosa*. La cepa de *E. coli* mostró baja actividad para los extractos alcohólicos y nula actividad contra extractos con acetona y cloroformo, indicando sensibilidad a compuestos de alta polaridad.

Palabras clave: algas marinas, extractos de algas, antibacterianos

³⁴⁹ TecNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río. * Autor por correspondencia: eugeniorangel@bdelrio.tecnm.mx

Introducción

Los antimicrobianos son compuestos dedicados a combatir o prevenir las enfermedades causadas por microorganismos como las bacterias, hongos, virus, parásitos, entre otros, los cuales infectan a un organismo y lo parasitan. A estos microorganismos se les conoce como patógenos, ya que son causantes de algunas enfermedades (Fundación Santa Fe de Bogotá, 2019).

En los últimos años, la resistencia a los antibióticos de algunos microorganismos patógenos ha aumentado la morbilidad y mortalidad en la población humana, lo que ha provocado la búsqueda de nuevos compuestos antimicrobianos a partir de fuentes naturales, y uno de esas fuentes son las marinas, primordialmente las algas y los invertebrados (Murray *et al.*, 2013).

Las algas han demostrado ser los principales productores de compuestos secundarios con potencial biomédico, por su riqueza de compuestos bioactivos, como los antibacterianos, antifúngicos, antitumorales, anticoagulantes y antivirales (Mayer *et al.*, 2007).

En cuanto a los componentes extraídos y con actividad antimicrobiana destacan los compuestos fenólicos, seguido de los terpenos como compuestos de mayor abundancia en los resultados satisfactorios publicados en la literatura. Es importante señalar, que las algas pardas y verdes son las que ofrecen la mayor cantidad de compuestos fenólicos en los extractos realizados y en el caso de los terpenos abundan más en los extractos de algas pardas y rojas; no obstante, en los tres grupos de algas se han encontrado compuestos con actividad antimicrobiana (Vairappan *et al.*, 2001; Lima-Filho *et al.*, 2002; Ríos *et al.*, 2009).

Las investigaciones sobre el uso de algas marinas como antimicrobianos, abarcan regiones como el Mediterráneo, India, China, Australia y Canadá, con más de 150 especies recolectadas en el Caribe (Ballantine *et al.*, 1987). Se han extraído compuestos antimicrobianos de diversas algas, como: *Phaeocystis pouchetii* (ácido acrílico), *Spirulina platensis* y *Chlorococcum* (ácido linolénico) (Ríos *et al.*, 2009). El género *Dictyota* ha producido 125 diterpenos de 18 especies globales, entre las que destaca *Dictyota dichotoma* (Duran *et al.*, 1997). Del género *Sargassum*, *S. tortile* contiene crinitol con actividad contra *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus* (Kubo *et al.*, 1992). *Padina boergesenii*, de India, muestra actividad contra *Xanthomonas oryzae* mediante extracción metanólica (Martínez *et al.*, 2002). Lima-Filho *et al.* (2002) extrajeron compuestos antimicrobianos de seis algas con eficacia contra diversas

bacterias Gram positivas y negativas. Las algas rojas del género *Laurencia* producen metabolitos antimicrobianos como elatol e iso-obtusol, y otras especies generan compuestos fenólicos con actividad citotóxica y antimicrobiana (Vairappan *et al.*, 2001). Las algas verdes de las familias Codiaceae, Udoteaceae y Caulerpáceae generan sesquiterpenos y diterpenos con actividad farmacológica (Fenical, 1981). En Oaxaca, se extrajeron compuestos de 18 especies de algas con notable actividad antibacteriana, especialmente de *Jania tenella* contra *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes*, aunque sin éxito contra *E. coli*, *E. aerogenes* y *Shigella sonnei*. Por tal motivo, en este trabajo se tuvo por objetivo evaluar la actividad antibacteriana de extractos obtenidos de algas del género *Gracilaria bursa-pastoris*, *Gracilaria caudata*, *Acanthophora spicifera* y *Padina gymnospora* recolectadas en la costa de Boca del Río, Veracruz.

Materiales y métodos

Obtención del material biológico

Las algas seleccionadas para este trabajo: *Gracilaria bursa-pastoris*, *Gracilaria caudata*, *Acanthophora spicifera* y *Padina gymnospora* se recolectaron en la playa Pelicano (de coordenadas 19.148621, -96.094078 a 19.150708, -96.093349) que se encuentra en el municipio de Boca del Río, Veracruz; lo anterior, debido a que es el sitio con mayor proximidad al arrecife Ingenieros. Se tomaron las algas de arribazón que se encuentran en la playa, seleccionando las que aún se encontraban frescas, las cuales se enjuagaron en el lugar con agua marina y se colocaron en bolsas Ziploc, realizando una previa separación por géneros. Una vez realizada la colecta, se transportaron al laboratorio del Instituto y allí se realizó un enjuague con agua potable y se limpió de materiales y organismos extraños al alga. Las algas se guardaron en bolsas Ziploc bajo refrigeración para su posterior secado.

Las algas se llevaron a la estufa de secado, para su deshidratación, a una temperatura de 60°C hasta que se obtuvo peso constante, con una variación de ± 0.01 g. El alga deshidratada se molió y se guardó en bolsa Ziploc en ambiente de humedad controlada.

Extracción de compuestos bioactivos

Para realizar la extracción se realizó la maceración, usando como solventes de extracción acetona, cloroformo, etanol 96% y metanol puro. En el matraz de extracción se colocaron de 5-9 g de alga en 75-135 mL de solvente, empleado una relación 1:15 g/mL; la extracción se realizó durante 24 horas. El extracto obtenido se destiló en rotavapor a 40°C. El residuo se pesó y se resuspendió en 1-2 mL de DMSO como solvente final y se guardó en el congelador a -4°C para su posterior uso.

Ensayo cualitativo de actividad antimicrobiana de los extractos (difusión en agar)

Las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Escherichia coli* ATCC 25922 (Gram negativas), *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 y *Bacillus subtilis* ATCC 6051 (Gram positivas) se emplearon como cepas testigo del ensayo; estas se sembraron en caldo Mueller Hinton y se cultivaron durante 24 h de cultivo a 35°C. Los ensayos se efectuaron por triplicado sobre cajas Petri con agar Mueller Hinton y estas se sembraron con hisopo estéril sobre la superficie de la placa con una concentración de 1.5×10^8 UFC/mL (0.080-0.12 de absorbencia), posteriormente se colocaron sobre la superficie de la placa seis discos de papel filtro de 8.5 mm de diámetro impregnados con el extracto a evaluar, un disco más impregnado de DMSO como control negativo y un disco impregnado de antibiótico ceftriaxona (100 mg/L) como control positivo a la inhibición, para descartar la influencia del solvente sobre el crecimiento del microorganismo, y se dejaron una hora a 10°C, para permitir la sequedad del mismo y la impregnación de los extractos en el agar. Las placas se incubaron a 35°C durante 24 horas, registrando el diámetro de los halos de inhibición con un vernier.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestra que la mayor actividad se percibe en las cepas de *A. spicifera* y *P. gymnospora*, alcanzando hasta un 80% de actividad en comparación a control antibiótico.

Cuadro 1. Actividad antibacteriana de extractos obtenidos de algas para las cepas *S. aureus*, *B. subtilis*, *E. coli* y *P. aeruginosa*.

Solvente	Alga	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Etanol	<i>G. caudata</i>	< 10	12.23 ± 1.23	<10	<10
	<i>G. bursa-pastoris</i>	< 10	<10	<10	<10
	<i>A. spicifera</i>	23.97 ± 0.57	25.86 ± 0.89	<10	11.98 ± 1.45
	<i>P. gymnospora</i>	24.9 ± 3.66	17.56 ± 2.15	<10	14.86 ± 0.96
Metanol	<i>G. caudata</i>	< 10	<10	<10	12.86 ± 1.73
	<i>G. bursa-pastoris</i>	30.7 ± 0.7	20.71 ± 1.14	<10	<10
	<i>A. spicifera</i>	26.77 ± 2.31	23.42 ± 0.53	<10	15.21 ± 0.86
	<i>P. gymnospora</i>	28.37 ± 1.93	28.42 ± 2.09	<10	12.01 ± 1.13
Acetona	<i>G. caudata</i>	<10	<10	ND	ND
	<i>G. bursa-pastoris</i>	<10	<10	ND	ND
	<i>A. spicifera</i>	28.93 ± 1.15	14.12 ± 0.46	<10	ND
	<i>P. gymnospora</i>	25.03 ± 1.69	11.05 ± 0.78	<10	ND
Cloroformo	<i>G. caudata</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>G. bursa-pastoris</i>	ND	ND	ND	ND
	<i>A. spicifera</i>	<10	<10	ND	ND
	<i>P. gymnospora</i>	<10	<10	ND	ND
Control positivo		35.13± 3.82	35.27 ± 2.74	24.12±1.89	31.76 ± 2.54

* Diámetro de halos de inhibición en milímetros. ND sin actividad encontrada.

Las cepas *S. aureus* y *B. subtilis* fueron las de mayor sensibilidad a los extractos, siendo etanol, metanol y acetona, los de mayor actividad antibacteriana, el género *Gracilaria* mostró solo actividad en la especie *G. bursa-pastoris* con extracto metanólico para las especies mencionadas y *G. caudata* tuvo actividad para *P. aeruginosa*. La cepa *E. coli* mostró baja actividad para los extractos alcohólicos; en ningún de los casos se alcanzó mayor diámetro a los 10 mm de inhibición.

Cabe mencionar que *A. spicifera* fue el alga roja con mayor contenido de sólidos presentes en los extractos, así como, con mayor coloración en los mismos (Figura 1); del mismo modo, *P. gymnospora* mostró las mismas características (datos no reportados). En el caso de las *Gracilarias*, el contenido de sólidos fue abundante para los extractos alcohólicos y en menor medida para los extractos acetónicos y cloroformo. Por otro lado, la actividad antibacteriana fue mayor en las cepas Gram positivas que en las Gram negativas.



Figura 1. Extracto metanólico concentrado de *Acanthophora spicifera*.

Los resultados obtenidos en este estudio, concuerdan con los reportados por Ríos *et al.* (2009), quienes mencionan que los extractos alcohólicos, por su mayor polaridad, presentan mayor compatibilidad a los compuestos polifenólicos y pigmentos, como los fenoles, flavonoides, clorofilas y carotenoides polares, característicos de los pigmentos algales. Así también, los extractos acetónicos y cloroformo presentan mayor compatibilidad a los compuestos de baja polaridad como los terpenos y carotenos.

En el caso de *Escherichia coli*, De Lara-Isassi *et al.* (1999) y Ríos *et al.* (2009) reportaron una baja o nula actividad antibiótica para los extractos obtenidos de las tres clases de algas, verdes, rojas y pardas, siendo estas últimas las de mayor actividad antibacteriana contra la cepa en cuestión. Por otro lado, *S. aureus* es la cepa más sensible a los extractos ensayados en los reportes mencionados, de la misma manera a lo hallado en este trabajo; sin embargo, se obtuvieron mejores respuestas a inhibición de crecimiento para *B. subtilis* y *P. aeruginosa*, alcanzando hasta 82.02 y 47.89%, respectivamente, en comparación al control positivo.

Conclusiones

1. Las cepas de *A. spicifera* y *P. gymnospora* presentaron la mayor actividad antibacteriana.
2. Las cepas de *S. aureus* y *B. subtilis* demostraron ser las más sensibles a los extractos obtenidos, especialmente aquellos preparados con etanol, metanol y acetona.
3. Los extractos de *Gracilaria* solo mostraron actividad en los extractos alcohólicos para *B. subtilis* y *P. aeruginosa*.
4. *Escherichia coli* mostró baja actividad para los extractos alcohólicos, sin superar los 10 mm de inhibición y una nula actividad contra los extractos con acetona y cloroformo, indicando una sensibilidad con los compuestos de alta polaridad.
5. se recomienda realizar una determinación del perfil de compuestos obtenidos, así como, una purificación de los mismos para verificar su actividad individual o sinérgica, según sea el caso y con ellos tener la posibilidad de diseñar un producto para el combate de estas cepas patógenas.

Literatura citada

- Ballantine, D. L., W. H. Gerwick, S. M. Velez, E. Alexander and Guevara P. 1987. Antibiotic activity of lipid-soluble extracts from Caribbean marine algae. *Hydrobiol.* 151/152:463-469.
- De Lara Isassi, G., S. Álvarez-Hernández, C. Lozano-Ramírez y N. Hernández-Soto. 1999. Nuevas ediciones al conocimiento de la actividad antibiótica de macroalgas marinas mexicanas. *Hidrobiol.* 9(2):159-169.
- Duran, R., E. Zubia, M. J. Ortega and J. Salvá. 1997. New diterpenoids from the alga *Dictyota dichotoma*. *Tetrahedron* 53:8675-8688.
- Fenical, W. 1981. Ichthyotoxic and cytotoxic metabolites of the tropical marine brown algae *Strypodium zonale*. *J. Org. Chem.* 46:22-27.

Fundación Santa Fe de Bogotá. 2019. ¿Qué son los antimicrobianos?.
https://www.fsfb.org.co/wps/portal/fsfb/inicio/servicioensalud/blog/detalle/antimicrobianos/!ut/p/z1/lZFBT4NAEIV_iweOstOFGuoNarMFRbCRFvdits0WNim7ZFkl8de7GA8SDbVzm-R7M_PellpKRCV7FxUzQkl2sv0LvXnNs7U_83xlg9UqgqdsEebr7Rb7CUa7LwBGFUK0wZEHQDKM6OX6n5P-p58A6PT45NwCmwDW6TKtEG2Zqa-FPCpUMmIElw5a7QWTqhuoUO69wFKaH7nm2n3TNr7amLa7dcCBvu_dSqnqxN2Dahz4S1KrzqByTFqHdHwjeUzmw43kvohilGT-C8iiOwifN3k-K7zB5zwcw9aVzObVNUZQfD3wXmEUs4qtPVEZhcQ!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/ [consultado en abril de 2024].

Kubo, I., M. Himejima, K. Tsujimoto and H. Muroi. 1992. Antibacterial activity of crinitol and its potentiation. J. Nat. Prod. 55:780-785.

Lima-Filho, J. V. M., A. F. F. U. Carvalho, S. M. Freitas and V. M. M. Melo. 2002. Antibacterial activity of extracts of six macroalgae from the northeastern brazilian coast. Braz. J. Microbiol. 33(4):311-314.

Martínez, M. A., L. A. Arias, J. L. Rueda M., M. C. Díaz R. and G. Bula-Meyer. 2002. Estudio de la actividad antimicrobiana de los extractos alcohólicos de algunas macroalgas del caribe colombiano. Vitae 9(2):49-55.

Mayer, A. M., A. D. Rodríguez, R. G. Berlinck and M. T. Hamann. 2007. Marine pharmacology in 2003-4: Marine compounds with anthelmintic antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiplatelet, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, immune and nervous systems, and other miscellaneous mechanisms of action. Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol. 145(4):553-81.

- Murray, P. M., S. Moane, C. Collins, T. Beletskaya, O. P. Thomas, A. W. Duarte and F. S. Nobre. 2013. Sustainable production of biologically active molecules of marine based origin. *N. Biotechnol.* 30(6):839-50.
- Ríos, N., G. Medina, J. Jiménez, C. Yáñez, M. Y. García, M. L. Di Bernardo and M. Gualtieri M. 2009. Actividad antibacteriana y antifúngica de extractos de algas marinas venezolanas. *Rev. Peru. Biol.* 16(1):97-100.
- Vairappan, C. S., M. Daitoh, M. Suzuki, T. Abe and M. Masuda. 2001. Antibacterial halogenated metabolites from the Malaysian *Laurencia* species. *Phytochemistry* 58:291-297.

ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LANGOSTINO MALAYO (*Macrobrachium rosenbergii*) EN MÉXICO

Karla Teresa González Figueroa³⁵⁰, Juan Lorenzo Reta Mendiola^{350*}, Felipe Gallardo López³⁵⁰,
Alberto Asiain Hoyos³⁵⁰, Katia Angélica Figueroa Rodríguez³⁵¹ y Verónica Lango Reynoso³⁵⁰

Resumen

Desde su introducción en México, el cultivo de langostino malayo ha pasado por varias etapas; sin embargo, su estado actual es importante para seguir desarrollando el cultivo y fomentar su acuicultura y producción. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer el origen, evolución, estado actual y perspectivas de la cadena productiva de langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) en México. Para lo anterior, se realizó una revisión y análisis de literatura de *M. rosenbergii* enfocada en la cadena productiva y se mencionan los aspectos más importantes de productividad, legales y económicos. En términos generales, la cadena productiva de langostino malayo ha sufrido cambios a través del tiempo, siendo el cierre de las unidades de producción de postlarva una limitante para su desarrollo. Existe limitada información sobre la cadena productiva de *M. rosenbergii* y la información existente en México se enfoca a nivel experimental. En la cadena productiva, en el eslabón de producción, en específico en la producción de postlarva, su oferta es limitada, siendo una debilidad este eslabón para su restablecimiento.

Palabras clave: crustáceos de agua dulce, productividad, eslabones

Introducción

Las especies de langostinos de agua dulce, que alcanzan las mayores tallas corresponden a las incluidas en el género *Macrobrachium*, que se caracterizan por habitar tanto en sistemas estuarinos, como en ríos cercanos a las costas (Rodríguez Almaraz y Mendoza-Alfaro, 1999). A nivel mundial, este mercado es abastecido principalmente por *Macrobrachium rosenbergii*, especie asiática ampliamente cultivada, que se produce en India, China y Tailandia, desde donde se exporta a Europa, Asia y Norteamérica (New, 2009).

³⁵⁰ Colegio de Postgraduados, campus Veracruz. *Autor de correspondencia: jretam@colpos.mx

³⁵¹ Colegio de Postgraduados, campus Córdoba.

También hay un consumo significativo de langostinos de agua dulce capturados en la naturaleza en México, Perú, Brasil y varias islas del Caribe. Sin embargo, la sobrepesca y la destrucción del hábitat han hecho que estén escasos, y los langostinos de acuicultura pueden abastecer estos mercados abiertos (Valenti y Tidwell, 2006).

De las especies registradas en México, cuatro son económicamente atractivas, por la actividad pesquera que se ejerce sobre ellas; las especies *M. acanthurus* y *M. carcinus*, se distribuyen principalmente en ríos y sistemas estuarinos del Golfo de México, por otra parte, *M. tenellum* y *M. americanum*, se distribuyen en la vertiente del Pacífico (Avendaño, 1994).

En el caso de México, las poblaciones de langostinos del género *Macrobrachium* parecen estar desapareciendo. Lo anterior es sugerido principalmente, por afirmación por parte de los habitantes de estas regiones, que durante generaciones han estado en contacto con el recurso, viendo la reducción de su pesca (García-Guerrero *et al.*, 2013).

Una opción es la acuicultura de langostino malayo, por ser una especie cultivada a nivel mundial y por su ciclo de reproducción completo; sin embargo, hay que tomar diversas consideraciones, tanto socioeconómicas, como ambientales para la ampliación de su cultivo. Por ello, el objetivo de este trabajo es conocer el origen, evolución, estado actual y perspectivas de la cadena productiva de langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) en México.

Materiales y métodos

Del 14 al 16 de febrero de 2024, se realizó una búsqueda de literatura mediante el buscador Google académico, utilizando las palabras clave "*M. rosenbergii*" AND "México", la cual arrojó 637 resultados, "*M. rosenbergii*" AND "Production chain", dió 251 resultados, y por último "*M. rosenbergii*" AND "Production chain" AND "Mexico", aportó 63 resultados. Se descartó la información que no correspondiera a México y en específico a la especie *M. rosenbergii*, ya que también hay investigaciones de las especies nativas en conjunto. Asimismo, se consideró información de libros y manuales. La información más importante se sintetizó y se muestra en los siguientes apartados.

Resultados y discusión

Historia

El langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) se introdujo por primera vez a México en septiembre de 1973 procedente de la India, posteriormente se introdujo de Honduras, Hawái y Estados Unidos (Ponce-Palafox y Cabanillas-Beltrán, 1999). De acuerdo con New y Kutty (2010) el langostino malayo se introdujo a México en varias ocasiones a finales de los años sesenta y durante los setenta desde Hawái y Ecuador.

En el año 1978, el entonces Departamento de Pesca, construyó los centros acuícolas “El Real”, en Veracruz, “El Carrizal”, en Coyuca de Benítez, Guerrero, y “Chametla”, Sinaloa, cuyo objetivo general fue la producción de postlarvas de langostino (DOF, 2012).

En el año 1987, en las primeras etapas de la fase de operación comercial, se contaba con 47 granjas de los sectores social y privado y 13 laboratorios productores de postlarvas (PL). En esa etapa el desarrollo tecnológico en las unidades de producción acuícolas (UPAs) no fue satisfactorio, ya que los rendimientos máximos reportados alcanzaron en promedio 700 kg/ha/año; mientras que los rendimientos obtenidos en el Caribe y Sudamérica eran de 3,000 kg/ha/año. A pesar de esto se produjeron 161 t de langostino cultivado en 1986-1987 (Ponce-Palafox y Cabanillas-Beltrán, 1999).

De acuerdo con las memorias del Seminario Nacional de Cultivo y Comercialización de Langostino celebrado en Acapulco, Guerrero, del 19 al 22 de abril de 1988, se consideraron aspectos del cultivo, así como policultivo con especies de valor comercial, las características de calidad de agua y suelo, comercialización y sitios potenciales de cultivo (Secretaría de Pesca, 1988).

México cuenta con un entorno más adecuado que el de Estados Unidos para realizar el cultivo de la especie; sin embargo, la producción descendió de un máximo de 410 t en el año 1988 a sólo 139 t en el año 1991, aumentando un poco hasta 167 t en el año 1992; esta disminución, es probable, que sea debido al interés relacionado por el camarón marino y al aumento de su producción (New, 1995).

Dentro de las situaciones que se le atribuye la disminución de la producción, fueron problemas técnicos y de financiamiento, ya que la mayoría de las UPAs habían caído en cartera vencida y algunas de ellas, estaban en peligro de quiebra total, y por consecuencia en el cierre de sus

operaciones. Por otro lado, debido a una mala planeación de los laboratorios productores de PL, existía una sobre oferta superior al 90% de la capacidad instalada, que era alrededor de 115 millones de PL al año. En esta etapa la investigación asociada a la producción y el desarrollo tecnológico fue muy limitada, por lo que no contribuyó a la solución de los problemas. Solo tuvo algún efecto en aquellos sistemas de producción que fueron subsidiados o tuvieron el apoyo (Ponce-Palafox y Cabanillas-Beltrán, 1999).

Según las estadísticas de la FAO, a partir de 1990 descendió la producción, 175 t en 1993 cayó a 90 t en 1996. En el año 1997 fue de 112 t y sólo se reportaron 37 t para 1998. La información local, basada en estadísticas nacionales, situaba la producción en 112 t en 1996 y 130 t en 1997, siendo las principales zonas de producción Guerrero, Morelos, Jalisco y Puebla. Las estimaciones del número de granjas en 1999 variaban de 11 a 28, la mayoría de las cuales se dice que tienen más de 2 ha de superficie (New, 2000).

Según la información local, en 1999 en México sólo existía un laboratorio de producción de PL, situado en la costa del estado de Guerrero. Este criadero gubernamental tenía una capacidad de 11 millones de PL/año, pero su producción real estaba muy por debajo de ese nivel (por ejemplo: 3.2 millones de PL en 2003). Los reproductores procedían de granjas comerciales y el laboratorio de producción funcionaba con un sistema de flujo continuo de agua verde manejando 60 larvas/L. En 1999, la planta de incubación gubernamental ofrecía PL gratuitas, presumiblemente en un intento de estimular el sector (New, 2000).

En 2002, la producción registrada había descendido a 29 t, pero volvió a aumentar gradualmente hasta alcanzar las 60 t en 2007. México también ha comunicado a la FAO una producción de langostinos de río del género *Macrobrachium* spp., de especies nativas, de 28 a 30 t/año entre 2005 y 2007 (New y Kutty, 2010). A pesar de ello, los informes de los corresponsales en México indicaron que había poco interés en ampliar el cultivo de langostino. La introducción de otras especies exóticas, como la langosta australiana (*Cherax quadricarinatus*), que no alcanzó la productividad y los beneficios esperados, ha dañado el clima económico de la cría de crustáceos de agua dulce. A partir de la década de los 90's se produjo un desplazamiento hacia los peces marinos, los peces ornamentales y las tilapias (New, 2009).

En 2007, el cultivo en las dos granjas del estado de Veracruz era exclusivamente policultivo con tilapia; una granja (con su propio criadero) tenía dos estanques de 0.5 ha y la otra tenía

un estanque de 0.3 ha. La tasa de crecimiento de los langostinos PL10 (postlarva de 10 días) es de 10/m² y se calcula que sobreviven a la cosecha en torno al 70%. Las tilapias se siembran a 5/m³, se cosechan durante todo el ciclo de crecimiento de los langostinos, cuando alcanzan unos 200 g. Los langostinos se cosechan parcialmente con red de cerco cinco meses después de la siembra y de nuevo al final del ciclo de producción estacional de seis meses (New y Kutty, 2010).

Evolución

De acuerdo con Asiain-Hoyos *et al.* (2022) las cifras oficiales durante el periodo de 1995 a 2016 muestran producción, siendo volúmenes inferiores de 300 t anuales. Después de eso no se reportó ninguna cifra, lo que sugiere que los pocos criaderos del gobierno y privados dejaron de producir y ofertar postlarvas, lo que ocasionó el colapso de la incipiente industria.

De acuerdo con Gómez-Rigalt *et al.* (2016) en la parte central de Veracruz se comercializan *M. carcinus*, *M. acanthurus* y *M. rosenbergii*. El precio de venta en el mercado por kilo de *M. carcinus* varía entre \$270.00 y \$450.00 y en restaurantes oscila entre los \$540.00 y \$1,000.00 (Gómez-Rigalt *et al.*, 2016). Tanto los mercados, como los locales de comida se abastecen principalmente de la producción de otros estados como Tabasco y Tamaulipas. La pesquería de *M. acanthurus*, es una actividad que actualmente extrae langostinos de talla pequeña, los cuales son para autoconsumo y/o se comercializan como carnada para la pesca deportiva. El precio en mercado oscila entre \$85.00 y \$120.00 el kilogramo (Gómez-Rigalt, 2017).

En 2013, la unidad de producción que abastecía la demanda de langostino malayo en el Golfo de México, dejó de ofertar PL por causas de tipo social y no de ineficiencia técnica (Reta-Mendiola *et al.*, 2019). De acuerdo con Asiain-Hoyos *et al.* (2020) existe una unidad de producción de postlarvas de langostino en el estado de Oaxaca y otra unidad en el estado de Guerrero, que abastecen de postlarvas de manera intermitente al estado de Morelos.

Varios investigadores han estudiado a esta especie en particular desde su introducción a México hasta la fecha; cabe recalcar que *M. rosenbergii* es la especie de crustáceos de agua dulce más estudiada a nivel mundial (Chong-Carrillo *et al.*, 2018). En el Cuadro 1 se muestran las principales investigaciones sobre esta especie realizadas en México.

Cuadro 1. Investigaciones realizadas con *M. rosenbergii* en México.

Investigaciones	Aporte	Referencia
Policultivo	Evaluaron el policultivo de <i>M. rosenbergii</i> con <i>Oreochromis hornorum</i> .	Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo (1993)
Temperatura	Temperaturas inferiores a 16°C y máximas de 42°C.	Díaz-Herrera <i>et al.</i> (1998)
Enfermedades	Mostraron las enfermedades que se han detectado durante los últimos años del cultivo <i>M. tenelum</i> y <i>M. rosenbergii</i>	Ponce-Palafox <i>et al.</i> (2005)
Toxicidad	Evaluaron efectos de metales pesados.	Camacho-Sánchez (2007)
	Evaluaron la toxicidad, bioacumulación y transferencia del plomo.	Benítez-Fernández <i>et al.</i> (2023)
Acuaponía	Evaluaron la factibilidad de producir lechuga romana (<i>Lactuca sativa</i> L. var. Longifolia) en un sistema acuapónico semi-intensivo de <i>O. niloticus</i> y <i>M. rosenbergii</i> .	Calderón-García <i>et al.</i> (2019)
Biofloc	Mayor contenido de proteínas y lípidos por el aporte nutricional del material de biofloc.	Pérez-Fuentes <i>et al.</i> (2013)
Alimentación	El biofloc contribuye a las necesidades de proteína y lípidos.	Pérez-Velasco <i>et al.</i> (2023)
	Evaluaron la elaboración de alimento semihúmedo con calamar.	Santos-Gutiérrez <i>et al.</i> (2011)

Estado actual

Dentro de las instituciones educativas que trabajan con esta especie se encuentran el Tecnológico Nacional de México, campus Boca del Río; la Universidad del Mar, campus Puerto Ángel y el Colegio de Postgraduados, campus Veracruz (Reta-Mendiola *et al.*, 2019). Hay otras instituciones de investigación que trabajan con especies nativas como el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR) y la Universidad de Guadalajara.

Como casos de éxito, actualmente existe un productor de langostino a nivel comercial ubicado en Quintana Roo (Reta-Mendiola *et al.*, 2021), quien además produce postlarva de langostino a un precio de \$2.00 cada una; cuenta con la capacidad para ofertar y también maneja la producción de tilapia. Hay varios productores que trabajan con la especie en los estados de Veracruz, Quintana Roo, San Luis Potosí y Oaxaca. Sin embargo, faltan unidades de producción de postlarva para satisfacer la demanda de insumo biológico a los engordadores. La oferta del langostino es constante en el mercado local y regional, principalmente en los estados costeros de nuestro país (DOF, 2012), que son abastecidos a través de la actividad pesquera con especies nativas y con *M. rosenbergii* importado, compitiendo con la producción nacional, ya que son escasas las unidades de producción que se dedican al cultivo de este producto. Es importante para el desarrollo de esta cadena de producción el equilibrio entre la oferta de postlarvas y la demanda de las mismas por los engordadores.

Perspectivas del cultivo

Macrobrachium rosenbergii es una especie ampliamente estudiada tanto a nivel internacional, como nacional. Hasta la fecha se tienen considerados sus requerimientos de cultivo y la tecnología para realizar su acuicultura. Asimismo, también se tienen experiencias en el cultivo en Latinoamérica, en países como Perú, Brasil y Costa Rica.

Existe un mercado abierto para esta especie y muy buena aceptación en la mayor parte del país, ya que la especie se importa y el producto que se encuentra en el mercado viene de países como Vietnam, Bangladesh y Sri Lanka; no se tiene información del volumen que se maneja actualmente.

El cultivo de langostino es una oportunidad de generación de empleo y diversificación acuícola, el cual se puede manejar de forma extensiva en comunidades para la obtención de proteína de calidad para consumo humano (Simoes *et al.*, 2019).

Hasta la fecha no existe un programa maestro de langostino, a diferencia de otras especies exóticas como la tilapia (*Oreochromis* spp) o la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) (Gobierno de Mexico, 2024), por lo que es una oportunidad para reestablecer la cadena productiva de *M. rosenbergii* la conformación de un comité sistema producto langostino.

Cuando fue la introducción de *M. rosenbergii* en el país había una sobreoferta de PL, ahora es al contrario, existe una demanda insatisfecha por los productores, que solicitan postlarva para

engordar y siendo un único productor que oferta postlarva todo el año hasta al sur de México, lo que dificulta la transportación, por lo que es necesario, impulsar la creación de unidades de producción de post-larva, tanto cercanas al abastecimiento de agua de mar, como la viabilidad de usar agua de mar artificial en aquellas zonas donde no es posible obtenerla de esa fuente (Miglio *et al.*, 2021).

Se ha estudiado al langostino en sistemas de biofloc, acuaponia, y policultivo, que son tecnologías para el apoyo sustentable de la calidad de agua; sin embargo, falta transferir estos estudios a la realidad acuícola, en donde su aplicación será una innovación en el cultivo de esta especie, que puede contribuir tanto en ahorro de agua, en zonas donde el recurso es limitado, así como en la alimentación del langostino, motivando a un desempeño óptimo del cultivo.

Conclusiones

1. El cultivo de langostino tiene potencial para seguir siendo un recurso alternativo para diversificar la acuicultura en México, cuya demanda es alta y el precio en el mercado es atractivo. 2. Desde su introducción hasta la fecha es incipiente la producción, sin embargo, el recurso genético no se ha perdido y sigue conformándose alianzas con productores, investigadores y desarrolladores de innovación, para preservar el recurso genético y la integración de nuevas unidades de producción. 3. En la cadena productiva, en el eslabón de producción, en específico en la producción de post-larva, su oferta es limitada, siendo una debilidad este eslabón para su restablecimiento.

Literatura citada

Asiain-Hoyos, A., J. L. Reta-Mendiola, A. I. García-Sánchez, y J. Domínguez-Mora. 2020. The Tilapia-prawn polyculture: Its development in Mexico. *Agroproductividad* 13(11):31-36. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i11.1808>.

- Asiain-Hoyos, A., J. L. Reta-Mendiola, A. I. García-Sánchez, D. E. Platas-Rosado, A. Argumedo, H. Chalate *et al.* 2022. El cultivo de langostino malayo en México: una segunda oportunidad para *Macrobrachium rosenbergii*. World Aquaculture 2021 Mérida, Mexico.
- Avendaño, M. E. 1994. Cultivo de langostino. Secretaría de Pesca (ed.).
- Benítez-Fernández, N. C., I. A. Pérez-Legaspi e I. Rubio-Franchini. 2023. Transfer of lead through different trophic levels: Microalgae (*Nannochloropsis oculata*), rotifer (*Brachionus plicatilis*) and prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). Rev. Int. Contam. Ambient. 39. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/rica.54233>.
- Calderón-García, D. M., J. M. Olivas-García, C. Luján-Álvarez, S. H. Ríos-Villagómez y J. Hernández-Salas. 2019. Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes 77:5-11.
- Camacho-Sánchez, M. I. 2007. Bioconcentración y toxicidad de metales en el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). Revista de Toxicología 24(1):14-17.
- Chong-Carrillo, O., F. Vega-Villasante, I. S. Wehrtmann, R. Arencibia-Jorge, L. Michán-Aguirre, M. García-Guerrero *et al.* 2018. Analysis of the scientific research structure regarding the genus *Macrobrachium* (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) between 1980 to 2016 based on the Web of Science. Latin American Journal of Aquatic Research 46(3):621-625. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-18>.
- Díaz-Herrera, F., E. Sierra-Uribe, F. L. Bückle-Ramírez y A. Garrido-Mora. 1998. Critical thermal maxima and minima of *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae). Journal of Thermal Biology 23(6):381-385. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(98\)00029-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0306-4565(98)00029-1).

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2012. 2.7 Langostino malayo, entidades con cultivo. <https://www.gob.mx/imipas/acciones-y-programas/acuacultura-langostino-malayo>.

García-Guerrero, M. U., F. Becerril-Morales, F. Vega-Villasante y L. D. Espinosa-Chaurand. 2013. Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(4):651-675.

Gobierno de Mexico. 2024. Programas maestro. Programas maestro estatales. https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/comites/csp/pm_estatales.php.

Gomez-Rigalt, R., A. Asiain-Hoyos, J. L. Reta-Mendiola y J. Salazar-Ortiz. 2016. El recurso acuícola-pesquero langostino (*Macrobrachium* spp.) en la zona central de Veracruz. *In*: XXIX Reunión Científica y Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2016.

Gómez-Rigalt, R. J. 2017. El recurso acuícola-pesquero langostino (*Macrobrachium* spp.) en la zona central de Veracruz: análisis de la cadena productiva. Colegio de Postgraduados.

Miglio, M. C., B. Zaga, J. C. Gastelu, W. Severi y S. Peixoto. 2021. Survival and metamorphosis of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* larvae in a commercial recirculation system with artificial seawater. *Aquaculture Research* 52(12):6063-6073. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/are.15468>.

Muñoz-Cordova, G. y M. Garduño-Lugo. 1993. Culture of *Macrobrachium rosenbergii* and *Oreochromis hornorum* with organic and inorganic supplementary feeding. *Vet. Mex.* 24(2):149-153.

New, M. B. 1995. Status of freshwater prawn farming: a review. *Aquaculture Research* 26(1):1-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00859.x>.

- New, M. B. 2000. History and global status of freshwater prawn farming. p. 466. *In*: New, M. B. and W. C. Valenti (eds.). Freshwater Prawn Culture The Farming of *Macrobrachium rosenbergii* (Blackwell).
- New, M. B. 2009. History and global status of freshwater prawn farming. p- 1-11. *In*: Freshwater Prawns. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781444314649.ch1](https://doi.org/10.1002/9781444314649.ch1).
- New, M. B. and M. N. Kutty. 2010. Commercial freshwater prawn farming and enhancement around the World. p. 346-399. *In*: New, M. B., W. C. Valenti, J. H. Tidwell, L. R. D'Abramo and M. N. Kutty (eds.). Freshwater Prawns. Biology and Farming.
- Pérez-Fuentes, J. A., C. I. Pérez-Rostro y M. P. Hernández-Vergara. 2013. Pond-reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system. Aquaculture 400-401:105-110. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.028](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.028).
- Pérez-Velasco, R., M. P. Hernández-Vergara, C. I. Pérez-Rostro and C. A. Frías-Quintana. 2023. Variation of dietary protein/lipid levels used in postlarvae of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* cultured in a biofloc system. Latin american journal of aquatic research 51:12-22.
- Ponce-Palafox, J. T., R. González-Salas, O. Romero-Cruz, I. Febrero-Toussaint, J. Arredondo-Figueroa, H. Esparza-Leal *et al.* 2005. Enfermedades del camarón de agua dulce *Macrobrachium tenellum* y *M. rosenbergii* durante el cultivo comercial en estanques rústicos, en empresas rurales. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria VI(12):1-12.
- Ponce-Palafox, J. T. y H. Cabanillas-Beltrán. 1999. La investigación en el cultivo del langostino en México al término de 1995: versión original. *In*: IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuicultura. Memorias, 295.

- Reta-Mendiola, J. L., A. Asiain-Hoyos, J. Domínguez-Mora, B. Fernández-Díaz y J. Salazar-Ortiz. 2019. La cadena agroalimentaria del langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) en las regiones de Sotavento y Grandes Montañas del estado de Veracruz, Mexico: una propuesta para su desarrollo. *Panorama Acuícola Magazine* 24(3):68-70.
- Reta-Mendiola, J. L., J. I. Peláez-Pier, A. Asiain-Hoyos y B. Fernández-Díaz. 2021. El cultivo de langostino malayo *M. rosenbergii* en la región sureste de México. Una experiencia que concreta la cadena productiva y estimula la red de valor. *Panorama Acuícola Magazine* 26(4):46-49.
- Rodríguez-Almaraz, G. A. y R. Mendoza-Alfaro. 1999. Crustáceos nativos de agua dulce: conocimiento y utilización. *In: IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuicultura. Memorias*, 295.
- Santos-Gutiérrez, J. C., M. P. Hernández-Vergara, R. Mendoza-Alfaro y C. I. Pérez-Rostro. 2011. Evaluación nutrimental del flan de calamar como alimento para larvas de langostino *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *Universidad y ciencia* 27(1):66-71.
- Secretaría de Pesca. 1988. Memorias. Seminario nacional de cultivo y comercialización de langostino. Fideicomiso Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero (ed.). Fideicomiso Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero.
- Simoes, J. S., E. T. Mársico, C. A. L. De La Torre, S. B. Mano, R. M. Franco, L. F. Lopes-Dos Santos *et al.* (2019). Nutritional and sensory quality of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and the influence of packaging permeability on its shelf life. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 28(6):703-714. <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.826769>.
- Valenti, W. C. and J. H. Tidwell. 2006. Economics and Management of Freshwater Prawn Culture in Western Hemisphere. p. 261-278. *In: Shrimp Culture: Economics, Market, and Trade*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470277850.ch17>.

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MACRO Y MICROSCÓPICAS DEL ESPERMA DEL MORRO COLORADO (*Vieja fenestrata*)

José Manuel Ramírez Ochoa^{352, 353}, Juan Pablo Alcántar Vázquez^{353*},
Martha Patricia Hernández Vergara³⁵², José Manuel Juárez Barrientos³⁵⁴ y Emyr Saúl Peña Marín³⁵⁵

Resumen

En la región sureste del país, el morro colorado (*Vieja fenestrata*) se ha convertido en una especie con gran potencial para la producción acuícola, ya que presenta una alta demanda en el mercado local. Sin embargo, la nula información que se tiene hasta la fecha acerca de la especie, limita su potencial de cultivo. Dado lo anterior, es necesario realizar estudios relacionados con el control de su reproducción, ya que el conocimiento acerca de los gametos es de vital importancia para un cultivo exitoso. De tal forma, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las características espermáticas de machos del morro colorado mediante parámetros macro (volumen, color y pH) y microscópicos (motilidad, concentración y morfología) a lo largo del tiempo en cautiverio. Para esto se utilizaron 30 reproductores, los cuales se mantuvieron en las mismas condiciones y regímenes de alimentación. Una vez adaptados a las condiciones de los estanques se obtuvieron muestras seminales de cada macho dando un periodo de descanso de 2 meses entre cada muestreo. La concentración espermática, morfología y motilidad se analizaron utilizando el sistema de análisis de esperma asistido por computadora (sistema CASA por sus siglas en inglés). Los valores obtenidos para concentración mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las muestras colectadas al final del experimento con respecto a las colectadas al inicio del mismo. No se observaron diferencias significativas en la motilidad espermática la cual presentó una media de 88% de células progresivas. De igual manera, la morfología registró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las muestras colectadas al final del experimento. Los resultados obtenidos sugieren que las características seminales del morro colorado presentan valores similares a lo reportado para otras especies de alta demanda comercial, por lo cual, con base en la calidad espermática se podría considerar como una especie óptima para la producción acuícola.

Palabras clave: calidad espermática, morro colorado, motilidad, concentración espermática

³⁵² Maestría y Doctorado en Ciencias en Acuicultura, TNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Boca del Río, Veracruz.

³⁵³ Laboratorio de Acuicultura, Ciencias Agropecuarias, Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca, México.

*jupasoul@hotmail.com

³⁵⁴ Laboratorio de Bioquímica y Mejoramiento Genético, Ciencias Agropecuarias Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca, México.

³⁵⁵ Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Ensenada, Baja California, México.

FRECUENCIA DE DESOVES DEL FALSO PEZ PAYASO (*Amphiprion ocellaris*) EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Vanessa Meya Jiménez³⁵⁶, Carlos Iván Pérez Rostro^{356*} y Martha Patricia Hernández Vergara³⁵⁶

Resumen

La industria de especies de arrecifes de coral destinadas para acuarios está en constante crecimiento, con un valor minorista mundial de comercio de peces ornamentales marinos que supera los 300 millones de dólares, siendo la pesquería más valiosa por unidad de peso. Esta industria muestra una tendencia de expansión continua. Dentro de este contexto, la familia Pomacentridae, especialmente las especies del género *Amphiprion*, representa el grupo más importante y demandado de especies marinas criadas en cautiverio. Dentro de estos, el falso pez payaso (*Amphiprion ocellaris*) es la especie más popular en el mercado ornamental y la mayoría es extraída del medio natural, sin embargo, una de las ventajas de los peces marinos que se comercializan en acuariofilia y que están siendo cultivados es que pueden ser reproducidos bajo condiciones controladas y con ello contribuir a la demanda del mercado. Por lo que el éxito reproductivo depende en gran medida de la calidad nutricional de su alimentación, las condiciones ambientales y el manejo, ya que influyen decisivamente en la maduración, el desove y la supervivencia de las crías. El objetivo del presente estudio fue obtener desoves y evaluar la frecuencia de un lote de reproductores de falso pez payaso (*A. ocellaris*) en condiciones de laboratorio durante un año. El sistema experimental constó de peceras de 36 L con una pareja de reproductores, con un total de 15 parejas reproductoras. Estas se mantuvieron a una temperatura de entre 26 y 29°C, una iluminación natural de 13 h luz y 11 h oscuridad y a los peces se les suministró una dieta fresca a base de camarón, calamar, mejillón y alimento comercial (Spectrum®) a saciedad. Se registraron el número y frecuencia de desoves. Se obtuvo un total de 292 desoves con un promedio mensual de 1.61 ± 0.39 , siendo agosto el mes con el mayor número de desoves (2.4 ± 0.98), con una temperatura promedio de 28.5°C. Los resultados sugieren que, bajo las condiciones del presente experimento, es posible mantener una reproducción continua a lo largo del año.

Palabras clave: pez payaso, desoves, *Amphiprion ocellaris*, cultivo

³⁵⁶ Maestría y Doctorado en Ciencias en Acuicultura, TNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Boca del Río, Veracruz.
*carlosperez@bdelrio.tecnm.mx

OBSERVACIONES PRELIMINARES PARA EL CULTIVO Y CONSERVACIÓN DE CRUSTÁCEOS NATIVOS DE AGUA DULCE DEL GÉNERO *Macrobrachium* DE VALOR COMERCIAL EN VERACRUZ, MÉXICO

Diana Pérez de Jesús^{357*}, Juan Lorenzo Reta Mendiola³⁵⁷, Alberto Asiain Hoyos³⁵⁷
y Fernando Vega Villasante³⁵⁸

Resumen

La acuacultura es una actividad de gran importancia en el ámbito mundial, debido a que genera alimento de alta calidad e ingresos económicos importantes. Contribuye al cumplimiento de la demanda de peces, crustáceos y moluscos, de un mercado en continuo crecimiento desde los años 70, en que se presentó un incremento del 3.9% hasta el 46% que se reportó para 2018. Los langostinos de agua dulce, que son los crustáceos más diversos dentro de la familia Palaemonidae, son de gran importancia en la acuicultura. En México existen 21 especies de este género, de las cuales cinco se explotan comercialmente a nivel nacional. En los ríos y lagunas costeras del Golfo de México se capturan *M. acanthurus* y *M. carcinus*. En Veracruz, este recurso existe de manera natural en las zonas tropicales y ha sido por siglos objeto de capturas artesanales; en algunos casos incluso ha logrado soportar pesquerías importantes. No obstante, de acuerdo a CONAPESCA, no existen ya reportes de capturas comerciales para este crustáceo en el estado de Veracruz. La explotación (en la mayoría de los casos irracional) de este recurso, ha generado una disminución de las capturas en zonas donde existe una fuerte presión de pesca. En la actualidad, la información sobre biología y tecnología para el cultivo de este crustáceo es muy escasa. Por tanto, el objetivo de este estudio es determinar las características para el cultivo y conservación de crustáceos nativos del género *Macrobrachium* spp. con valor comercial como es el langostino *Macrobrachium acanthurus* para ser utilizados en futuros programas de crianza y cultivo intensivo. Observaciones preliminares de laboratorio, han mostrado que sobreviven y crecen en cautiverio durante seis meses bajo condiciones controladas de calidad del agua considerando oxígeno disuelto, pH, y compuestos nitrogenados en niveles permisibles de cultivo. En los juveniles alimentados con piensos comerciales para camarón (*Litopenaeus* spp.) se tienen tallas que van de los 0.11 g y 2.3 cm hasta ejemplares de 13.9 g y 10 cm. Su aprovechamiento actual es como carnada para pesca comercial y deportiva y para consumo humano. Su valor comercial en el mercado es de \$900/kg.

Palabras clave: langostino, acuacultura, *M. acanthurus*, conservación

³⁵⁷ Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: dejesus.diana@colpos.mx

³⁵⁸ Centro Universitario de la Costa. Universidad de Guadalajara.



Desarrollo rural

CAPACITACIÓN PARA PRODUCCIÓN Y USO DE BIOINSUMOS EN EL ESTADO DE HIDALGO: UN ANÁLISIS DE LOS ACTORES

José Antonio Espinosa García^{359*} y Alejandra Vélez Izquierdo³⁶⁰

Resumen

El incremento de la población humana ha estado acompañado de una creciente demanda de alimentos, esto ha propiciado que se busque desarrollar tecnologías agrícolas enfocadas al incremento de la productividad, como fue el caso de la revolución verde, basada en el uso masivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Sin embargo, el uso de estos insumos provocó efectos negativos en la biodiversidad agrícola, una alternativa es el uso de bioinsumos, tales como los biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas, por ello es necesario la capacitación de los técnicos que dan asesoría a los productores en la elaboración y uso de bioinsumos. Para atender esta capacitación, la SADER, en colaboración con el INIFAP, diseñaron un Programa de Capacitación dirigido al personal técnico de las Representaciones de Agricultura en la mayoría de las entidades federativas del país, este programa se compone de 10 temas de interés en la producción y uso de bioinsumos y los beneficios que representan en la conservación y fertilidad del suelo. Uno de los estados que participó fue Hidalgo, en donde los investigadores del INIFAP impartieron los 10 temas del Programa, durante el último trimestre del 2022, participaron en promedio 40 personas, cada uno de ellos realizó una evaluación inicial y final de cada tema, así como la evaluación del curso y de los capacitadores, información que se integró a una base de datos y que permitió realizar el presente documento, que tiene por objetivo describir los resultados del Programa de Capacitación para la producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo en el estado de Hidalgo, con un enfoque de desarrollo de capacidades y agricultura sostenible. Los resultados presentados de los actores que participaron en la Capacitación para la producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo en el estado de Hidalgo, muestran que el resultado de esta capacitación en el desarrollo de capacidades del personal técnico de la Representación de la SADER en el estado fue bajo, al tener un cambio en promedio de los 10 cursos del 0.1 en los conocimientos adquiridos, por lo que se considera importante reforzar la capacitación con la práctica. Este análisis también permitió detectar que, en los temas de “elaboración compostas” y “procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrimentos, pueden hacer mejoras en sus prácticas.

Palabras clave: desarrollo de capacidades, agricultura sostenible, fertilidad del suelo

³⁵⁹ Centro de Investigación Regional Centro – INIFAP. *Autor de correspondencia: espinosa.jose@inifap.gob.mx

³⁶⁰ Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal – INIFAP.

Introducción

El incremento de la población humana, ha estado acompañada de una creciente demanda de alimentos, esto ha propiciado que se busque desarrollar tecnologías agrícolas enfocadas al incremento de la productividad, como fue el caso de la revolución verde de mediados del siglo XX, basada en el uso de variedades de alto rendimiento, principalmente de cereales, así como el uso masivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos (Mamani y Filippone, 2018). Sin embargo, el uso de estos insumos provoco efectos negativos en la biodiversidad agrícola, generando una espiral creciente de degradación ecológica y social, traducida en riesgos y amenazas (Molina, 2021). Ante estos efectos negativos de la intensificación agrícola, emerge la concepción de la agricultura sostenible, que promueve la producción agrícola apoyada en la conservación de los recursos naturales, tales como el suelo, agua y la biodiversidad (Badgley, *et al.*, 2007), principalmente orillada por la demanda cada vez más creciente de alimentos de origen agrícola y pecuario libres de residuos de agroquímicos, lo cual requieren de cambios en las formas tradicionales de producción.

Una alternativa que ha cobrado relevancia en el esquema de manejo de los cultivos, complementando al manejo convencional, es el uso de bioinsumos, tales como los biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas, ya que representan opciones económicamente atractivas y ecológicamente aceptables (Mamani y Filippone, 2018). Un bioinsumo es un producto basado en compuestos y/o extractos de microorganismos o plantas, o de microorganismos vivos, capaces de mejorar la productividad (o rendimiento), calidad y/o sanidad al aplicarlos sobre cultivos vegetales, sin generar impactos negativos en el agroecosistema (Gerwick y Sparks, 2014). Estos bioinsumos, se han usado en la agricultura tradicional a lo largo de la historia, basado en el empirismo de los agricultores, por ello, la mayoría de ellos, no tiene un autor definido, ni tampoco se han incorporado a la curricula de las carreras de agronomía, situación que hace necesario la capacitación de los técnicos que dan asesoría a los productores en la elaboración y uso de bioinsumos, principalmente los enfocados a la nutrición animal y la fertilidad del suelo.

Para atender la necesidad de capacitación, mencionada en el párrafo anterior, la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), diseñaron un Programa de

Capacitación en Bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del Suelo, dirigido al personal técnico de las Representaciones de Agricultura en la mayoría de las entidades federativas del país, así como otros profesionistas del sector. El objetivo de la capacitación es que los técnicos tengan las herramientas y conocimiento necesario para la elaboración y uso de bioles, compostas, lombricompostas y lixiviados y, así estar en posibilidades de transmitir estas tecnologías a los productores del campo mexicano.

Este programa de capacitación se compone de 10 temas de interés en la producción y uso de bioinsumos y los beneficios que representan en la conservación y fertilidad del suelo (Reyes *et al.*, 2023). Los temas se enfocan en necesidades nutricionales de las plantas y el suelo como fuente de nutrimentos; procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrimentos; interacciones entre microorganismos, planta, suelo y ambiente; herramientas para determinar e interpretar las necesidades nutricionales de las plantas y el contenido nutricional del suelo; contribución de insumos orgánicos en la nutrición y calidad del suelo; mejoramiento de la nutrición de los cultivos mediante biofertilizantes (Reyes *et al.*, 2023).

Uno de los estados que participó en esta capacitación fue Hidalgo, en donde los investigadores del INIFAP impartieron los 10 temas del Programa, al personal técnico de la Representación de la SADER, durante el último trimestre del 2022, participaron en promedio 40 personas, cada uno de ellos realizó una evaluación inicial y final de cada tema, así como la evaluación del curso y de los capacitadores, información que se integró a una base de datos y que permitió realizar el presente documento que tiene como objetivo describir los resultados del Programa de Capacitación para la producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo en el estado de Hidalgo, con un enfoque de desarrollo de capacidades y agricultura sostenible.

Materiales y métodos

Integración de la información

Se integró información en una hoja de Excel®, de la evaluación inicial y final que realizaron 40 participantes del estado de Hidalgo, de cada uno de los siguientes 10 temas que integran

el Programa de Capacitación para la producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo:

1. Necesidades nutricionales de las plantas y el suelo como fuente de nutrimentos.
2. Procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrimentos.
3. Interacciones entre microorganismos, planta, suelo y ambiente.
4. Herramientas para determinar las necesidades nutricionales de las plantas y el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos.
5. Contribución de insumos orgánicos en la nutrición y calidad del suelo.
6. Mejoramiento de la productividad y sanidad de los cultivos agrícolas mediante el uso de productos biológicos.
7. Elaboración y uso de viales.
8. Producción y uso de compostas.
9. Producción y uso de lombricompostas.
10. Producción y uso de lixiviados.

También se integraron las respuestas de las encuestas de satisfacción que los 40 participantes realizaron para cada uno de los 10 temas impartidos, referente a su opinión respecto al curso:

1. ¿Se cubrieron los objetivos y contenido de la capacitación?
2. ¿Cómo fue la relación entre lo explicado y las actividades realizadas?
3. ¿Consideras que el contenido de los temas es adecuado y de actualidad?
4. El material de trabajo proporcionado.
5. Lo aprendido será de utilidad en mis actividades laborales.
6. Quedó satisfecho con el curso.

Y su opinión referente al instructor (es):

1. El trato hacia los participantes
2. Dio a conocer los objetivos y el programa de trabajo
3. Cumplió con los objetivos y el programa de trabajo
4. Se demostró dominio y conocimientos de los temas.
5. Promovió, supervisó y fortaleció la integración del grupo.
6. Transmitió los conocimientos con claridad.

Análisis de las respuestas de la evaluación inicial y final

Para cada tema se diseñó un examen de en promedio 10 preguntas, que se aplicó al inicio y al final de cada tema, en la base de datos se integraron las respuestas, registrando un valor de 1, si la respuesta era correcta y 0 cuando fue incorrecta. Se sumaron las respuestas correctas y se dividieron entre el total de preguntas, para obtener el porcentaje de cada participante, que se convirtió en su calificación. Posteriormente se promedió la calificación de todos para obtener el promedio de cada tema.

Análisis de las respuestas de la evaluación del curso y de los instructores

Para analizar las respuestas que los participantes de cada tema, se aplicó una escala de Likert (Ospina *et al.*, 2005), para cada pregunta podían seleccionar cuatro opciones: excelente con valor de 4; muy bueno, valor de 3; bueno, valor de 2; malo, valor de 1 y muy malo valor de 0. Se obtuvo el valor promedio de cada participante y de todas las preguntas para obtener un promedio por curso.

Variables evaluadas

Para medir el desarrollo de capacidades se restó al valor de la evaluación final el valor de la evaluación inicial de cada curso. También se obtuvo el promedio, el máximo y el mínimo del por ciento de las evaluaciones de cada curso y de los instructores.

Resultados y discusión

Con base en los temas que se presentaron en los 10 cursos, los cuatro primeros abordan aspectos conceptuales de la relación suelo, planta, ambiente (Reyes *et al.*, 2023), por ello, en el Cuadro 1 se observa que las calificaciones de inicio obtenidas son las de menor valor, lo que indica poco dominio de estos temas por parte de los participantes.

Cuadro 1. Valores promedio de la calificación inicial y final de los 10 cursos impartidos en el estado de Hidalgo.

Curso de capacitación	Evaluación inicial			Evaluación final		
	Prom ^a	Max	Min	Prom	Max	Min
1. Necesidades nutricionales de las plantas y el suelo como fuente de nutrimentos	0.5	0.9	0.1	0.7	1.0	0.2
2. Procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrimentos	0.5	1.0	0.0	0.7	1.0	0.3
3. Interacciones entre microorganismos, planta, suelo y ambiente	0.6	1.0	0.3	0.9	1.0	0.5
4. Herramientas para determinar las necesidades nutricionales de las plantas y el uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos	0.6	1.0	0.1	0.8	1.0	0.2
1. Contribución de insumos orgánicos en la nutrición y calidad del suelo	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	0.4
2. Mejoramiento de la productividad y sanidad de los cultivos agrícolas mediante el uso de productos biológicos	0.6	1.0	0.3	0.8	1.0	0.6
3. Elaboración y uso de bioles	0.8	1.0	0.4	0.8	1.0	0.4
4. Producción y uso de compostas	0.7	1.0	0.1	0.8	1.0	0.3
5. Producción y uso de lombricompostas	0.7	1.0	0.4	0.9	1.0	0.3
6. Producción y uso de lixiviados	0.9	1.0	0.3	0.9	1.0	0.4

^aProm=Promedio. Fuente: Elaboración propia con datos de las evaluaciones de los participantes.

Los temas de los seis cursos finales de orientación práctica, por ello los conocimientos previos que tenían los participantes fueron mayores, lo cual se refleja en el valor de las calificaciones obtenidas, sobre todo en la producción y uso de los lixiviados.

En el mismo Cuadro 1 se presentan los valores que los participantes obtuvieron al finalizar cada curso, se observa que los cursos más prácticos y de mayor aplicación, como la elaboración y uso de bioles, compostas, lombricompostas y lixiviados son los de mayor valor,

lo cual indica la difusión de estos temas en la actualidad para transitar de una agricultura convencional a una agricultura más sostenible, principalmente los tres últimos insumos, por su función como fertilizantes y mejoradores del suelo (Aramendis, *et al.*, 2023), y que además son los fertilizantes orgánicos y foliares más usados por su alto contenido en aminoácidos libres o ácidos húmicos y fúlvicos, algunos de estos insumos ya son producidos por los productores (Mamani y Filippone, 2018), es por ello que capacitar a los técnicos que apoyan a los productores tiene efectos positivos, y conocer los procesos de su elaboración, mejoraran la eficiencia de estos insumos y con ello la producción.

Al analizar el efecto que tuvo la capacitación recibida en las capacidades adquiridas por los participantes, se observa en la Figura 1, que el tema que mayor incremento es el relacionado a las “necesidades nutricionales de las plantas y el suelo como fuente de nutrimentos”, como se mencionó previamente este es un tema teórico, y los participantes, si bien la mayoría son agrónomos, no todos son especialistas en Edafología, por ello la evaluación diagnóstica fue baja, pero al recibir la capacitación, asimilaron los conceptos vertidos, que se vio reflejada en la evaluación final. Hay otros temas que no presentaron incrementos, como fue el caso de “contribución de insumos orgánicos en la nutrición y calidad del suelo”, cuyo valor inicial de 0.7 no se incrementó y de “producción y uso de lixiviados”, que conservó el 0.9, inicial.

Al analizar la Figura 1, se observa que el efecto de la capacitación no fue significativo, en promedio de los 10 cursos fue de 0.1, valor bajo, lo anterior se debe a que el desarrollo de capacidades es el resultado de la combinación de recursos, prácticas, conocimientos y relaciones (González, 2021), por lo que se deduce que un curso corto de capacitación, no es suficiente para mejorar las habilidades de los participantes, y que se requiere poner en práctica los temas impartidos, sobre todo los temas que te indican como producir y usar un insumo, que la única forma en que se puede asimilar la capacitación es a través del desempeño, con el contacto con los productores, que es la función principal de la mayoría de los asistentes a los cursos, solo entonces se podría decir que el individuo ha adquirido experiencia, conocimientos y competencias técnicas (González, 2021).

Otro aspecto que a analizar de la Figura 1, es la brecha de la capacitación, en el caso de la producción y uso de compostas, se requiere reforzar este tema, dado que la calificación promedio de la evaluación final fue de 0.7, resultado que representa un área para mejorar (González, 2021), sobre todo porque la composta es un bioinsumo que se puede elaborar a

partir de estiércol, ingrediente abundante en el estado de Hidalgo, sobre todo en las cuencas lechera de Tizayuca y de Valle de Tulancingo (Poméon *et al.*, 2006).



Figura 1. Efecto de la capacitación recibida por los participantes en 10 cursos impartidos en el estado de Hidalgo. Fuente: Elaboración propia con datos de las evaluaciones de los participantes.

Un aspecto importante para el desarrollo de capacidades es el instructor o instructores, la opinión de los participantes, respecto a estos actores se evaluó en una escala de 0 a 4, donde cero es muy malo y cuatro es excelente. El promedio de las seis preguntas se presenta en la Figura 2, este promedio incluye la evaluación de: el trato hacia los participantes, el dar a conocer y cumplir los objetivos del curso, así como el dominio y transmisión de los conocimientos del curso impartido. En dicha Figura se observa que el instructor con la calificación más baja fue el que impartió el curso de producción y uso de compostas, menor

calificación las preguntas de: demostrar dominio y conocimientos del tema, y la de transmitir con claridad el tema. Si bien, este instructor recibió la calificación más baja, en promedio obtuvo una valoración de 3.4, que lo ubica como muy bueno según la escala usada.



Figura 2. Evaluación de los instructores de los 10 cursos impartidos en el estado de Hidalgo. Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de satisfacción de los participantes.

En cambio, el instructor que alcanzó la calificación más alta fue el que impartió el curso de elaboración y uso de bioles, en cuatro de las 6 preguntas a las que se les solicitó su opinión a los participantes, fue de excelente, sólo en las preguntas de dar a conocer los objetivos y la de demostrar dominio del tema, su valoración fue de 3.9. El curso de producción y uso de lombricompostas, también recibió calificaciones altas. Al hacer un análisis de la calificación que recibieron todos los instructores, éstas fueron mayores de 3.4, lo cual indica que los participantes calificaron entre muy bueno y excelente a todos los instructores.

En la Figura 3, se presenta el promedio de la valoración de los 10 cursos que los participantes realizaron referente a cada curso, su opinión verso sobre si se cubrieron los objetivos presentados, si los temas son adecuados y de actualidad, si el material proporcionado fue útil y adecuado, si lo aprendido es útil para las actividades que el participante desarrolla y que tan satisfecho quedó con el curso.



Figura 3. Evaluación de los instructores de los 10 cursos impartidos en el estado de Hidalgo. Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de satisfacción de los participantes.

En dicha Figura, se observa que el curso con la calificación más baja fue el “Procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrientes”, siendo la pregunta con menor calificación la del material proporcionado. Si bien, este curso recibió la calificación más baja, en promedio obtuvo una valoración de 3.5, situación que lo coloca muy bueno.

En cambio, el curso que alcanzó la calificación más alta fue el de elaboración y uso de bioles, en las seis preguntas a las que se les solicitó su opinión a los participantes, fue de excelente, con un promedio de 3.95. Al hacer un análisis de la calificación que recibieron todos los cursos son mayores de 3.5, lo cual indica que los participantes calificaron entre muy bueno y excelente a los 10 cursos.

Conclusiones

Los resultados presentados de los actores que participaron en la Capacitación para la producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo en el estado de Hidalgo, muestran que el desarrollo de capacidades a través de esta capacitación al personal técnico de la Representación de la SADER en el estado fue bajo al tener un cambio en promedio de los 10 cursos del 0.1 en los conocimientos adquiridos, por lo que se requiere reforzar esta capacitación con la práctica. Este análisis también permitió detectar que, en los temas de “elaboración compostas” y “procesos biogeoquímicos del suelo en la disponibilidad de nutrientes, pueden hacer mejoras en sus prácticas.

Literatura citada

- Aramendis, R., Mondaini, A. y Rodríguez, A. 2023. Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe, Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/149), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Badgley, C., Perfecto I. y Cassman K. 2007. Can organic agriculture feed the world? Renewable Agriculture and Food Systems 22 (2): 80-85.
- Gerwick, B.C. y Sparks, T.C. 2014. Natural products for pest control: an analysis of their role, value and future. Pest Management Science 70 (8): 1169-85.

- González, B., H. A. 2021. Capacidades: (otra vez) un análisis conceptual y metodológico. *Intersticios sociales*, 21: 9-43.
- Mamani de M., A. y Filippone, M.P. 2018. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Rev. Agron. Noroeste Argent.*, 38(1): 9-21.
- Molina, Z., J.E. 2021. La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 21(42):175 -204.
- Ospina, B. E., Sandoval J.J., Aristizábal C., A. y Ramírez M.C. 2005. La escala de Likert en la valoración de los conocimientos y las actitudes de los profesionales de enfermería en el cuidado de la salud. *Antioquia. Invest Educ Enferm.*, 23(1):14-29.
- Poméon, T.; Boucher, F.; Cervantes E., F.; Fournier, S. 2006. Las dinámicas colectivas en dos cuencas lecheras mexicanas: Tlaxco, Tlaxcala y Tizayuca, Hidalgo. *Memoria del III Congreso Internacional de la Red SIAL: "Alimentación y Territorios"*. Universidad de Andalucía, España. 28 p.
- Reyes, C., A.; García S., R.; Zetina L., R.; Espinosa R., M.; Reveles H., M.; Aguado S., G.A.; Camas G., R.; Báez P., A. y Patishtan P., J. 2023. Producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima. México, Libro Técnico No. 3. 494 p.

EDUCACIÓN AGROECOLÓGICA EN AGROECOSISTEMAS LOCALES: UNA EXPERIENCIA CUBANA

Arturo Pérez Vázquez³⁶¹, Yuneidys González Espinosa^{362*} y Yamaris Swaby Quao³⁶³

Resumen

La agricultura urbana y periurbana es una realidad en Cuba, que revolucionó el movimiento agroecológico. Con el fin de fomentar la agricultura urbana, periurbana y familiar desde la educación agroecológica en agroecosistemas locales cubanos se realizó ese trabajo. Este se realizó en el Consejo Popular Zaragoza, municipio San José de las Lajas, Provincia Mayabeque, Cuba. Se utilizó la metodología cualitativa descriptiva, particularmente Investigación-Acción-Participativa. Se tomó en cuenta los principios básicos de la educación popular ambiental. Se desarrollaron actividades de extensionismo agrario desde el Instituto Nacional de Ciencia Agrícolas, cuyas acciones estuvieron encaminadas a la promoción de buenas prácticas agroecológicas en agroecosistemas locales. Se realizó un diagnóstico participativo con enfoque de género, aplicando una encuesta en patios, huertos, parcelas y fincas, que incluyó indicadores como: tierras disponibles, diversidad de cultivos, necesidades de capacitación e interés en la innovación agropecuaria local y la agroecología. Se encontró una gran diversidad de cultivos, destacando la producción de viandas, granos, hortalizas, plantas medicinales y condimenticias, y animales de traspatios. Se identificaron los principales temas de capacitación de interés, siendo estos: la producción y conservación de semillas, uso de bioproductos como biofertilizantes, bioplaguicidas, estimuladores del crecimiento de micorrizas, así como el manejo y producción de frutales. Se realizaron talleres de capacitación *in situ* con especialistas en los temas seleccionados, y se capacitó a un total de 52 personas. Se utilizó el concepto de aprender-haciendo con clases teórico-práctico. Se concluye que la educación agroecológica en agroecosistemas locales contribuye al fomento de la agricultura urbana, suburbana y familiar.

Palabras clave: agroecología, agricultura, educación

³⁶¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. México.

³⁶² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba *Autor de correspondencia: yespinosa25@gmail.com

³⁶³ Universidad de Holguín. Cuba.

Introducción

La alimentación es un factor biológico básico para la supervivencia, en donde la agricultura urbana y periurbana ha desempeñado un papel importante en Cuba en proveer alimentos y otros satisfactores. Sin embargo, para los humanos la alimentación va mucho más allá de la mera subsistencia. De acuerdo a (Ruiz, 2020) sugieren que la habilidad para cocinar ha tenido un papel vital en la evolución de nuestros cerebros como especie, al ser capaces de extraer la máxima energía de los nutrientes, con menor esfuerzo. Algunos datos ofrecidos por la FAO (2020) evidencian que, una de cada 10 personas a nivel mundial estuvo expuesta a inseguridad alimentaria. Que alrededor de 2000 millones de personas no disponían de acceso regular a alimentos inocuos, nutritivos y suficientes. Específicamente en América Latina y el Caribe, dicha inseguridad se incrementó del 2014 (22,9%) al 2019 (31,7%), esto demuestra que aún falta mucho para reducir el hambre y asegurar el acceso de todas las familias, a una alimentación sana y nutritiva (Domínguez y Soler, 2022). En este sentido, la agricultura sostenible agroecológica se preocupa por la sostenibilidad alimentaria en armonía con el ambiente, potenciando la agrobiodiversidad y satisfaciendo las necesidades sociales. La agricultura urbana, suburbana o periurbana y familiar (AUSUByF) tiene un papel fundamental en producir alimentos sanos y nutritivos. Es decir, representa una transformación al enfoque convencional productivo/consumo/comercio para que las personas en las comunidades rurales y urbanas puedan acceder a alimentos sanos. En la exigencia de una mejor alimentación, las organizaciones sociales intentan ganar espacios, recuperando predios abandonados y fomentar la cohesión social; destacando la participación de las mujeres como gestoras y promotoras de las actividades en sus comunidades (Muñoz-Núñez, 2021).

La agricultura cubana tiene un reto en la actualidad, producir alimentos sanos, inocuos y accesibles para la sociedad. No importa en qué espacio se realice esta actividad, urbano, suburbano, finca, patio, parcela o un huerto, lo importante es que se logre una sostenibilidad alimentaria y se contribuya a preservar el ambiente natural y los recursos naturales. A pesar de las transformaciones realizadas en la agricultura cubana, y particularmente las ejecutadas en el sector cooperativo agropecuario, aún persisten dificultades que obstaculizan su normal desarrollo (Arias-Salazar *et al.*, 2022; Arias-Salazar, 2018; Nova-González *et al.*, 2015). Es decir, aun no se logra la tan ansiada seguridad alimentaria, las familias cubanas no logran

estabilidad en el acceso a los alimentos y el estado se ve obligado a importar productos agrarios para garantizar la salud y seguridad alimentaria de la nación, y es considerado un problema de seguridad nacional (Oramas y Hernández, 2019).

En abril del 2021, el Viceprimer Ministro Jorge Luis Tapia Fonseca presentó y aprobaron por el Buró Político del PCC y el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros: 63 medidas para potenciar la producción de alimentos, ya que “La agricultura cubana no logra los niveles productivos necesarios para satisfacer la demanda de productos para los diferentes destinos, existe baja productividad de las diferentes formas productivas, limitada aplicación de los resultados de la ciencia y la innovación en las actividades productivas y de servicios, impidiendo la búsqueda de soluciones alternativas de producción nacional” (Tapia, 2021). A su vez es necesario promover el diseño de proyectos de desarrollo local entre productores y cooperativas agropecuarias para la gestión conjunta de actividades productivas que incrementen el valor agregado de las producciones primarias, a partir de su beneficio e industrialización, así como la prestación de servicios técnicos y de comercialización a la base productiva. Consolidar la producción de alimentos a nivel local, sobre la base del Programa de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional, que aseguren el autoabastecimiento municipal, apoyada principalmente en los recursos endógenos (Pérez, 2021).

Hoy ante los retos globales de hambruna e inseguridad alimentaria, hace propicio impulsar sistemas sostenibles de producción de alimentos, por lo que los movimientos populares como “La Vía Campesina” juegan un papel fundamental, en el sentido de soberanía alimentaria con un enfoque agroecológico. La agricultura urbana, suburbana y familiar llega a todos esos espacios donde es posible sembrar, cosechar y criar animales de traspatios a pequeña escala. Desde lo local se puede contribuir a lograr accesibilidad de alimentos sanos e inocuos para una mejor alimentación. La agricultura urbana, suburbana y familiar en Cuba durante y en la postpandemia de Covid-19, fue capaz de continuar con la producción de alimentos debido a que sus enfoques, tecnologías y organización se basan en los preceptos de la soberanía alimentaria (Beltrán, 2020). La soberanía alimentaria le apuesta a proyectos de desarrollo comunitario y de autoabastecimiento municipal (Vasallo, 2021). Por tanto, el objetivo fue conocer la diversidad agrícola de patios, huertos, fincas y parcelas, incorporadas al movimiento de la agricultura urbana, suburbana y familiar del Consejo Popular Zaragoza en el municipio de San José de las Lajas en la Provincia de Mayabeque, Cuba.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en comunidades del Consejo Popular Zaragoza del Municipio de San José de las Lajas en la Provincia de Mayabeque. Se realizó un diagnóstico participativo con enfoque de género, en el periodo comprendido de febrero del 2021 a abril del 2022.

Se visitó un total 22 escenarios productivos (patios, fincas, huertos y parcelas) y de estos se seleccionaron 20 para trabajar directamente. Se constató la situación actual en la que se encontraban los espacios productivos. Esta selección fue intencional partiendo de los levantamientos realizados por la representante de la agricultura urbana del consejo popular. Se aplicó una encuesta semiestructurada, que incluyó como indicadores: tierras disponibles, diversidad de cultivos, necesidades de capacitación e interés en la innovación agropecuaria local y la agroecología.

Se aplicó una encuesta a través de un cuestionario. Se entrevistó a un total de 20 personas, entre productores, parceleros, funcionarios que se encontraron representados, proporcionalmente, en el 100% del consejo popular en seis asentamientos diferentes. Se empleó un cuestionario estructurado con preguntas abiertas como instrumento y observación participativa. Ambas técnicas permitieron la recolección de datos cualitativos y cuantitativos en un solo momento, para conocer las tierras disponibles, diversidad de cultivos, necesidades de capacitación e interés en la innovación agropecuaria local y la agroecología. Se utilizó la entrevista informal a informantes claves para el diagnóstico participativo con enfoque de género con el objetivo de conocer las motivaciones, necesidades y aspiraciones de los actores sociales para producir alimentos a pequeñas escalas en armonía con el medio ambiente. Las respuestas de los cuestionarios fueron codificadas y procesadas y se aplicó estadística descriptiva. Se empleó el procesador de dato Microsoft Excel bajo el sistema operativo Windows 10.

Resultados y discusión

Tierras disponibles

Los principales agroecosistemas o sistemas productivos estuvieron desglosados de la siguiente forma: un organopónico, seis patios, cuatro huertos, 26 parcelas, dos fincas integrales y dos huertos intensivos (Figura 1). El mayor porcentaje estuvo representado por las parcelas que representan el 65%, lo cual puede ser atribuido a la cantidad de personas que están optimizando pequeños espacios de tierra para la siembra de alimentos, fundamentalmente viandas, granos, frutales, hortalizas, plantas medicinales y condimentosas; en menos número se encuentra la siembra de cultivos de ciclo largo como la malanga. Se comprobó que el 35% de los agricultores no disponían de tierras suficientes para desarrollar la producción de alimentos.



Figura 1. Formas productivas presentes en los espacios de AUSUByF de Zaragoza, San José de las Lajas, Mayabeque.

El diagnóstico evidenció motivaciones, necesidades y aspiraciones de los actores sociales para producir alimentos a pequeña escala en armonía con el ambiente. De un total de 20 personas, los espacios productivos están liderados por siete féminas y los restantes por 12 hombres. Se contó con una institución estatal (centro mixto primaria-secundaria). Por grupo

etarios, se encontró que menores de 20 años solo 1 (5%), de 20-30 años 1 (5%), de 31-50 años 4 (21%), de 51-60 años 7 (37%) y más de 61 años 6 (32%) personas. Esto evidencia que son pocos los jóvenes que están involucrados en producir alimentos en pequeños espacios. El nivel educacional que prevalece es el medio (secundaria básica) con un 72%, y medio superior en un 28%.

También se identificó que son varias las limitantes que posee la producción agrícola (Figura 2). El 18% de los entrevistados reconocen la falta de implementos y la capacitación como sus principales limitantes, un 14% que refieren los escasos abonos orgánicos y minerales a los que pueden acceder (Figura 2).

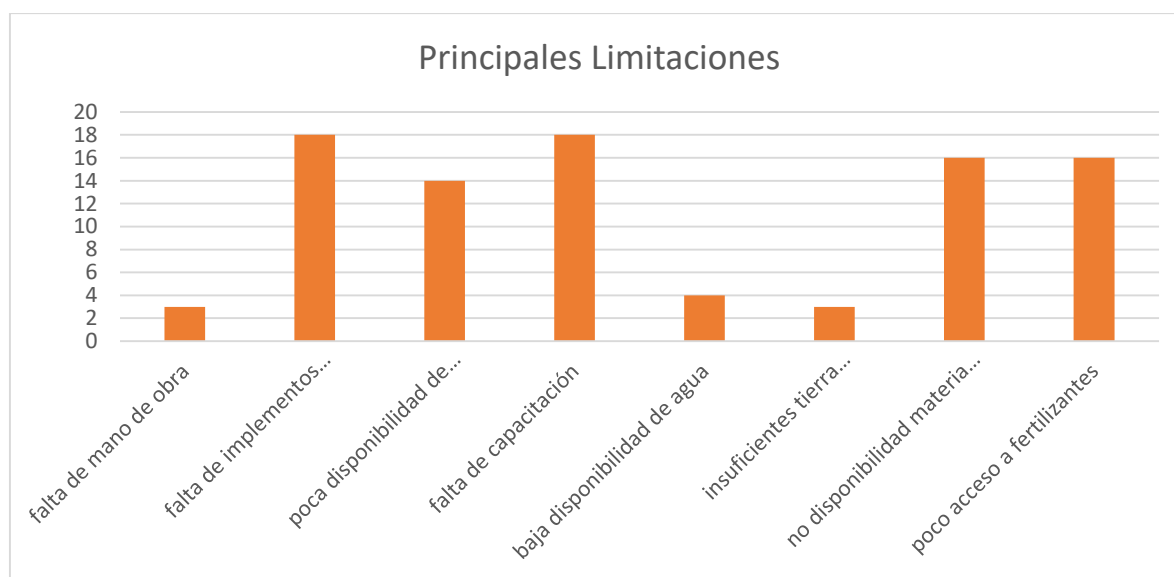


Figura 2. Principales limitantes que inciden en los espacios productivos de AUSUByF de Zaragoza, San José de las Lajas, Mayabeque.

Diversidad de cultivos

En el Cuadro 1 se observan los principales cultivos. Se evidenció que confluyen diversos cultivos en los espacios, destacándose la producción de viandas, granos, hortalizas, plantas medicinales y condimentosas, así como animales de traspatios.

Cuadro 1. Cultivos presentes en los espacios de AUSUB y F de Zaragoza, San José de las Lajas, Mayabeque

No.	Especies de plantas	Cultivos
1	Frutales	Limón (<i>Citrus limon</i>) plátano (<i>Musa paradisiaca</i>) guayaba (<i>Psidium guajava</i>) mango (<i>Mangifera indica</i>) naranja dulce (<i>Citrus sinensis</i>) y agria (<i>Citrus aurantium</i>) aguacate (<i>Persea americana</i>) fruta bomba (<i>Carica papaya</i>) uva (<i>Vitis vinifera</i>) chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)-mamey (<i>Pouteria sapota</i>) anón (<i>Annona squamosa</i>) cereza (<i>Prunus subg. Cerasus</i>) ciruela (<i>Prunus domestica</i>) melón o sandía (<i>Citrullus lanatus</i>) caimito (<i>Chrysophyllum cainito</i>)
2	Hortalizas	Tomate (<i>Solanum esculentum</i>) zanahorias (<i>Daucus carota</i>) espinacas (<i>Spinacia oleracea</i>) calabaza (<i>Cucurbita moschata</i>) lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) col (<i>Brassica oleracea</i> var. capitata) cebolla (<i>Allium cepa</i>) habichuela (<i>Vigna unguiculata</i>) rábano (<i>Raphanus sativus</i>) acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. cicla) quimbombó (<i>Abelmoschus esculentus</i>) pepinos (<i>Cucumis sativus</i>)
3	Viandas	Yuca (<i>Manihot esculenta</i>) boniato (<i>Ipomoea batata</i>)
	Granos	Maíz (<i>Zea mays</i>) frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
4	Ornamentales y flores	Orquídeas-celea-felodetro-trébol-agloadema-difembalicia-helecho-rosas-mariposas-cintas-mantos-begonias-cuba libre-violetas-corona de cristo-avecás-tagetos -
5	Medicinales y condimentosas	Ají (<i>Capsicum annuum</i>) ajo porro (<i>Allium porrum</i>) ajo (<i>Allium sativum</i>) cebollinos (<i>Allium schoenoprasum</i>) cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) orégano (<i>Origanum vulgare</i>) tilo (<i>Tilia</i>) cordobán (<i>Tradescantia spathacea</i> ; Sw.) vicarias (<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don) Anís (<i>Pimpinella anisum</i>) Menta (<i>Mentha</i> spp.) verbena (<i>Verbena officinalis</i>) Caña santa (<i>Cymbopogon citratus</i>) Meprobamato (<i>Plectranthus neochilus</i> Schltr) Cardón (<i>Euphorbia lactea</i> Haw) caisimón de anís (<i>Piper auritum</i> Kunth.) Mandelamina (<i>Belamcanda</i>

No.	Especies de plantas	Cultivos
		<i>chinensis</i>) Sábila (<i>Aloe barbadensis</i> Mill) salvia (<i>Salvia officinalis</i>), Hierba buena (<i>Mentha spicata</i>)
6	Maderables	Almacigo (<i>Pistacia lentiscus</i>)
7	Animales	Gallinas (<i>Gallus gallus domesticus</i>) pollos, carneros (<i>Ovis orientalis aries</i>) patos (<i>Anas platyrhynchos domesticus</i>) cerdos (<i>Sus scrofa domesticus</i>)
8	Otros	Café (<i>Coffea arabica</i>)

Como se demuestra (Cuadro 1), existe una amplia diversidad agrícola la cual es de vital importancia (Altieri y Nicholls, 2019) para reconocer la biodiversidad como condición ineludible para la sostenibilidad del paisaje natural, los ecosistemas que lo integran, y para abastecer la alimentación familiar campesina. Son ellos, los guardianes de la biodiversidad en su sistema productivo o agroecosistema, sino que actúa “para sostener la producción y enfrentar el cambio ambiental y climático, y para satisfacer las necesidades socioculturales y económicas”. En Cuba la necesidad de construir sistemas alimentarios locales soberanos y sostenibles se ha ido abriendo paso gradualmente.

La agricultura urbana y suburbana es esencial para poder avanzar en la producción de alimentos y manejo sostenible, paralelamente desarrollar acciones de enseñanza y capacitación, fundamentalmente directa a los productores (FAO, 2020). Por consiguiente, se coincide que los sistemas alimentarios locales transforman escenarios dinámicos de integración e inclusión social, e incorporan el imaginario sociocultural de las familias, sus tradiciones, así como las redes de relaciones sociales configuradas en torno a las necesidades y prioridades individuales o colectivas. Todo lo anterior, con la intención de reanimar el desarrollo económico, social y productivo del país en las condiciones actuales de pandemia (Ruiz y Nariño, 2022). Por ello, es necesario incorporar la idea del uso múltiple del territorio y la multifuncionalidad de la agricultura.

En una primera intervención se identificó que algunos agricultores tenían una o dos especies de plantas y con las recomendaciones realizadas transformarlos sus espacios. Posteriormente, con los monitoreos realizados se constató que ya habían logrado la diversidad de los cultivos.

Este fue un resultado positivo, ya que es de vital importancia aumentar la diversidad agrícola por los beneficios que aportan a los agroecosistemas y a la alimentación y nutrición humana.

Capacitación e innovación agropecuaria local y la agroecología

Se registraron los principales temas de capacitación. Estos estuvieron relacionados con la producción y conservación de semillas, uso de bioproductos, manejo y producción de frutales. Ante esta demanda, se realizaron talleres temáticos con especialistas de los temas para el asesoramiento directo (Figura 3).



Figura 3. Capacitación en agroecosistemas de AUSUByF de Zaragoza, San José de las Lajas, Mayabeque.

Conclusiones

En los espacios agrícolas del Consejo Popular de Zaragoza predominan las parcelas, se conoció que los interesados en producir alimentos no disponían de tierras suficientes. Se evidenció la diversidad de cultivos existentes, destacándose la producción de viandas, granos, hortalizas, plantas medicinales y condimentosas, así como animales de traspatios. Se identificó los principales temas de capacitación de interés, los cuales estuvieron relacionados con la producción y conservación de semillas, uso de bioproductos, así como el manejo y producción de frutales.

Literatura citada

- Altieri MA, Nicholls CI. 2019. Agroecología y diversidad genética en la agricultura campesina. LEISA Revista de Agroecología 35(2):22-6.
- Arias-Salazar C. 2018. La comercialización de productos agrícolas. Retos y perspectivas. REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local 2(3):136-147.
- Arias-Salazar, C., Jordan-Pantoja A, Jordan Pantoja A. 2022. Procedimiento para el perfeccionamiento del sector cooperativo agropecuario del territorio de Cauto Cristo, Granma. Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina [Internet]10(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2308-01322022000100026&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Beltrán, Á. A. 2020. La Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar garantiza la continuidad en sus producciones [Internet]. ACN. Agencia Cubana de Noticias. Disponible en: <http://www.acn.cu/economia/63306-la-agricultura-urbana-suburbana-y-familiar-garantiza-la-continuidad-en-sus-producciones>
- Domínguez R Y, Soler N.O. 2022. Seguridad alimentaria familiar: apuntes sociológicos para lograr sistemas alimentarios locales inclusivos, municipio Santiago de Cuba. Universidad y Sociedad | Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos. 14(2):446-57.
- FAO. 2022. Guía para la implantación del Plan de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional de Cuba en los municipios. Disponible en: <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1396933/>

- Huarte Golebiowska R. 2014. Influencia de patrones culturales en la alimentación durante la adolescencia [Internet]. Universidad Pública de Navarra; Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/14164/TFG14-TS-HUARTE-63757.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz-Núñez E. 2021. Evaluación de la integral térmica en el huerto urbano para la producción sustentable de alimentos vegetales [Internet]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/12647>
- Nova-González A, González MA, Corzo. Cuba's Agricultural Transformations. Journal of Agricultural Studies. 2015; Vol. 3(No. 2):175-93.
- FAO. 2020. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021 [Internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- Oramas, I. M. de J. y Hernández, C. M. del C. 2019. Las políticas y programas agrícolas y la agricultura familiar. Desafíos de la seguridad alimentaria en Cuba. Revista OIDLES [Internet]. No. 26. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oidles/26/agricultura-familiar.html>
- Pérez, B. Y. 2021. Medidas inmediatas para potenciar la producción de alimentos [Internet]. Consejo de Estado; Disponible en: <https://www.mfp.gob.cu/ficheros/imgnoticias/pdf639.pdf>
- Ruiz, Y. D, Nariño O.S. 2022. Seguridad alimentaria familiar: apuntes sociológicos para lograr sistemas alimentarios locales inclusivos, municipio Santiago de Cuba. Universidad y Sociedad 14(2):446-57.
- Ruiz YD. 2020. Configuración de la seguridad alimentaria familiar en comunidades del municipio Santiago de Cuba. Revista Retos y Perspectivas Sociales1(1):5-11.

Tapia Fonseca JL. 2021. Medidas inmediatas para potenciar la producción de alimentos [Internet]. Consejo de Estado; Disponible en: <https://www.mfp.gob.cu> › imgnoticias › pdf639

Vasallo B. 2021. Agricultura urbana en Cuba apuesta por la soberanía alimentaria. ACN. Disponible en: <http://www.acn.cu/component/tags/tag/economia>

Wrangham R. 2009. Catching Fire: How Cooking Made Us Human. Profile books edition. England: Profile Books. 320 p.

ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN E INGRESO NETO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.x.) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

Alejandra Vélez Izquierdo^{364*}, José Antonio Espinosa García³⁶⁵, Ernesto Solís Moya³⁶⁶
y Manuel Mosqueda Mendoza³⁶⁷

Resumen

El objetivo del presente trabajo es analizar y comparar la estructura de los costos de producción y el ingreso neto obtenida de la producción de las variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.x.) Cortázar S94 y Faisán S2016 en el estado de Guanajuato. Se analizó una muestra de 85 productores, calculada mediante el muestreo de proporciones de varianza máxima con un nivel de confiabilidad del 94% y nivel de precisión de 0.1. Se diseñó y aplicó un cuestionario para obtener información de costos de producción. El costo total de producción se obtuvo mediante la suma de los costos variables y costos fijos; se calcularon los costos medios y el costo unitario de producción. Por el lado de los ingresos se obtuvo el ingreso neto o ganancia de la diferencia entre el ingreso bruto y el costo total de producción. La información de las encuestas se concentró en una hoja de Excel® y se obtuvieron estadísticas básicas (media, frecuencias relativas y desviación estándar), para la comparación de las variedades se realizó un análisis de varianza bajo un modelo completamente aleatorio y se realizó una comparación de medias mediante la prueba t de student para identificar las diferencias entre costos y ganancias y variedades con JMP® 17.0 (SAS Institute, 2024). Las variedades analizadas presentan tolerancia a la roya, con rendimientos promedio mayores a las seis toneladas por hectárea y de alta calidad galletera. Los costos de preparación del terreno, siembra, control de malezas, control de plagas y cosecha de la variedad Faisán S2016 fueron significativamente ($p<.0001$) mayores a los obtenidos por los productores de la variedad Cortazar S94; no así en la fertilización, la cual fue significativamente más alto para Cortazar S94. Los costos totales de producción fueron significativamente más altos para Faisán S2016 con \$33,202.00 vs \$27,242.00 de Cortazar S94. Sin embargo, no hubo diferencias en el costo unitario de producción ni en el ingreso neto. Se concluye que, aunque Faisán S2016 presentó mayor rendimiento, mejor precio y costos de producción más altos que Cortazar S94, los ingresos netos obtenidos por la producción de ambas variedades fueron estadísticamente iguales, lo que puede implicar que el productor decida producir ambas variedades indistintamente.

Palabras clave: variedades, ganancia

³⁶⁴ Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal – INIFAP. *Autor de correspondencia: velez.alejandra@inifap.gob.mx

³⁶⁵ Centro de Investigación Regional Centro – INIFAP.

³⁶⁶ Centro de Investigación Regional Centro – Campo Experimental Bajío – INIFAP.

³⁶⁷ Técnico Independiente.

Introducción

El cultivo de trigo ocupa el octavo lugar en cuanto a superficie sembrada en el país, en el año de 2022 se sembraron 598,539.2 ha (SIAP, 2023), es el segundo cereal más importante en la alimentación de los mexicanos, se consume en promedio 57.4 kg *per cápita* (SAGARPA, 2017). La producción de trigo grano se divide en cristalino, que se utiliza principalmente para la elaboración de pastas y el harinero, empleado para la elaboración de panes, productos de repostería y harinas. El trigo cristalino ocupa el mayor porcentaje en cuanto a superficie, con el 62%, y el trigo suave ocupa el 38% restante (SIAP, 2023). En el 2022 se produjeron en México 3.6 millones de ton de trigo, de las cuales sólo el 30% fue trigo harinero, que no alcanza para cubrir la demanda nacional, por lo que se tiene que importar el 75% del consumo nacional (SAGARPA, 2017). Los principales estados productores de este cereal son en orden de importancia: Sonora, Guanajuato, Baja California, Michoacán y Sinaloa. Siendo Guanajuato el principal estado donde se produce trigo harinero (SIAP, 2023).

En el Bajío los principales problemas que afectan la producción de trigo son la escasez de agua, la roya lineal amarilla y la secadera ocasionada por *Fusarium* spp., se suma a lo anterior, la creciente demanda de los industriales de la harina por variedades de trigo que se ajusten mejor a su proceso industrial, para reducir costos y tengan mayor resistencia a enfermedades como las ya mencionadas. Es por ello que el Programa de trigo del INIFAP genera variedades que atiendan la problemática del cultivo e igualmente ofrece semillas mejoradas de trigo competitivas y con mejores rendimientos que las variedades tradicionales; las cuales pueden ser reproducidas como semilla certificada por empresas semilleras nacionales o grupos de productores de trigo. Un ejemplo de este tipo de semillas son las variedades Cortázar S94 y Faisán S2016, ambas variedades, son las de mayor superficie sembrada en el estado, a pesar de que existe una diferencia de 20 años de haberse generado una de otra. Por lo que surge la pregunta de cuál es la razón de su permanencia en el mercado, por esa razón se realizó este documento que tiene por objetivo analizar y comparar la estructura de los costos de producción y el ingreso neto obtenida de la producción de las variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.x.) Cortázar S94 y Faisán S2016 en el estado de Guanajuato.

Materiales y métodos

Obtención de la información

Se acopió y revisó información secundaria de las variedades Cortázar S94 (C S94) y Faisán S2016 (F S2016), que permitió diseñar un cuestionario que se aplicó a una muestra de productores de trigo en Guanajuato, integrado por los siguientes apartados: i) datos generales del productor; ii) costos de producción Ha-1 y iii) rendimientos obtenidos. El tamaño de la muestra se determinó mediante diseño de Muestreo de Proporciones de Varianza Máxima (Infante y Zarate, 1990), aplicando la siguiente fórmula: $n = N \frac{p(1-q)}{(n-1)(\beta/z_{1-\alpha})^2 + p(1-q)}$. Donde n es el tamaño de muestra; N la población; Z es el nivel de confianza; β es el nivel de precisión; p es la probabilidad de que la muestra sea representativa y; q es la probabilidad de que la muestra no sea representativa, con una N de 6,667 productores de trigo, a un nivel de confianza de 94% ($Z=1.88$), y nivel de precisión de 0.1, el tamaño de muestra, $n=85$ encuestas, aplicadas de junio a agosto del 2022.

Para obtener el costo total de producción (CTP), se utilizó la expresión $CTP = CVT$ (Costo variable total) + CFT (Costo Fijo total). El CVT se obtuvo al sumar el valor monetario de conceptos: i) preparación del terreno (PrepT), integrado por: labores de subsolelo, barbecho, rastreo, rastreo cruzado, bordos, empareje; ii) siembra (Siem), integrada por: siembra mecanizada, mano de obra, semilla; iii) fertilización (Fert); iv) control de malezas (ConMal); v) control de plagas (ConPI) y vi) control de enfermedades (ConE), en todos conceptos se consideró, el valor de insumos y el de la mano de obra para la aplicación; vii) riego considerando cuota y mano de obra y viii) cosecha se sumó el costo cosecha mecanizada, la mano de obra y el flete. Para los CFT se consideró un costo de administración como un salario que se auto pagaría el productor por dicha actividad y que en promedio representa el 3% del ingreso bruto total (IBT), más otros costos fijos (OCf). Para cada componente de ambos costos se aplicó la siguiente expresión:

$$\sum_{j=1}^i Q_{ij} * Pr_{ij}.$$

Para el costo total:

$$CTP = (CT_{PrepT} + CT_{Siem} + CT_{Fert} + CT_{ConMal} + CT_{ConPI} + CT_{ConE} + CT_{Riego} + CT_{Cos}) + (CFT)$$

También se calcularon los costos variables y fijos medios, que es el cociente de cada concepto entre el rendimiento y el costo unitario de producción CTP que se obtuvo al dividir el CTP entre el rendimiento.

El ingreso neto también conocido como ganancia, se calculó con la diferencia del Ingreso bruto (IB) y el CTP ($IB_{variedad} - CTP_{variedad}$). El IB con $IB = Prventa_{variedad} * Ren_{variedad}$.

Análisis estadístico

La información de las encuestas se concentró en una hoja de Excel ® y se obtuvieron estadísticas básicas (media, frecuencias relativas y desviación estándar), para la comparación de las variedades se realizó un análisis de varianza bajo un modelo completamente aleatorio y se realizó una comparación de medias mediante la prueba t de student para identificar las diferencias entre costos y ganancias y variedades con JMP® 17.0 (SAS Institute, 2024).

Resultados y discusión

Descripción de la variedad Cortázar S94

La variedad Cortázar S94 (C S94) tiene hábito de crecimiento de primavera, es semienana, de 90 cm de altura; su ciclo vegetativo es intermedio, con 78 días a floración y 133 días a madurez fisiológica. Sus hojas son de color verde oscuro, su tallo es hueco de color crema y fuerte, por lo que es moderadamente resistente al acame. En la región Bajío es resistente a la roya del tallo, modernamente susceptible a la roya lineal amarilla y a la roya de la hoja. Su rendimiento es entre 6.8 y 8.7 t/ha, en condiciones óptimas de clima y manejo agronómico del cultivo, la variedad C S94 tiene un rendimiento potencial que supera las 9 ton/ha (Solís *et al.*, 1996).

En cuanto a calidad de esta variedad es de endospermo suave, con valores de dureza entre 62 y 65%, por lo que su harina es para la fabricación de galletas. Tiene un peso volumétrico que varía de 73 a 79 kg/hL, y rendimiento de harina de 64.6 a 72.8%, por lo que su aptitud molinera es excelente; su valor W es de 127 el cual la clasifica como una variedad de gluten débil, el porcentaje de proteína en la harina varia de 9.2 a 10.6% (Solís *et al.*, 1996).

Descripción de la variedad Faisán S2016

Los primeros registros que señalan la generación del híbrido de trigo Faisán S2106 se ubican en el periodo 2007-2008 en Celaya, Guanajuato, aunque algunas actividades de mejoramiento genético también incluyen a Texcoco, Estado de México; y las etapas de validación y transferencia de tecnología ocurrieron entre 2013 y 2017. La tecnología fue transferida y adoptada entre 2018 y 2019 a través de diversos mecanismos de transferencia de tecnología (INIFAP, 2018).

La variedad Faisán S2016 (F S2016), es una variedad de trigo suave cuya harina es útil para la industria galletera o para utilizarla en mezclas para mejorar trigos de gluten fuerte. Es una variedad de hábito de crecimiento de primavera, semi enana, de 92 cm de altura; con un ciclo vegetativo es intermedio, un rango de 78 días a floración y 132 días a madurez fisiológica (Solís *et al.*, 2018). Es moderadamente resistente a la roya amarilla y muestra gran estabilidad en un amplio rango de fechas de siembra y calendarios de riego. Su rendimiento ha superado hasta con 21% a C S94, la variedad más sembrada en El Bajío. F S2016 es de muy buena calidad galletera y presenta parámetros de calidad comercial que aseguran su calidad en el mercado, para ser empleada como materia prima para la elaboración de productos que demandan gluten débil, con propiedades de fuerza y como mejorador de harinas de gluten fuerte tenaz (Solís *et al.*, 2020).

Características de los productores

Las encuestas se aplicaron en los municipios de Cortázar el 2%, en Cuernavaca el 1%, Irapuato el 41%, Pénjamo 1%, Salamanca 36% y Valle de Santiago el 18% y fueron 53 de C S94 y 31 de F S2016. La edad promedio de los productores de C S94 fue de 67 años y de 57 años para F S2016. La escolaridad de los productores fue principalmente de educación primaria en 52% para C S94 y 32% de F S2016; de secundaria del 15 y 42% respectivamente. Destaca que hay un 10% con preparatoria y 13% con licenciatura de productores que siembran F S2016. La superficie promedio dedicada a la producción de trigo fue de 5.80 Ha y 12.5 Ha para C S94 y F S2016 respectivamente, con un mínimo de 0.7 y máximo de 45 Ha para C S94 y mínimo de 1.3, y hasta un máximo de 104 Ha para Faisán. Ambas variedades se producen bajo condiciones de riego. La variedad C S94 la cultiva en 56% en riego por gravedad, 44% de bombeo; en F S2016 el 97% es de bombeo.

Estructura de costos de producción de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016

Los costos de producción de las variedades C S96 y F S2016 en Guanajuato fueron diferentes y estadísticamente significativos a una $p < .005$ en preparación del terreno, siembra y riego; siendo mayor los costos en la producción de F S2016. La fertilización fue el único concepto mayor significativamente en C S94 que en F S2016, cuyo valor de \$9,369 fue \$149 pesos más que el reportado por Retes et al., 2022, para la producción de trigo en Sonora que fue de \$9,220 (Cuadro 1). Los conceptos de control de enfermedades y la cosecha no presentaron diferencias significativas. El CTV de F S2016 fue significativamente mayor a un $p < .0001$ de C S94 y representa para ambas variedades el 95% del total de los costos de producción. El CTP fue significativamente diferente mayor el de F S2016 que el de C S94 en más de \$5,000.00 (Cuadro 1) y menor al reportado por Retes et al., (2022), que fue de \$29,903.00.

Cuadro 1. Costos de producción de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato.

Concepto/Estadístico	Media		SD		Min		Max		Prob>F
	COR	FAI	COR	FAI	COR	FAI	COR	FAI	
Preparación del terreno, \$/ha	4,156 ^b	6,119 ^a	226	298	600	3,200	9,100	8,500	<.0001*
Siembra, \$/ha	3,758 ^b	4,477 ^a	94	124	2,500	2,135	5,125	5,606	<.0001*
Fertilización, \$/ha	10,741 ^a	9,370 ^b	300	396	7,000	5,008	17,450	13,500	0.0070*
Control de malezas \$/ha	1,260 ^b	1,604 ^a	65	84	400	500	2,100	2,600	0.0018*
Control de plagas, \$/ha	692 ^b	816 ^a	35	47	300	400	1,200	1,750	0.0153*
Control de enfermedades, \$/ha	1,075	1,062	53	78	350	600	1,400	1,500	0.8891
Riego, \$/ha	4,445 ^b	6,932 ^a	226	298	2,400	3,600	8,000	13,600	<.0001*
Cosecha, \$/ha	2,157	2,337	105	138	1,250	1,050	6,440	3,325	0.3024
Costo total variable, \$/ha	2,5806 ^b	3,1470 ^a	661	872	20,125	20,960	40,150	46,165	<.0001*
Costos fijos, \$/ha	1,436 ^b	1,732 ^a	45	60	780	638	2,522	2,439	0.0002*
Costos totales, \$/ha	2,7242 ^b	3,3202 ^a	684	902	21,383	21,598	41,989	48,340	<.0001*
Costo variable medio, \$/ha	4,097	4,585	102	134	3,141	3,454	5,736	6,987	0.0049*
Costo fijo Medio, \$/ha	225	249	5	7	150	206	388	385	0.0066*

Concepto/Estadístico	Media		SD		Min		Max		Prob>F
	COR	FAI	COR	FAI	COR	FAI	COR	FAI	
Costo unitario de producción, \$/t	4,322	4,834	103	136	3,351	3,747	5,998	7,199	0.0035*

Los niveles no conectados con la misma letra son significativamente distintos a una $p \leq 0.05$.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de una muestra de 85 encuestas aplicadas en 2022.

La estructura porcentual de los costos de producción de las variedades de trigo C S94 y F S2016, muestra que el mayor porcentaje es para la fertilización para ambas variedades, aunque más alta en C S94, en el caso de F S2016 resalta el riego como el segundo costo en importancia y la preparación del terreno. Con respecto al control de malezas, plagas y enfermedades los porcentajes no representan más del 6% del costo total de producción (Figura 1).

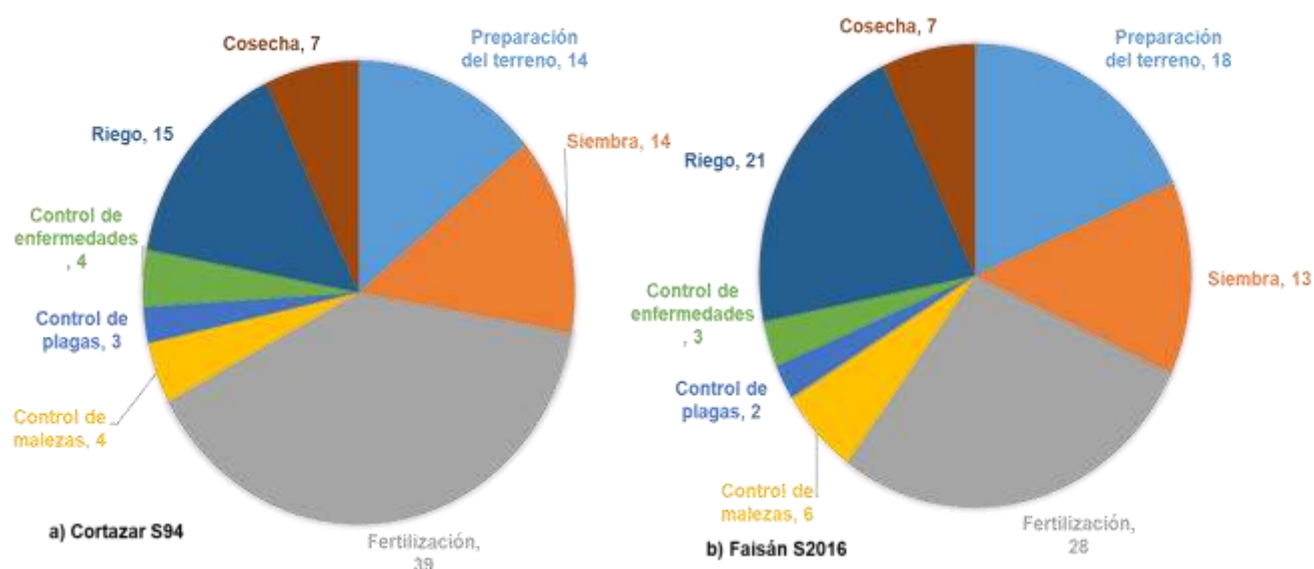


Figura 1. Estructura porcentual de costos de producción de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato, en México. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

En términos de costos variables y costos fijos, el mayor porcentaje corresponde a los costos variables, que son los costos relacionados directamente con el volumen de la producción como la cantidad de insumos de mano de obra y de las labores mecanizadas, y en un menor porcentaje los costos fijos, en los cuales solo fue considerado un costo asociado al pago que se debería de destinar al administrador, que es una actividad realizada por el productor (Figura 2).

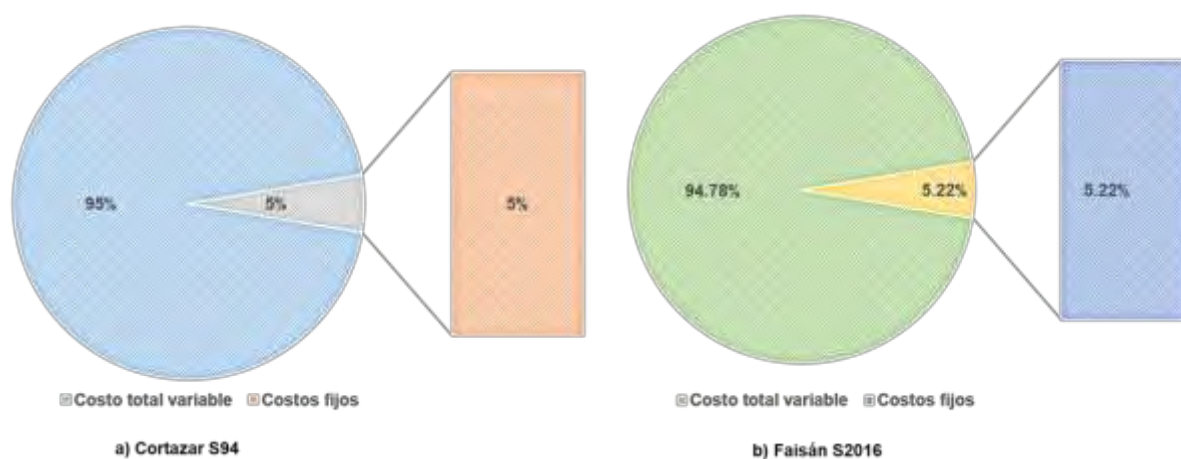


Figura 2. Porcentaje de costos variables y fijos de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato, México. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

Con los costos medios variables y fijos se puede visualizar cuánto de estos costos se destinó a la producción de trigo, la suma de ambos da como resultado el costo total promedio de una tonelada por hectárea.

El CUP permite compararlo directamente con el precio de venta y estimar la utilidad por tonelada vendida a dicho precio de forma rápida por productor, y que en esta comparación resultó significativamente diferente, pero solo por \$512.00 (Cuadro 1).

En el comportamiento de los costos variables, fijos y totales de forma gráfica, se espera que los costos fijos sean una línea horizontal como se puede observar en la Figura 3, y los costos totales por arriba de los costos variables y costos fijos como la suma de ambos, no obstante; en algunas de las observaciones el costo variable está muy cerca del costo total.

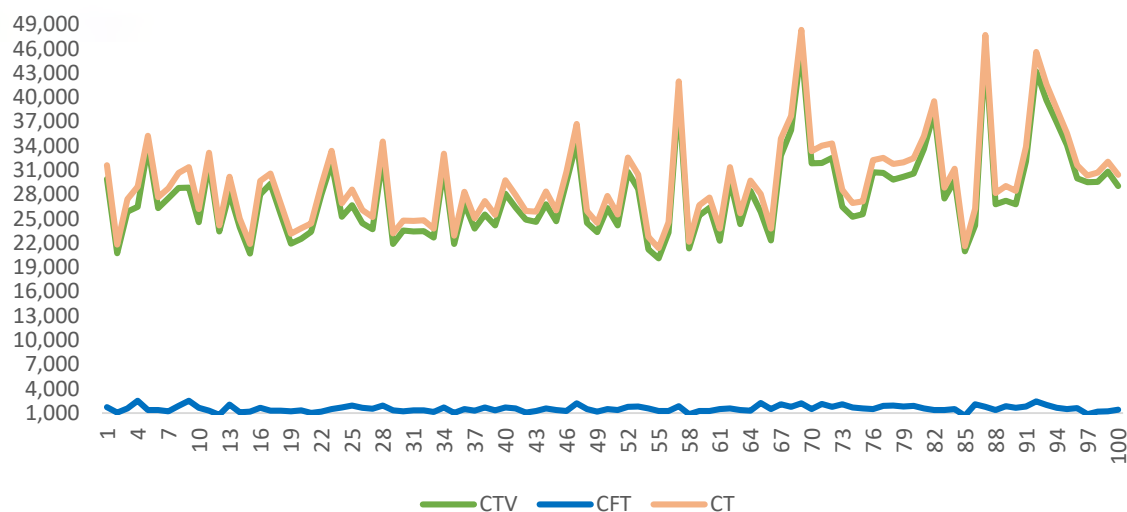


Figura 3. Costos variables, fijos y totales de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato, México. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

En los costos de producción agregados no es posible observar los conceptos que los integran, como las cantidades de actividades, de insumos y de mano de obra que son parte de la producción. En la preparación del terreno se realizan actividades mecanizadas como el subsoleo, barbecho, rastreo, rastreo cruzado, bordos y empareje; de las cuales sólo los bordos son realizados por más de 50 productores de C S94, seguido del rastreo y un solo productor reporto hacer otras actividades mecanizadas (Cuadro 2), a diferencia de C S94, en F S2016, el rastreo lo hacen los 31 productores de la muestra y sólo 10 el rastreo cruzado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Actividades mecanizadas de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato.

Concepto	Preparación del terreno				Costo unitario (\$)			
	n	Med	Mín	Máy	Med	Mín	Máy	SD
Cortazar S94								
Subsoleo	14	1	1	2	1,162	100	2,000	465
Barbecho	35	1	1	1	1,843	1,000	3,000	347
Rastreo	49	2	1	3	921	700	2,000	236
Rastreo cruzado	15	1	1	2	943	700	1,200	140

Concepto	Preparación del terreno				Costo unitario (\$)			
	n	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	SD
Bordos	52	1	1	1	*710 ^b	500	1,000	200
Empareje	12	1	1	1	767	200	1,100	267
Otras labores	1	1	1	1	600	600	600	
Faisán S2016								
Subsileo	17	1	1	1	1,221	800	2,000	412
Barbecho	23	1	1	1	1,961	1,000	2,800	422
Rastreo	31	2	1	2	996	125	1,500	232
Rastreo cruzado	10	1	1	2	1,020	700	1,400	193
Bordos	28	1	1	1	*896 ^a	500	2,000	274
Empareje	23	1	1	2	752	300	1,200	217
Otras labores	18	1	1	1	750	400	1,200	226
Riego (cantidad)	31	4	3	4	1,318	500	3,000	583

*(Prob > F=0.0008). Los niveles no conectados con la misma letra son significativamente distintos a una $p \leq 0.05$. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

Con respecto al costo unitario promedio por concepto de ambas variedades, el barbecho es la actividad más cara de C S94 y de F S2016, pero solo es realizado por 23 productores. La actividad de bordos fue la única que presenta diferencias estadísticamente significativas entre ambas variedades.

Los insumos utilizados fueron semilla, fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, de los cuales las cantidades de fertilizantes para ambas variedades tanto en la primera como en la segunda fertilización fueron de más de 300 kg y máximos de hasta 800 kg, realizadas por más del 90% de los productores de ambas variedades (Cuadro 3). El costo unitario promedio de la semilla, de los productos utilizados en la primera fertilización, para el control de plagas y malezas, y el riego fueron los que presentaron diferencias estadísticamente entre ambas variedades (Cuadro 3).

Cuadro 3. Insumos utilizados en la producción de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato.

Concepto	Cantidad de insumos					Costo unitario (\$)			
	n	Med	Mín	Máx	SD	Med	Mín	Máx	SD
Cortazar S94									
Semilla (kg/ha)	54	39	34	52	4	*11 ^b	8	15	2
Producto en la 1era fertilización (kg/ha)	54	357	200	650	122	**15 ^a	9	25	3
Producto en la 2da fertilización (kg/ha)	54	385	200	700	95	13	9	20	3
Producto control de plagas y malezas (kg o L/ha)	49	1	1	2	0.2	***334 ^b	270	600	54
Producto control de enfermedades (kg o L/ha)	23	1	0.3	1	0.2	793	350	1,200	143
Riego (cantidad)	54	4	3	5	-	*747 ^b	300	1,500	195
Faisán S2016									
Semilla (kg/ha)	31	36	26	43	5	*16 ^a	8	20	3
Producto en la 1era fertilización (kg/ha)	31	317	150	500	105	**12 ^b	5	21	5
Producto en la 2da fertilización (kg/ha)	31	403	200	800	135	13	6	22	4
Producto control de plagas y malezas (kg o L/ha)	30	1	0.3	2	0.38	***409 ^a	240	1,250	234
Producto control de enfermedades (kg o L/ha)	11	1	0.5	1	0.15	760	400	1,200	276
Riego (cantidad)	31	4	3	4	-	*1,318 ^a	500	3,000	583

*(Prob > F=0.0001), ** (Prob > F=0.0008), *** (Prob > F=0.0346). Los niveles no conectados con la misma letra son significativamente distintos a una p≤ 0.05. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

La cantidad de mano de obra utilizada en la producción de estas variedades, presentaron diferencias estadísticamente significativas en los precios unitarios promedio pagados en riegos, control de enfermedades y administración, en los conceptos restantes no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 4). En promedio se usa un jornal en la siembra, para el control de plagas, enfermedades y maleza en C S94 y difiere de un jornal adicional en la fertilización para F S2016. En la cosecha usaron mano de obra tres de los 54 productores entrevistado y ninguno en la cosecha de F S2016 (Cuadro 4). Los costos unitarios más altos en mano de obra fueron reportados por los productos de F S2016 de hasta 800 pesos en control de plagas y de enfermedades, siendo estos menores para C S94.

Cuadro 4. Mano de obra en la producción de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato.

Concepto	Cantidad de mano de obra				Costo unitario de jornal			
	n	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	SD
Cortazar S94								
Siembra	52	1	1	2	276	100	400	55
Fertilización	54	1	1	3	279	120	400	55
Riego	54	4	1	5	*410 ^b	250	700	91
Control de maleza	52	1	1	2	295	150	500	72
Control de plagas	50	1	1	2	279	150	500	81
Control enfermedades	24	1	1	2	**295 ^b	175	400	53
Cosecha	3	7	6	9	343	330	350	12
Otro	14	1	1	3	289	200	400	49
Administración	54	1	1	1	***1,313 ^b	780	1,957	213
Faisán S2016								
Siembra	31	1	1	2	274	200	400	43
Fertilización	31	2	1	4	263	200	400	46
Riego	31	4	3	4	*460 ^a	300	700	92
Control de maleza	31	1	1	2	**358 ^a	150	800	158
Control de plagas	31	1	1	2	300	150	800	127

Concepto	Cantidad de mano de obra				Costo unitario de jornal			
	n	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	SD
Control enfermedades	11	1	1	2	277	200	500	82
Cosecha	-	-	-	-	-	-	-	-
Otro	16	1	1	2	284	150	600	96
Administración	31	1	1	1	***1,478 ^a	638	1,989	284

*(Prob > F=0.0181), **(Prob > F=0.0152), *** (Prob > F=0.0031). Los niveles no conectados con la misma letra son significativamente distintos a una $p \leq 0.05$. Fuente: Elaboración propia con información de campo, 2022.

El rendimiento obtenido fue significativamente mayor para F S2016 al igual que el precio de venta, sin embargo, el ingreso neto o ganancia, que obtuvieron los productores fue \$447 menos que la obtenida por la venta de C S94 y no hubo diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 5). Los ingresos brutos fueron significativamente diferentes, situación que cambia al obtener la ganancia o ingreso neto, que ya descuenta el CTP.

Cuadro 5. Rendimiento y ganancia de las variedades Cortazar S94 y Faisán S2016 en Guanajuato.

Concepto/Estadístico	Unidad	Media		SD		Prob>F
		C S94	F S2016	C S94	F S2016	
Superficie sembrada	Ha	5.8 ^b	13 ^a	1.8	2.4	0.026*
Rendimiento	Ton	6.36 ^b	7.022 ^a	0.2	0.2	0.0097*
Precio	\$/ton	6,868 ^b	7,018 ^a	31.3	41	0.0050
Ingreso Bruto	\$/ton	43,767 ^b	49,280 ^a	1,094	1,443	0.0031*
Ingreso neto	\$/ton	16,525	16,078	894	1,179	0.7634

Los niveles no conectados con la misma letra son significativamente distintos a una $p \leq 0.01$. *Precios corrientes. Fuente: Elaboración propia con información obtenida de una muestra de 85 encuestas aplicadas en 2022.

Conclusiones

La variedad Faisán S2016 presentó mayor rendimiento, mejor precio y costos de producción más altos que Cortazar S94, no obstante, los ingresos netos obtenidos por la producción de ambas variedades fueron estadísticamente iguales, lo que puede implicar que el productor decida producir ambas variedades indistintamente.

Las estructuras de costos de producción en porcentaje fueron similares para ambas variedades y los porcentajes en de costos variables y costos fijos; al igual que en la cantidad y costos unitarios en las actividades mecanizadas, insumos y mano de obra.

Literatura citada

Infante G., S. y Zarate de L. G.P. 1990. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa España. 642 p.

INIFAP. 2018. FAISÁN S2016 nueva variedad de trigo de gluten débil para el Bajío.

SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. en:[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico_Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf). [consultado el 22 de junio de 2024].

SAS Institute Inc., 2024. JMP®, Versión 15. Cary, NC, 1989-2024.

SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Producción agrícola: Cierre de la producción agrícola. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ [consultado en 19 de junio de 2024].

Solís M., E.; Narro S., J.; Salazar Z. A. 1996. Cortázar S94, Variedad de trigo para el Bajío. Folleto Técnico No. 2. INIFAP, Celaya, Gto. 22 p.

- Solís M, E., Mariscal A, L.A., Huerta E, J., Villaseñor M, HE., Pérez H, P. Faisán S. 2016. Nueva variedad de trigo harinero de gluten débil para el Bajío. Rev. Mex. Cienc. Agríc 10 (7). pp. 1699-1703. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1899>
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Pérez, H. P.; Villaseñor, M. H. E.; Ramírez, R. A. y de la Cruz, G. M. 2016. Alondra F2014, Nueva variedad de trigo harinero para el Bajío, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(5):1225-1229 <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.248>.
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Pérez, H. P.; Villaseñor, M. H. E.; Ramírez, R. A. y Ledesma, R. L. 2018. Elia M2016 nueva variedad de trigo harinero de gluten medio fuerte para riego restringido para El Bajío. INIFAP-Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico núm. 5.

PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN ADICIONADOS CON HARINA DE HABA (*Vicia faba* L.)

María del Rosario Bernabé Salas^{368*}, Alejandro Otlica Rosario³⁶⁹, José Luis Rivera Cruz³⁷⁰
y José Pascual Hernández Jiménez³⁷¹

Resumen

En México, se dispone de una variedad de frutos, semillas y tubérculos utilizados como fuentes de nutrientes, los cuales actualmente no están siendo explotados con fines industriales. El haba (*Vicia faba* L.), es una leguminosa de gran riqueza proteica y elevado valor biológico; es decir, contiene todos los aminoácidos esenciales que nuestro cuerpo necesita y razonable digestibilidad, que constituye una fuente importante de aminoácidos y fibra fácil de digerir para la alimentación humana. Esta legumbre es consumida como haba verde para platillos típicos o como grano seco y en algunos casos se consume el grano de haba de manera tostada como snack. La principal actividad económica en torno a la leguminosa es venta y compra, pero no como uso de materia prima para desarrollar o adicionar productos alimentarios, diferentes a los ya tradicionales. El objetivo de esta investigación fue la elaboración de productos de panificación adicionados con harina de haba. Los productos propuestos para ser adicionados con harina de haba fueron galletas y pan (tipo concha). La metodología utilizada fue mediante pruebas sensoriales, se analizaron los resultados a través de una prueba de Tukey a un 0.05% de error, el tipo de evaluación sensorial fue hedónico con un panel de consumidores, que evaluaron atributos como el sabor general, color, dulzura, dureza, con un diseño experimental 5^k en las formulaciones, teniendo a la formulación 2, con 75% de harina de haba tostada y 25% de harina de trigo para las galletas, siendo la más aceptada por los consumidores. En cuanto al pan tipo concha, los parámetros evaluados fueron sabor general, color, dulzor, textura y olor; la mejor formulación fue la 3, la cual, corresponde a 25% de harina de haba y 75% de harina de trigo. Los resultados bromatológicos arrojan el incremento de proteína en los productos presentados. Finalmente, la utilización de harinas o la mezcla de estas, es una alternativa importante para productos de panificación. La investigación demuestra que la incorporación de harinas de leguminosas con la harina de trigo ayuda en el mejoramiento de la calidad proteínica de los productos.

Palabras clave: galletas, grano de haba, pan tipo concha

³⁶⁸ Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México/ITS Ciudad Serdán. rbernabe@cdserdan.tecnm.mx.

³⁶⁹ Departamento de Posgrado e Investigación/Tecnológico Nacional de México/ITS Ciudad Serdán.

³⁷⁰ Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México/ITS Ciudad Serdán.

³⁷¹ Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Gestión del Conocimiento y Tecnología. Tecnológico Nacional de México/ITS Ciudad Serdán.

PRODUCTIVIDAD DE LA FRANJA DE ÁRBOLES FRUTALES DEL SISTEMA MIAF EN LA ZONA MAZAHUA

Ernesto Cárdenas Bejarano³⁷², Horacio Santiago Mejía^{372*}, Ildelfonso Ronquillo Cedillo³⁷², Rocío Albino Garduño³⁷² y Felipe Gallardo López³⁷³

Resumen

El sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) es una tecnología agroforestal destinada a las pequeñas unidades de producción, el cual consiste en franjas alternas de milpa tradicional intercaladas en franjas de árboles frutales. El cultivo central es el maíz, además de leguminosas y hortalizas. Los árboles frutales ocupan hasta el 40% de la superficie cultivable y en los primeros años no aportan ingresos pues están en crecimiento, por ello, surge la necesidad de explorar alternativas para hacer eficiente el uso de esos espacios. El objetivo de esta investigación fue determinar la mejor combinación de duraznero y sotocultivos, definida en términos de ingresos netos, a los cuatro años de implementación de la MIAF. El estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de temporal del año 2023, en San Juan Coajomulco, Jocotitlán, Estado de México. Los tratamientos estuvieron conformados por cinco árboles frutales flanqueados por tratamientos de cultivos anuales: bayocote (*Phaseolus coccineus*), cempasúchil (*Tagetes erecta*), chícharo (*Pisum sativum*), calabaza (*Cucurbita máxima*) y haba (*Vicia faba*). Los ingresos netos correspondieron al ingreso total (IT); menos el costo total (CT), según la relación $IN = IT - CT$. Para estimar el rendimiento de los árboles frutales se registró el peso de los frutos cosechados y se obtuvo el peso promedio. Con ello estimó el rendimiento del duraznero. El chícharo y el haba se cosecharon y pesaron en vaina verde, para el caso del cempoalxóchitl se pesaron las flores de cada tratamiento, con el bayocote las plantas se desvainaron y se registró el peso del grano limpio y para las calabazas, se registró el número de flores y el peso de las calabazas. Los ingresos netos del durazno por hectárea bajo el sistema MIAF, fueron \$12,331. Con el cempoalxóchitl, se obtuvieron \$34,400 pesos. Con la calabaza se obtuvieron \$81. El bayocote, haba y chícharo reportan pérdidas en todos los casos.

Palabras clave: alimentos, duraznero, milpa

³⁷² Universidad Intercultural del Estado de México, *Autor de correspondencia: horacio.santiago@uiem.edu.mx

³⁷³ Colegio de Posgraduados.

ESTRATEGIAS PARA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN NARANJA EN EL NORTE DE VERACRUZ Y NORESTE DE PUEBLA

Laura Gómez Tovar^{374*}, Manuel Ángel Gómez Cruz³⁷⁴ y Luis Enrique Ortiz Martínez³⁷⁵

Resumen

A partir del decreto presidencial para substituir el glifosato, el CONAHCYT financió en 2022 y 2023, dos proyectos relacionados a eliminar el uso de este herbicida y favorecer la transición agroecológica en la zona norte de Veracruz (nueve municipios) y noreste de Puebla, coadyuvando al trabajo previo del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral de la Universidad Autónoma Chapingo y otros grupos de trabajo. Los productores de naranja Valencia, principalmente se comprometieron a no utilizar herbicidas en el 20% de su parcela, sembrar leguminosas como coberturas para manejo de arvenses y utilizar una de 25 prácticas agroecológicas seleccionadas en un esquema de eco-condicionalidad. El objetivo de esta investigación fue sistematizar las estrategias para la transición agroecológica en la zona más importante de naranja en el país, con la finalidad de aportar sugerencias a otras experiencias de escalamiento agroecológico. Se empleó la metodología de sistematización propuesta por Jara en 2017, que permite detectar aquellos factores de éxito y fracaso en proyectos y experiencias. Se detectaron 10 estrategias agroecológicas que han permitido el crecimiento de la agroecología en la región a más de 3,600 productores; a saber: priorización de atención a zonas indígenas, inclusión de mujeres, eliminación de glifosato y otros agroquímicos, incorporación de técnicos comunitarios, masificación en el uso de coberturas con leguminosas, asesoría técnica y difusión virtual (teléfono 911 agroecológico), comité asesor externo y comité asesor regional; priorización del diálogo de saberes, establecimiento de 600 parcelas demostrativas y favorecimiento de la formación de faros agroecológicos para garantizar la continuidad de la experiencia de la transición agroecológica. Se concluyó que en los procesos de transición agroecológica es sumamente valioso el acompañamiento y continuidad de parte de los investigadores y de cuadros técnicos locales, para ir “mano a mano” con los productores, poniendo a disposición de la región, lo generado por las universidades y valorando el potencial local e indígena.

Palabras clave: *Citrus sinensis*, escalamiento agroecológico, masificación agroecológica

³⁷⁴ Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI)-Universidad Autónoma Chapingo. autor para correspondencia: gomezlaura@yahoo.com.

³⁷⁵ CIIDRI-Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

SISTEMATIZACIÓN DE LA ACCIÓN SOCIAL-COLECTIVA EN CONTRA DE CIANTRANILIPROL PARA PROTEGER LAS ABEJAS

Manuel Ángel Gómez Cruz^{376*}, Laura Gómez Tovar³⁷⁶ y Rosa Gloria García Bautista³⁷⁶

Resumen

El 20 de mayo de 2024 “día mundial de las abejas”, en las noticias, prensa y radio tuvo mucha difusión el papel de la Universidad Autónoma Chapingo, al realizar un proyecto para la protección de las abejas frente a la utilización de agrotóxicos que les ocasionan alteraciones en el sistema nervioso, cambios en sus ciclos reproductivos e inmunosupresión. La esencia de la investigación consistió en sistematizar la experiencia de la Acción Social Colectiva y contribuir por el bien común, en la búsqueda de la suspensión definitiva de la utilización de plaguicidas que afectan a las abejas, a partir de haber logrado suspender en forma temporal en 2023, la utilización del insecticida Benevia (ciantraniliprol) promovido por Sanidad Vegetal, SENASICA y CESAVE (Comité Estatal de Sanidad Vegetal Veracruz) para el manejo de *Diaphorina citri*, vector del HLB. El objetivo fue analizar el proceso de la Acción Social-Colectiva caso Benevia, iniciado por los productores orgánicos, apicultores, CIIDRI-UACH y 30 organizaciones de todo tipo. Se utilizó la metodología de la sistematización propuesta por Bronisław Malinowski en 1975 y Chávez Tafur en 2006, donde se privilegia el ordenamiento de las experiencias para una mejora de lo realizado, a partir del análisis crítico de aciertos y errores y el enfoque de la investigación participativa, donde el investigador se ubica como parte del proceso. Los resultados se sintetizan en dos aspectos: 1. Propuesta de una Acción Social-Colectiva para la suspensión de aplicaciones de agrotóxicos que afectan a las abejas, sustituido por el control biológico como reproducción de *Tamarixia radiata* y/o productos agroecológicos; 2. Avances en una política de alianzas que fortalece la Acción Social-Colectiva contra el uso de agrotóxicos. Se concluye que los productores y las organizaciones sociales, tienen cada vez mayor nivel de conciencia para realizar acciones que les permitan protegerse en su salud y el ambiente. La acción Social- Colectiva es una propuesta adecuada para avanzar con éxito en la defensa de la protección de las abejas.

Palabras clave: análisis, Benevia, abejas, naranja valencia

³⁷⁶ Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral-Universidad Autónoma Chapingo. Autor para correspondencia: magomezcruz@live.com

PAUSA AL DECRETO PRESIDENCIAL SOBRE LA PROHIBICIÓN DEL GLIFOSATO EN MÉXICO

Manuel Ángel Gómez Cruz^{377*}, Laura Gómez Tovar³⁷⁷ y Luis Enrique Ortiz Martínez³⁷⁷

Resumen

En México, gracias al decreto presidencial de diciembre de 2020, actualizado en febrero de 2023, se ha dado un realce a las prácticas agroecológicas para la sustitución de glifosato con miras a su prohibición total el 31 de marzo 2024, proceso que respetaría las condiciones económicas, culturales y ambientales de productores; sin embargo, unos días antes del plazo fijado se publicó un comunicado de tres secretarías (SE, SEMARNAT y SADER) indicando “que en virtud de que no se han concretado las condiciones para sustituir el uso del glifosato en la agricultura mexicana debe prevalecer el interés de salvaguardar la seguridad alimentaria del país. Las acciones previstas en el decreto aún no concluyen por lo que el ejecutivo federal por conducto de las dependencias que suscribimos determinó continuar en la búsqueda de alguna alternativa viable de amplio espectro y de baja toxicidad que lo sustituya y que permita mantener la productividad de quienes optan por este insumo”. Esta investigación tuvo como objetivo analizar lo sucedido al respecto a través de la metodología de análisis del discurso, tomando como referencia información periodística, artículos científicos, rueda de prensa CONAHCYT y comunicados a la opinión pública. En resultados se encontró que no existe justificación técnica ni científica para pausar la ejecución del decreto. Algunos argumentos a favor de la prohibición son: a pesar de ya no importar el glifosato, en México en 2023, no se afectó la producción de alimentos; el glifosato no se aplica en 56% de las 32,000 comunidades y ejidos del país; hay una gran diversidad de prácticas en México para el manejo de arvenses: desbrozadoras, maquinaria y herramientas, acolchados, falsa siembra, coberturas, etc.; manejar arvenses es sólo una de las actividades que se emplean para producir alimentos, hay otras como fertilización, siembra, control de plagas y enfermedades, cosecha; en el mundo existen 96 millones de hectáreas sin glifosato atendidas por 4.5 millones de productores. Se concluye que predominan los intereses del gran capital internacional y sus socios por encima de la salud y alimentación de los mexicanos.

Palabras clave: agroecología, manejo integrado de arvenses, política pública

³⁷⁷ Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral- Universidad Autónoma Chapingo. Correo: magomezcruz@live.com

VIVERISTAS: UN CAMPO DE CONOCIMIENTOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE PLANTAS DE ORNATO

Deysi Cordero Rueda³⁷⁸, Abigail Luna Anastacio³⁷⁸, Jimmy Gael Vázquez Hernández³⁷⁸,
Deli Alessandra Meza Cruz³⁷⁸ y Ariadna Linares Gabriel^{378*}

Resumen

Nos introducimos al mundo de la floricultura, específicamente en el segmento viverista, estos centros agrícolas son atendidos por actores especialistas en el manejo y cuidado de las plantas de ornato. Por lo anterior, se propuso conocer las interacciones sociales, la actividad productiva y ambiental en la que se desarrollan los viveristas del parque “Doña Falla” como actores sociales partícipes de la floricultura en Xalapa. Se realizó una búsqueda sistematizada de la floricultura en Web of Science a nivel nacional (México) con un total de 21 documentos. Por la ausencia de información sobre viverismo se realizó una búsqueda en ResearchGate rescatando un total de 10 documentos. De esta búsqueda se identificaron temáticas relacionadas a problemáticas en el sector viverista, del cual se identificaron un total de nueve previamente definidas. Impacto ambiental, impacto en la salud, falta de programas orientados al sector florícola, falta de tecnificación, precariedad laboral, problemas de precio, problemas fitosanitarios, conservación de los ecosistemas y agentes económicos. Posteriormente se realizó la visita al parque “Doña Falla”, se realizaron entrevistas a profundidad y un recorrido por los viveros. Se identificaron de 33 viveros, cada uno de ellos cuenta con diferentes propietarios. Se observó que los viveristas no cuentan con acceso a un programa orientado al viverismo, ni asesoramiento técnico, el cuidado y manejo que le dan a las plantas es por conocimiento de ellos. Utilizan productos orgánicos y procuran evitar el uso de productos químicos, además atienden las necesidades de conservación de los recursos endémicos. Estos actores no ven al viverismo como actividad económica sino como terapia, lo que hace que nos haga reflexionar cómo es que vemos a la naturaleza y que tanto la necesitamos, no solo como alimentación, sino como más factores de necesidad. En ese sentido, el viverismo es una actividad social dentro del cual genera impactos económicos. Es una actividad cultural que resulta como principal estrategia de comercialización. Todo lo anterior permea dentro la floricultura a nivel estado, dado que el parque doña falla es símbolo ornamental en Xalapa, Veracruz.

Palabras clave: sociología rural, floricultura mexicana, conocimiento empírico

³⁷⁸ Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa, Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: alinares@uv.mx

EL AGUA AGRÍCOLA EN MÉXICO: ANÁLISIS JURÍDICO INTEGRAL HACIA LA GOBERNANZA

Martha Beatriz Cuéllar Lugo³⁷⁹, Alberto Asiain Hoyos^{379*}, Salvador Partida Sedas³⁷⁹,
María del Carmen Álvarez Ávila³⁷⁹, Felipe Gallardo López³⁷⁹ y Juan Suárez Sánchez³⁸⁰

Resumen

El agua es un recurso indispensable para las actividades humanas, el desarrollo económico y el bienestar social. Una de las actividades en las que se emplea este recurso, es en la agricultura, la cual reporta un uso consuntivo del 76%. En México, el agua es un recurso público cuya regulación y administración está a cargo del Estado, lo cual está previsto en diversos instrumentos jurídicos y niveles jerárquicos. En estos términos, el objetivo del presente trabajo fue examinar de manera sistemática los ordenamientos y regulación jurídica del uso del agua agrícola en México y proponer alternativas que fomenten el manejo sostenible y eficiente de este recurso. Se realizó una búsqueda y revisión sistemática de literatura en bases de datos de fuentes jurídicas y estadísticas gubernamentales. Se identificó la existencia de múltiples trámites y procedimientos administrativos para la solicitud de permisos, concesiones y certificaciones para el uso del agua agrícola. Esto último plantea la necesidad de fortalecer y unificar el aparato institucional encabezado por el Ejecutivo Federal, la Comisión Nacional del Agua y los Distritos de Riego con el fin de garantizar el uso eficiente y sostenible del agua a través de políticas que promuevan la participación de los productores con prácticas agrícolas sostenibles y logren un uso más responsable del agua y, paralelamente, la adopción de modernas tecnologías de riego que reduzcan la pérdida de este recurso. Se concluyó que el uso de agua agrícola es un tema complejo que combina aspectos legales, ambientales y sociales, por lo que, para la protección y gestión eficiente de este recurso, se requiere la inclusión social a través de procesos de gobernanza para la toma de decisiones y así poder garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible en la nación.

Palabras clave: bloque de convencionalidad, agricultura, gestión hídrica

³⁷⁹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: aasiain@colpos.mx

³⁸⁰ Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

LAS GRANJAS DE INSECTOS (*Hermetia illucens*) PARA LA BIOCONVERSIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS A PROTEÍNA

Emilio Hernández^{381*}, Marysol Aceituno Medina³⁸¹, Landi Fabiola Barrientos³⁸²,
Carlos G. García Castillo³⁸¹ y Juan Díaz³⁸¹

Resumen

Las harinas de insectos son una fuente de proteína valiosa y sostenible que puede satisfacer los requerimientos de producción de ganado, aves, peces, reptiles e incluso de los humanos. Los insectos se crían en granjas, se recolectan, se deshidratan y luego se convierten en harina. Por otro lado, los residuos orgánicos generados durante la producción agrícola de alimentos aumentan al mismo ritmo que el crecimiento poblacional. El uso de los insectos criados en granjas se considera una estrategia para el manejo sostenible de los residuos orgánicos, ya que permite reciclar los nutrientes en proteína de insecto de alto valor. El objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad de la cría de *Hermetia illucens* para la bioconversión de residuos orgánicos. Se utilizó un diseño experimental de un factor con seis tratamientos, que consistieron en dietas elaboradas con residuos vegetales triturados obtenidos del mercado municipal de la ciudad de Tapachula, Chiapas. Las dietas fueron elaboradas a base de: 1) frutos de aguacate, 2) fibra de coco, 3) mezcla de palmiste y banano, 4) mezcla de palmiste y mango, 5) plátano macho y 6) lechuga y apio. Se realizaron 14 repeticiones. La unidad experimental consistió en una charola con 1 kg de residuos vegetales, inoculada con 3500 huevos de tres días después de su colecta. La larva se desarrolló en un periodo de 12 días. Los datos se analizaron con el programa R Commander®; de acuerdo con el análisis de varianza, los valores más altos de bioconversión de residuos orgánicos a biomasa de insectos y transformación de huevo a larva se obtuvieron con las dietas elaboradas a base de palmiste mezclado con banano y mango. Los resultados indican que es factible la producción de proteína de insectos criados en residuos orgánicos y con ello contribuir a la economía circular.

Palabras clave: mosca soldado, proteína de insectos, residuos orgánicos

³⁸¹ Escuela de Sistemas Alimentarios, Universidad Autónoma de Chiapas. *Autor de correspondencia: emilio.hernandez@unach.mx

³⁸² Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE: ESTRATEGIAS PARA LA CAFETICULTURA DE IXHUATLÁN DEL CAFÉ, VERACRUZ

Gerardo Moreno Mata³⁸³, María del Carmen Álvarez Ávila^{383*} y Alberto Asiain Hoyos³⁸³

Resumen

En respuesta a los desafíos del cambio climático y la necesidad de mejorar la competitividad y calidad del café local, se proponen diversas acciones integradas en el marco de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS). Por lo que se plantea como objetivo diseñar estrategias para su desarrollo sostenible y la contribución potencial en la disminución de los efectos del cambio climático. Estas estrategias buscan no solo aumentar la producción y mejorar la calidad del café, sino también fomentar la inclusión de jóvenes y mujeres, fortalecer la infraestructura local, y promover prácticas agrícolas sostenibles que protejan el medio ambiente y diversifiquen las fuentes de ingreso de la comunidad. Para el diseño de las estrategias, se realizó una revisión documental crítica en donde resalta el Plan Municipal de Desarrollo de Ixhuatlán del Café para el periodo 2022-2025. Las estrategias diseñadas son: realizar estudios genéticos de germoplasma de café introducido que contribuyan a reducir los efectos del cambio climático, mejorando la productividad y calidad del café, así como la sostenibilidad y resiliencia de los agroecosistemas cafetaleros del municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz y evaluar el impacto de la adopción del nuevo germoplasma de café ante las condiciones del cambio climático. Estas estrategias promoverán la inclusión de jóvenes y mujeres en el sector cafetalero, y fomentarán la conservación de recursos naturales a través de prácticas agrícolas más sostenibles. En conclusión, aunque las políticas públicas propuestas son prometedoras y abordan múltiples dimensiones del desarrollo rural sostenible, su éxito dependerá de la capacidad de la comunidad para implementarlas de manera efectiva y de la disponibilidad de recursos y apoyo continuo. La diversificación económica y la resiliencia frente al cambio climático son aspectos críticos que deben ser cuidadosamente gestionados para asegurar un desarrollo equilibrado y sostenible a largo plazo en Ixhuatlán del Café.

Palabras clave: inclusión, empoderamiento, cambio climático

³⁸³ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: malvareza@colpos.mx

RESPUESTA DE *Anastrepha ludens* (Díptera: Tephritidae) SOBRE FRUTOS IMPREGNADOS CON MICROORGANISMOS MARINOS

Enedina Cruz Hernández^{384*}, Eduardo Tadeo Hernández³⁸⁵, Cesar Ruiz Montiel³⁸⁶
y Roberto Gregorio Chiquito Contretas³⁸⁵

Resumen

Anastrepha ludens (Loew), insecto polífago considerado plaga cuarentenaria en México. El uso irracional de plaguicidas químicos ha provocado graves daños al ambiente y a la salud humana. Una alternativa de control es el etológico, basado en la ecología química de los insectos. Existen microorganismos marinos capaces de impregnarse sobre el epicarpio de frutos, donde producen una biopelícula protectora contra el ataque de enfermedades fungosas, interfiriendo con la emisión de los odorantes liberados naturalmente por frutos, los cuales son utilizados por los insectos para localizar y seleccionar hospederos. En este trabajo se evaluó la respuesta de hembras grávidas de *Anastrepha ludens* sobre frutos impregnados con *Bacillus amyloliquefaciens* y *Stenotrophomonas rhizophila*, microorganismos de origen marino. Se recolectaron en campo frutas de naranja infestadas con larvas de *A. ludens*, para su pupación y posterior emergencia de adultos. Los adultos emergidos se colocaron en jaulas provistas con agua y alimento, hasta la madurez sexual, momento en el que fueron utilizados en ensayos de laboratorio. Se colocaron 10 hembras grávidas de *A. ludens* (marcadas en el tórax para su identificación) dentro de jaulas experimentales con frutos impregnados y sin impregnar con *B. amyloliquefaciens* y *S. rhizophila*. Se realizaron observaciones de comportamiento durante tres horas, se registraron las siguientes variables: número de visitas, reconocimiento del fruto, intentos de oviposición, oviposiciones, marcajes, forrajeos y reposo sobre la fruta. Los resultados muestran que los frutos impregnados con microorganismos marinos presentaron una mejor frecuencia de forrajeo, intentos de oviposición y oviposiciones en comparación con los tratamientos control, especialmente en el caso de *S. rhizophila*. En cuanto al comportamiento de reposo, se observó una diferencia con *B. amyloliquefaciens*. Reportes previos señalan que los volátiles emanados por las plantas hospederas son utilizados por hembras del género *Anastrepha* para la oviposición, por lo que la biopelícula formada por *S. rhizophila* parece estar influyendo en la elección de los frutos.

Palabras clave: biopelícula, odorantes, señales químicas, selección de hospederos

³⁸⁴ Maestría en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas. *Autor de correspondencia: eneddy.14@hotmail.com

³⁸⁵ Instituto de Investigaciones Forestales.

³⁸⁶ Región Xalapa. Universidad Veracruzana.

EL AGROECOSISTEMA CAFÉ Y LA LÍNEA DE BIENESTAR MÍNIMO EN LA REGIÓN DE ZONGOLICA, VERACRUZ

Rogelio Limón Rivera³⁸⁷, Hilario García Martínez³⁸⁷, Susana Isabel Castillo Martínez³⁸⁷
y Julio Díaz José³⁸⁸

Resumen

La región de Zongolica, Veracruz se considera una zona cafetalera relevante debido a las distinciones nacionales e internacionales que ha recibido por la calidad y perfil de taza en certámenes de cafés de especialidad. Sin embargo, los altos precios que reciben estos tipos de café no benefician a los productores que siguen prácticas de cultivo tradicionales y comercializan con precios internacionales bajo el esquema de commodity. Con estas condiciones, los cafecultores toman decisiones productivas, de uso de suelo y ponderan los beneficios que obtienen del cafetal con la inversión que requiere. La presente investigación tuvo como objetivo analizar si la cafecultura de la región de Zongolica brinda beneficios netos equiparables a la línea de bienestar mínimo (LBM). Se usaron las metodologías de talleres participativos y paneles de costos de producción bajo enfoques de flujo de efectivo (EFE), financiero y económico. En los paneles se determinaron unidades representativas de producción (URP) que sirvieron como modelo para conocer las características de interés dentro del agroecosistema café en la región de Zongolica. Se consideraron tres comunidades representativas, los cafecultores fueron seleccionados de acuerdo con el criterio de informantes clave, la recolección de información se realizó mediante cédulas de costos y beneficios. Se compararon los beneficios totales de manera anualizada con la LBM y el salario mínimo. Se encontró que la venta de café representa hasta el 87% de los ingresos totales del cafecultor. En cuanto a los beneficios netos, en una URP la cafecultura no es rentable y en las otras dos solamente se obtienen beneficios totales en el análisis con EFE; esto se explica por la dependencia de transferencias directas gubernamentales, altos costos de insumos y baja eficiencia productiva. En cuanto a la LBM, solamente una URP con EFE tiene beneficios apenas del 0.58% por arriba de la LBM, pero un 65.85% por abajo del salario mínimo. Se concluye que el agroecosistema café de la región requiere fortalecerse con capacidades productivas, de mercado y financieras para generar beneficios netos que cubran dignamente las necesidades de sustento de los pequeños cafecultores y sus familias, además de disminuir la dependencia a subsidios gubernamentales.

Palabras clave: cafecultura, economía, bienestar

³⁸⁷ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

³⁸⁸ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba-Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: julioldiaz@uv.mx

ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIOAMBIENTAL AL IMPLEMENTAR UN HUMEDAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL AGUAJE, EMILIANO ZAPATA, VERACRUZ, MÉXICO

Nelson Andrés Losada Rodríguez^{389*}, José Luis Marín Muñiz³⁸⁹ y María del Carmen Celis Pérez³⁸⁹

Resumen

El acceso y saneamiento del agua son derechos fundamentales necesarios para alcanzar el desarrollo social y económico de las comunidades. Sin embargo, el crecimiento poblacional y el uso insostenible han incrementado la contaminación y la producción de aguas residuales. En México, en 2022, solo el 66.7% de las aguas residuales colectadas a través del alcantarillado fueron tratadas. Esta problemática es aún más grave en comunidades rurales como El Aguaje, Emiliano Zapata, Veracruz, donde la falta de tratamiento adecuado de aguas residuales ha contribuido a la contaminación ambiental y problemáticas socioambientales representando un riesgo para la salud pública. El objetivo de esta investigación es evaluar la adopción y apropiación de humedales de tratamiento (HT) por parte de la comunidad, así como su capacidad para remover contaminantes de las aguas residuales. Como parte de la metodología para el diagnóstico del sector agua y saneamiento en la comunidad, se aplicó una entrevista semiestructurada a 81 habitantes. Los resultados de la entrevista revelaron que, actualmente, la comunidad carece de un sistema de tratamiento de aguas residuales, además, el agua que llega a sus llaves proviene del río, por lo que su calidad no es óptima para consumo humano, lo que agrava la calidad sanitaria y el acceso al agua limpia. Además, más del 95% de la comunidad desconoce el concepto y funcionamiento de los HT. Estos resultados muestran una necesidad de establecer una infraestructura de saneamiento en El Aguaje, una comunidad con un alto nivel de desconocimiento sobre soluciones como los HT. Esto, destaca la necesidad de implementar tecnologías accesibles y sostenibles para mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública en la comunidad. Para abordar esta problemática, se propone la implementación de HT como una solución ecológica, de bajo costo y fácil mantenimiento para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad. Estos sistemas ofrecen beneficios ambientales, sociales y económicos a nivel local. A través del programa de "Proyectos de Fomento Ambiental" de la SEDEMA, se financiará la construcción de un HT en El Aguaje, lo que se espera contribuya a mejorar las condiciones sanitarias y ambientales de la comunidad.

Palabras clave: contaminación, medio ambiente

³⁸⁹ Academia en Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. * Autor de correspondencia: andres1323@live.com

PRODUCCIÓN DE PILONCILLO EN TRES ESTADOS DE MÉXICO

Esmeralda Santiago Hernández³⁹⁰, Alejandra Soto Estrada^{390*}, Ponciano Pérez Hernández³⁹⁰
y José de Jesús Pérez Bautista³⁹¹

Resumen

El piloncillo es un edulcorante natural elaborado a partir de la extracción del jugo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.), hasta la cristalización de la sacarosa. En México, destacan por su producción San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz. Sin embargo, la información sobre el proceso de producción es escasa y no actualizada. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue comparar la producción del piloncillo en los tres principales estados productores de México a través de una revisión de literatura y observaciones en campo. Se consultó bases de datos estadísticos y fuentes bibliográficas para obtener información acerca de la producción de piloncillo. La información se analizó y complementó con observaciones de campo, además se georreferenciaron la ubicación de los trapiches de la región central de Veracruz. Se identificó que, los productores de piloncillo de los tres estados siembran su propia caña de azúcar para elaborar el piloncillo. Las etapas de producción son similares; sin embargo, se encontraron diferencias en el método de cosecha y transporte de la caña, manejo postcosecha, tipo de trapiches, utensilios, moldes, formas y empaque. El estado de Veracruz presenta mejor infraestructura y tecnificación en sus unidades de producción, además de tener mayor diversificación de formas del piloncillo (cono, pirinola, tapón, circular, barra y granulado), en contraste con San Luis Potosí e Hidalgo, donde la producción y comercialización todavía son convencionales. Se georreferenciaron 88 trapiches en Veracruz, lo cual facilitará la ubicación para trabajos posteriores. Este trabajo aporta información actual y destaca las particularidades de la producción de piloncillo en los tres estados; por ejemplo, variantes en la cosecha de la caña de azúcar (quema y en verde), tipos de trapiches y de molde y las distintas formas del piloncillo.

Palabras clave: quema, trapiches, producción, tradicional

³⁹⁰ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: ygheno@uv.mx

³⁹¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí UASLP. Facultad de Agronomía.



Medio ambiente

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE UN PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN MODIFICADO

Ana Concepción Ramos Martínez^{392*}, Miguel Ángel López Ramírez³⁹², Gerardo González Gómez³⁹²
y Olaya Pirene Castellanos Onorio³⁹³

Resumen

La electrocoagulación, como proceso altamente eficiente y exitoso, desempeña un papel crucial en la promoción de prácticas industriales más sostenibles al generar aguas residuales tratadas adecuadamente para su recirculación. Esta técnica se distingue por su capacidad para reducir eficazmente la carga contaminante, ofreciendo resultados óptimos sin incurrir en altos costos operativos. Su adopción ha ganado terreno significativo en la industria debido a su eficacia comprobada en el tratamiento de aguas residuales, especialmente aquellas contaminadas por vertimientos industriales. En comparación con otras alternativas de tratamiento, la electrocoagulación presenta una serie de ventajas adicionales que la hacen especialmente atractiva. Además de su eficiencia en la eliminación de contaminantes, este método se caracteriza por un menor consumo de materia prima y energía, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental y los costos asociados. Además, la capacidad de eliminar sustancias tóxicas de manera parcial o total y mejorar la calidad del agua son aspectos cruciales que lo destacan como una opción preferida en la industria. Uno de los aspectos más destacados de la electrocoagulación es su versatilidad y facilidad de implementación. Requiere de áreas de operación más pequeñas en comparación con otros métodos, lo que no solo reduce los costos de infraestructura, sino que también maximiza el espacio disponible para otras operaciones industriales. Esta característica la convierte en una opción especialmente atractiva para empresas de diversos sectores que buscan soluciones eficientes y prácticas para el tratamiento de aguas residuales. La investigación específica sobre el proceso de electrocoagulación con respecto al metal pesado Níquel destaca aún más su potencial. Al utilizar el reactivo Fenton como catalizador en diferentes proporciones (150, 300 y 450 ppm) y ajustar variables como el pH (8 y 10), el voltaje (17.5 y 19 V) y el tiempo de reacción (30 y 60 minutos), se logró una remoción máxima del 97.5% en condiciones específicas (19 V, 10 UpH y 30 minutos). Estos resultados subrayan la eficacia y la adaptabilidad de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados, ofreciendo una solución prometedora para desafíos ambientales y de salud pública asociados con la contaminación hídrica industrial.

Palabras clave: fenton, tratamiento, níquel

³⁹² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. *Autor de correspondencia: anheramart@gmail.com

³⁹³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz.

Introducción

El agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos del planeta, además es un derecho humano fundamental (Rickert *et al.*, 2016). El 97.2% del agua en el planeta Tierra es salina y solo el 2.5% corresponde a agua fresca; de ese 2.5%, 30% es subterránea, 68% está en los glaciares y otras capas de nieve y solo el 1.2% es superficial y se encuentra en ríos, lagos y otras formas de agua de superficie (Gómez-Duarte, 2018), por lo que cuidarla es vital para el desarrollo humano.

La contaminación del agua es un problema que todos nosotros vivimos en la actualidad, ya que no solo se da en los países industrializados o los menos industrializados, sino que afecta a todos y cada uno de los sectores de la población, además, que muchos piensan que este recurso que es muy indispensable para nosotros siempre va a estar ahí, pero la verdad es que no es así, ya que no tomamos conciencia de los actos o de las actividades que realizamos con este recurso (Guadarrama-Tejas *et al.*, 2016).

Dentro de los principales factores que afectan los ecosistemas son los metales pesados (MP), los cuales encuentra las actividades humanas donde destacan como mayoritarias las operaciones de tipo minero y de fundición entre otras actividades de tipo industrial y urbana (Malik y Saha, 2003), donde la tasa de contaminación del agua puede rondar cerca de los 200 millones de metros cúbicos diarios (Lehmann *et al.*, 1999). Este hecho conlleva un gran número de problemas tanto en las plantas, como por ejemplo la disminución del crecimiento o el amarillamiento de las hojas (clorosis) (Kalavathy *et al.*, 2010), como en la vida humana donde los efectos pueden ser erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares, del sistema nervioso central y periférico, cáncer o la muerte (Ahmad, *et al.*, 2010; Tiemi-Muranaka, 2010; Ramírez-Franco. Este creciente problema exige un riguroso control de la contaminación y una legislación cada vez más exigente. Como respuesta a ello, y dada la incapacidad de los métodos convencionales para remover efectivamente muchos de los contaminantes existentes, en los últimos años se ha presentado una intensa búsqueda de nuevas y eficientes tecnologías de tratamiento de aguas (López-Ramírez *et al.*, 2021) En las últimas décadas, las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias

tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos. En general, en el tratamiento de aguas, las tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química o una baja biodegradabilidad (López-Ramírez *et al.*, 2021). Actualmente, los estudios se enfocan en la búsqueda de valores óptimos para los diferentes parámetros que afectan el proceso de oxidación: pH, temperatura, diseño del reactor, naturaleza y concentración del contaminante y agentes oxidantes que puedan mejorar la reacción. Además, se estudia con detalle la cinética de reacción, que generalmente es de primer orden, entre las cuales destacan las que se muestran en la Figura 1.

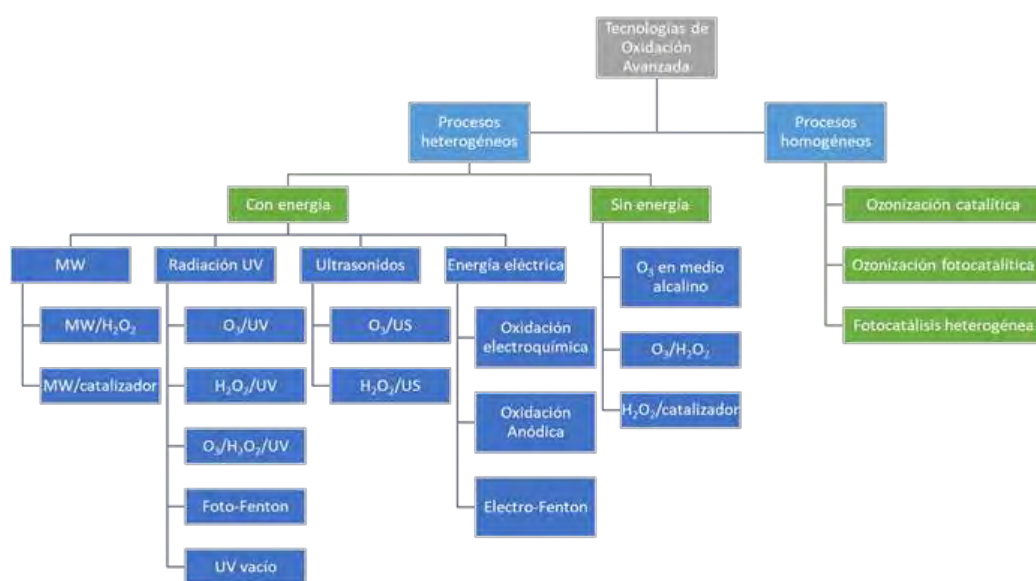


Figura 1. Clasificación de los procesos de oxidación avanzada. Fuente: Santz *et al.* (2013).

Entre los procesos mencionados en la figura anterior, se observa que, de los procesos heterogéneos con que utilizan como fuente de energía la corriente eléctrica, se encuentra el electro-Fenton, el cual es un proceso que se divide en oxidación electroquímica y de electrocoagulación la cual aplica los principios de la coagulación-floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional, induciendo la corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas (Caviedes-Rubio *et al.*, 2015).

Como se puede observar, esta técnica es utilizada para los tratamientos de las aguas residuales contaminadas por MP siendo en su mayoría del giro metalúrgico o automotriz y al ser los tratamientos convencionales poco eficientes se deben desarrollar nuevas tecnologías (Alomá-Vicente *et al.*, 2013).

Los MP se encuentran de manera natural en el ambiente, por lo común en trazas, siendo estas concentraciones poco nocivas para la biota en general y derivado a que se encuentran depositados en los suelos por descomposición de los distintos minerales (proceso de erosión) coexisten para mantener los ciclos biogeoquímicos tanto en el suelo como en el agua, sin embargo, también existe el enriquecimiento de MP de manera antrópica (por actividad de la industria minería, industrial, agricultura, entre otros) y a este proceso que satura el equilibrio natural se lo conoce como contaminación, ya que dichas concentraciones son mayores a las composiciones geoquímicas del lugar.

Los MP como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros, son liberados hacia ecosistemas acuáticos, así como a los suelos principalmente debido a diversas actividades antropogénicas y presenta una seria amenaza para las plantas, animales e incluso los humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad incluso a bajas concentraciones (Ahmed *et al.*, 2013). El hecho de que estos metales se encuentren en los diversos ecosistemas es de preocuparse, dado que muchos seres vivos dependen del adecuado equilibrio en su lugar de alimentación o de vivienda, el cómo llegan dichos metales a los distintos ecosistemas varía según el tipo de actividad que se desarrolla por el hombre, por ejemplo el cromo que es un compuesto ampliamente usado en la industria en áreas como el revestimiento plástico, galvanoplastia de metales para resistencia de la corrosión, curtido y acabado de cueros, en pigmentos y para conservantes de madera (Mohan *et al.*, 2005), otro tipo de metales como el cadmio son usados en la industria para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, agentes anticorrosivos y pigmentos (Al Hamouz *et al.*, 2016). En el caso del mercurio se han identificado seis fuentes de contaminación que son la deposición atmosférica, erosión, descargas humanas, materiales agrícolas, minería y las descargas industriales y de combustión, como tal en las aguas subterráneas naturales y aguas superficiales el contenido de este metal está por debajo de 0.5 µg/L, sin embargo, en aguas residuales descargadas cerca de depósitos minerales locales y otros sitios contaminados la concentración de mercurio es mucho mayor. El plomo también es liberado al ambiente debido

a la industria minera y la quema de combustibles fósiles, está involucrado en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos y dispositivos para la protección contra los rayos X (Mohammad *et al.*, 2017).

Como se puede ver el mayor aporte a la contaminación de las aguas por MP es debido a las descargas de aguas residuales producto de diversas actividades antropogénicas, principalmente de tipo industrial. Por lo que cada día es mayor el grado de contaminación de las fuentes hídricas debido al constante uso de estos metales en la industria, lo que aumenta la concentración de los mismos en el agua y por ende el riesgo para los seres humanos y demás organismos vivos al aumentar la probabilidad de quedar expuestos a estos metales (Cañizares-Villanueva, 2000) como se observa en la Figura 2 García *et al.*, (2002).

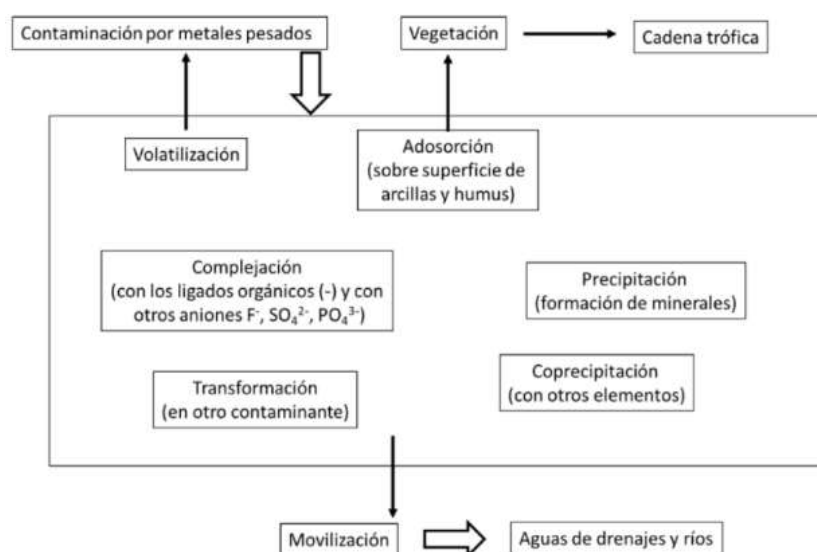


Figura 2. Dinámica de los metales pesados. Fuente: García *et al.*, 2002

Con respecto a las aguas residuales tenemos que los MP encontrados en estas son: arsénico con una generación de 12 842 t/año, cadmio 24 319 t/año, de cromo se generan 61 290 t/año, cobre con un total de 40 905 ton/año, mercurio con 498 t/año, con respecto a níquel se generan 60 710 t/año, plomo aproximadamente 16 470 t/año, selenio un total de 5 904 t/año, vanadio en agua residual 676 t/año y de zinc se genera 103 715 t/año (Pabón *et al.*, 2020).

La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio, que, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o

bioacumulación (Kumar, *et al.* 2012). Dentro de los MP el níquel es uno de los metales que se ocupa para aleaciones de metales, galvanoplastia, baterías y electrónica, siendo este de los más utilizados y ocasionando enfermedades como dermatitis, náuseas, asma crónica, tos y efectos cancerígenos. Derivado de los anterior y a la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para los tratamientos de aguas residuales contaminadas con metales pesados, siendo el objeto de estudio el níquel.

Materiales y métodos

Área de estudio

La presente experimentación se desarrolló en los campus del Tecnológico Nacional de México de Boca del Río, Veracruz y Martínez de la Torre.

Preparación de soluciones

Las soluciones a 60 ppm de níquel en 500 mL de agua destilada, se prepararon con 137 mg de sulfato de níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$) derivado que dicho compuesto químico tiene una pureza del 98% y un peso molecular de 263 uma de las cuales el níquel tiene un peso de 58.69 uma.

A continuación, se muestra el procedimiento para el cálculo del sulfato de níquel necesario, empezando por determinar el porcentaje de níquel en el compuesto como se expresa en las ecuaciones 1 y 2:

$$RSN/N = \frac{Ni_{uma}}{SN_{uma}} * \frac{Pureza}{100} \quad (1)$$

RSN/N= Relación de sulfato de níquel y níquel

Ni_{uma}= Peso molecular del níquel

SN_{uma}= Peso molecular del sulfato de níquel

$$RSN/N = \frac{58.69}{263} * \frac{98}{100} = 0.219 \quad (2)$$

Una vez encontrada la relación de níquel y sulfato de níquel, se procede a calcular la cantidad necesaria, recordando que para 500 mL se necesitan 30 mg de níquel, por lo que se procede a calcular el sulfato necesario con las ecuaciones 3 y 4:

$$Ni = \frac{30 \text{ mg}}{RSN/N} \quad (3)$$

$$Ni = \frac{30 \text{ mg}}{0.219} = 137 \text{ mg} \quad (4)$$

Tratamientos

Para el proceso electro-Fenton se ocupa la misma metodología de López *et al.* (2019) el cual indica que el proceso Fenton debe ser evaluado en proporciones de 150, 300 y 450 ppm y de acuerdo a las condiciones electroquímicas se toma como referencia a Jumpatong (2002), el cual indica que para la electrocoagulación se requiere lo siguiente (Cuadro 2):

Cuadro 2. Variables del proceso.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Voltaje	17.5 y 19	V
Electrodo	Aluminio	-
pH	8 y 10	UpH

Experimentación y validación de resultados

Para la validación de los datos obtenidos se utilizó el espectrofotómetro Hanna, siguiendo el siguiente procedimiento:

Patrón:

1. Se selecciona el método de níquel rango bajo en el espectrofotómetro.
2. Se llena un vaso de precipitados con 25 mL de agua destilada y se agrega un paquete del reactivo A (HI 93740A-0), se agita hasta disolver.
3. Se agrega 1 mL de reactivo B (HI 93740B-0) y se agita para mezclar.
4. Se deja reposar durante 15 minutos la solución.
5. Se añade inmediatamente el reactivo C (HI 93740C-0) se agita y disuelve.
6. Se llena la cubeta con 10 mL y este será el blanco, el cual será nuestro valor de referencia libre de níquel.
7. Se coloca la cubeta, se cierra la compuerta y se presiona zero.
8. En este punto nuestro equipo Hanna se encuentra calibrado y listo para las muestras.

Muestra:

1. Se obtiene 1 mL de muestra y se diluye la solución 1:10, derivado que el rango del espectrofotómetro abarca de 0.000 a 1.000 ppm con una resolución mínima de 0.001 ppm y se vierte 2.5 mL de la muestra en 22.5 mL de agua destilada.
2. Se agrega un paquete del reactivo A (HI 93740A-0), se agita hasta disolver, es importante disolver todo el polvo derivado que durante la reacción Fenton se producen Fe^{3+} y este elemento en estado iónico puede causar interferencias.
3. Se agrega 1 mL de reactivo B (HI 93740B-0) y se agita para mezclar.
4. Se deja reposar durante 15 minutos la solución.
5. Se añade inmediatamente el reactivo C (HI 93740C-0) se agita y disuelve.
6. Una vez disuelto se llena la cubeta con 10 mL y se procede a colocar en el Hanna.
7. Se coloca en el lector, se cierra la compuerta y se le da leer.
8. La lectura obtenida por nuestro espectrofotómetro será 10 veces menor a la actual, por lo que se deberá multiplicar por 10, ejemplo: Si el instrumento marca una lectura de 0.689 ppm, la lectura real será de 6.890 ppm.

Posteriormente al haber obtenido los datos se procede a realizar análisis de medias por el método de Tukey al 95% de confianza, esto con la finalidad de tener un resultado estadístico el cual nos pueda decir si existe diferencia entre los experimentos

Resultados y discusión

En el Cuadro 3, se presentan los resultados obtenidos con respecto al tratamiento.

Cuadro 3. Resultados de remediación del proceso.

Voltaje (V)	pH (UpH)	Fenton (ppm)	Porcentaje de remoción Promedio a 30 min (%)	Porcentaje de remoción Promedio a 60 min (%)
17.5	8	150	48.39	52.22
17.5	8	300	0.17	17.56
17.5	8	450	0.61	01.22

Voltaje (V)	pH (UpH)	Fenton (ppm)	Porcentaje de remoción Promedio a 30 min (%)	Porcentaje de remoción Promedio a 60 min (%)
17.5	10	150	30.78	53.83
17.5	10	300	42.83	66.56
17.5	10	450	01.22	05.06
19.0	8	150	3.00	38.06
19.0	8	300	0.44	08.61
19.0	8	450	0.39	45.94
19.0	10	150	97.50	97.56
19.0	10	300	93.89	94.50

Rojas-Vargas, *et al.* (2020), obtuvieron resultados de remoción similares, ya que dichos investigadores obtuvieron como eficiencia máxima de remoción un 95 en un tiempo de 60 minutos y Jumpatong (2002) obtuvo resultados cercanos al 98 en un tiempo de 180 minuto, sin embargo, se puede observar que esta presente investigación obtuvo resultados del 97.50 de remoción de níquel a los 30 minutos, la mitad del tiempo con respecto a ellos.

De acuerdo a los resultados estadísticos Martín (2008) menciona que las condiciones de operación de la electrocoagulación dependen de la química del medio acuoso, especialmente de la conductividad y el pH, pero también influyen el tamaño de partículas, el tipo de electrodos, el tiempo de retención, el espaciamiento entre electrodos y la concentración de los contaminantes, siendo esto confirmado por el análisis ANOVA factorial.

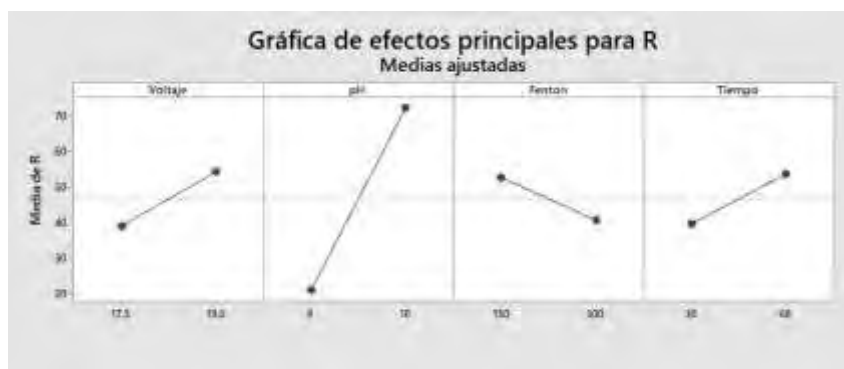


Figura 3. Gráficas de factoriales.

Conclusiones

Los tratamientos de oxidación avanzada, como es en este caso, una electrocoagulación adicionada con reactivo Fenton dio como resultado una remoción máxima promedio de 97.56, reduciendo de 60 ppm hasta 1.464 ppm de níquel en nuestra agua a 19 volts, 150 ppm de reactivo Fenton y a 10 UpH. Con respecto al tiempo se observa que la adición del reactivo Fenton al proceso de electrocoagulación si afecta, ya que autores como Rojas-Vargas *et al.* (2020) y Jumpatong, (2002) han obtenido resultados de 95 y 98 respectivamente en tiempos de 60 minutos a 180 minutos, siendo los resultados de remoción similares a los presentados en la presente investigación, sin embargo, los tiempos se ven reducidos desde un 50 hasta un 66 sin comprometer el porcentaje de remoción del níquel en el proceso.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICyDET) por el financiamiento de este proyecto con registro CP 1011 2110/2023 y a los estudiantes Carlos Posadas Cano y Ana Concepción Ramos Martínez del ITS Martínez de la Torre.

Literatura citada

- Ahmed, M. A., S. M., Ali, S, El-Dek. y A, Galal. 2013. Magnetite-hematite nanoparticles prepared by green methods for heavy metal ions removal from water. Mater. Sci. Eng. B SolidState Mater. Adv. Technol. 178(10):744–751.
- Ahmad, M. A., Y, Amano. y M., Machida.2010. Adsorption of heavy metals onto activated carbons derived from polyacrylonitrile fiber. Journal of Hazardous Materials 180(1-3): 552-560.

- Al Hamouz, O. C. S., M., Estatie y T. A., Saleh. 2016. Removal of cadmium ions from wastewater by dithiocarbamate functionalized pyrrole based terpolymers. Sep. Purif. Technol. 177: 101-109.
- Alomá-Vicente, I. C., G., Blázquez-García, M., Calero-de-Hoces, M. A., Martín-Lara, I. L., Rodríguez-Rico y A., Ronda-Gálvez. 2013. Panorama general entorno a la contaminación del agua por níquel. La bioabsorción como tecnología de tratamiento. Revista Cubana de Química 15(3): 226-280.
- Caviedes-Rubio, D. I., R. A., Muñoz-Calderón, A., Perdomo-Gualtero, D., Rodríguez-Acosta, y I. J., Sandoval-Rojas. 2015. Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. Revista Ingeniería y Región 13(1): 73-90.
- Cañizares-Villanueva, R. O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa Microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiología 42: 131-143.
- García, C., J. L., Moreno-Ortego José Luis, Hernández-Fernández, M. T. y A., Polo. 2002. Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. Ciencia y Medio Ambiente, 125-138.
- Gómez-Duarte, O. 2018. Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global. Revista de la Facultad de Medicina 66(1): 7-8.
- Guadarrama-Tejas, R., J., Kido-Miranda, G., Rolando-Antunez y M., Salas-Salgado. 2016. Contaminación del agua. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales 2(5): 1-10.
- Jumpatong. K. 2002. Electrocoagulation of some heavy metals. Tesis de Maestría, Chiang Mai University, Chiang Mai, Tailandia.

- Kalavathy, H., B., Karthik y L., Rose-Miranda. 2010 Removal and recovery of Ni and Zn from aqueous solution using activated carbon from *Hevea brasiliensis*: batch and column studies. *Colloids and surfaces B. Biointerfaces* 78(2): 291-302.
- Kumar, P., S., Ramalingam, V., Sathyaselvabala, S. D. Kirupha, A., Murugesan, A. y Sivanesan, S. 2012. Removal of Cd (II) from aqueous solution by agricultural waste cashew nut shell" *Korean J. Chemical. Engineering* 29: 756-768.
- Lehmann, M., A.I., Zouboulis y K. A., Matis. 1999. Removal of Metal Ions from Dilute Aqueous Solutions: a Comparative Study of Inorganic Sorbent Materials. *Chemosphere* 39(6): 81-892.
- López-Ramírez, M. A., Castellanos-Onorio, O. P., Susunaga-Miranda, M. A., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. R. y Montoya-Mendoza, J. 2019. Treatment of Leachates of a Controlled Landfill in Veracruz By Using the Fenton Method. *Nature Environment and Pollution Technology*, 18(1): 1-8.
- López-Ramírez, M. A., O. P., Castellanos-Onorio, F., Lango-Reynoso, M. R., Castañeda-Chávez, J., Montoya-Mendoza, C., Sosa-Villalobos y B., Ortiz-Muñiz. 2021 Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revision. *Enfoque UTE* 12(4): 76-87.
- Malik, P. K. y S. K. Saha. 2003. Oxidation of direct dyes with hydrogen peroxide using ferrous ion as catalys. *Separation and purification technology* 31: 241-250.
- Martín D. A., H. M. L., Rivera, M. Piña-Soberanis y S Pérez-Castrejon. 2008. Incidencia del gradiente de velocidad en la eficiencia de la electrocoagulación para remover arsénico en un reactor a flujo piston. *Interciencia, Revista de Ciencia y Tecnología* 33: 503-509.
- Mohammad, A. M., T. A. Salah Eldin, M. A., Hassan, and B. E., El-Anadouli, 2017. Efficient treatment of lead-containing wastewater by hydroxyapatite/chitosan nanostructures. *Arab. J. Chem.* 10(5): 683–690.

- Mohan, D., D. K. P., Singh, V. K., y Singh 2006. Trivalent chromium removal from wastewater using low cost activated carbon derived from agricultural waste material and activated carbon fabric cloth. *J. Hazard. Mater.* 135(1–3): 280–295.
- Pabón, S. E., R. A., Benitez, R. A., Sarria, y J. A., Gallo, 2000. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revision. *Entre Ciencia e Ingeniería* 14(27): 9-18.
- Ramírez-Franco, J. H., O. M., Martínez Ávila, y L. M., Fernández-Ospina. 2013. Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *Avances de Investigación en Ingeniería* 10(1): 42-49.
- Rickert, B., I., Chrus, y O., Smocholl. 2016. Protecting surface water for health Identifying, assessing and managing drinkingwater quality risks in surface-water catchments. WHO.
- Rojas-Vargas, A., Ricardo-Riverón, M., Penedo-Medina y E. Ojeda-Armaignac. 2020. Remoción de níquel por electrocoagulación del sistema $\text{Ni (II)-NH}_3\text{-CO}_2\text{-SO}_2\text{-H}_2\text{O}$ con electrodos de aluminio. *Tecnología Química* 4(2): 393-412, 2020.
- Sanz, J., J., Lombraña, y A., Luis. 2013. Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry* (70)56: 25-33.
- Tiemi-Muranaka, C. 2010. Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol. Tesis de Doctorado, Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Trivedi, P. y L., Axe. 2000. Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides. *Environ. Sci. Technol* (34)11: 2215–2223.

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL REACTIVO FENTON COMO TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON NÍQUEL

Carlos Posadas Cano^{394*}, Miguel Ángel López Ramírez³⁹⁴, Gerardo González Gómez³⁹⁴
y Olaya Pirene Castellanos Onorio³⁹⁵

Resumen

La escasez de agua y la contaminación de grandes cuerpos hídricos por sustancias emergentes justifican la necesidad de desarrollar nuevos métodos de tratamiento de aguas sobre todo por el incremento de metales pesados siendo el níquel uno de ellos ya que derivado de los sistemas de producción industrial representa un grave problema a nivel ambiental debido niveles de toxicidad para los organismos con los que interactúen una vez descargados y siendo algunos tratamientos ineficientes para su eliminación en la demanda hídrica. Es por eso que, en los últimos años, los procesos de oxidación avanzada entre ellos el reactivo Fenton ha sido empleado para tratar aguas con diversos tipos de contaminantes y dar una solución efectiva. Las investigaciones de este tipo en las cuales se utiliza el reactivo Fenton han sido comúnmente realizadas empleando peróxido de hidrógeno y hierro, sin embargo, por la naturaleza de las aguas, los diferentes tipos de emisiones de residuos e incluso la concentración de este reactivo motivan a seguir realizando experimentaciones para comprender su alcance y magnitud de este tratamiento con la finalidad mejorar los resultados y ampliar el rango de aplicaciones. Es por eso que la presente investigación desarrollada a nivel laboratorio evalúa dos procesos siendo el primero de estos, un proceso típico de tratamiento de aguas residuales a partir del sulfato de aluminio a 300 ppm y 600 ppm de sulfato y a una concentración inicial de 60 ppm de níquel inicial modificando el medio acuoso a un pH 2 y 3 para estudiar su efecto en la eliminación del níquel en un medio seguro y el segundo proceso utilizando el reactivo Fenton en proporciones similares y mismo medio. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ya que solo pudo remover un 5.6%.

Palabras clave: contaminante, toxicidad, oxidación avanzada

³⁹⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. *Autor de correspondencia: 210i0107@martineztorre.tecnm.mx

³⁹⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz.

Introducción

El agua es un recurso natural indispensable para que las personas, animales y plantas puedan vivir. Además, si se habla en el caso de las personas, la obtención o captación de este recurso puede llegar a ser fundamental para los fines que se le piense dar. Por lo tanto, la fuente hídrica, de donde se abastecerá una comunidad, debe ser caracterizada de la forma más completa posible y conforme a la normativa de uso de agua destinada al consumo humano (Lozano y Lozano, 2015). Sin embargo, las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas (Guzmán, *et al.*, 2013). Asimismo, los recursos hídricos del planeta están sometidos a contaminación física, química y/o biológica. El avance de la actividad humana (industria, agricultura, ganadería, entre otras), el crecimiento demográfico, el desarrollo de las ciudades y la falta de medidas y programas para dar respuesta a dichos cambios, genera un ambiente que favorece al avance de la contaminación. (Ramírez y Jaramillo; 2015).

De esta manera, la contaminación aumentó en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina, entre 1990 y 2010, por lo que cientos de millones de personas se encuentran en riesgo de contraer enfermedades que pueden ser letales, entre ellas el cólera, que es una enfermedad transmitida por cuerpos de agua contaminados, según alerta la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales más significativos en la actualidad, cuyas tres causas principales son la industrialización, agricultura y urbanización (Álvarez *et al.*, 2017, Fernandez *et al.*, 2018). Debido a la toxicidad de los mismos, ya que son no degradables y por lo tanto persistentes en la naturaleza, se acumulan en la cadena alimenticia donde con el tiempo alcanzan niveles perjudiciales en los sistemas vivos. La rápida industrialización ha incrementado enormemente la tasa de liberación de metales, en particular Ni, Zn y Cd, y su ingreso a los sistemas acuáticos. Entre las actividades más importantes se pueden destacar las curtiembres, textiles, metalúrgicas, fábricas de galvanizado, refinerías, farmacéuticas y producción de pesticidas y fertilizantes (Häder *et al.*, 2020; Seenivasagan *et al.*, 2022). En particular, la actividad minera, catalogada como actividad del sector primario, libera al ambiente importantes cantidades de Ni y Zn, entre otros metales, alcanzando aguas superficiales y subterráneas (Sanliyuksel, *et al.*, 2016). En el futuro se

espera una mayor demanda de estos metales, ya que las baterías con cátodos de Ni resultan con mayor eficiencia y con una más alta densidad energética, combinados con ánodos de Zn y Cd (Yang *et al.*, 2021) Si bien algunos metales pesados como el Ni y Zn cumplen una importante función como micronutrientes, cuando se encuentran en altas concentraciones producen efectos adversos en los organismos impactando y afectando el funcionamiento y estructura de los ecosistemas (Nordberg *et al.*, 2007, Kumar *et al.*, 2016).

El níquel está presente en el medio ambiente de manera natural, siendo esencial para el crecimiento de muchas especies de microorganismos y plantas y para algunas especies de vertebrados. Entonces, se puede suponer que una exposición a este metal en dosis reducidas no es nociva para el ser humano, sin embargo, una exposición continuada a ambientes altamente contaminados puede potenciar la aparición de patologías como dermatitis, fibrosis pulmonar, enfermedades cardiovasculares o de riñón e incluso cáncer. Debido al uso extensivo de este metal en la industria, se liberan grandes cantidades de Ni a la atmósfera, aguas y suelos. Las fuentes de contaminación más comunes incluyen los procesos de producción y procesamiento de sus derivados, el reciclaje de productos que contienen este metal y la eliminación de residuos y lodos activados conteniendo Ni. El níquel mayormente entra en el medio ambiente a través del aire, siendo liberado por las chimeneas industriales y adhiriéndose a las partículas de polvo. Su entrada al medio acuático se puede dar a través de la degradación física y química de rocas y suelos, la deposición de partículas de la atmósfera que lo contienen y las descargas de aguas residuales tanto industriales como municipales, además las condiciones ácidas de los suelos favorecen su movilización y filtración hacia las aguas subterráneas (Soler, 2014), siendo los tratamientos municipales inadecuados uno de los principales focos rojos ya que al no tratar este metal se moviliza siendo necesario experimentar con tratamientos nuevos o poco convencionales.

Los procesos de oxidación avanzada son caracterizados por la generación de radicales hidroxilos ($\text{HO}\cdot$) y por el potencial de transformación de una amplia gama de moléculas orgánicas en compuestos no nocivos como CO_2 , y H_2O . Dentro de algunos tipos de POA se encuentran la degradación foto catalítica homogénea y heterogénea. Los procesos homogéneos emplean ozono y peróxido de hidrógeno para la descomposición catalítica en un medio ácido y en presencia de iones ferrosos (reacción de Fenton y Foto-Fenton) (Cortés-González, 2018).

El proceso Fenton (Ziembowicz y Kida, 2022), definido como una mezcla de hierro ferroso (catalizador) y peróxido de hidrógeno (agente oxidante) es una tecnología eficaz que depende de varias variables operativas, a saber, complejidad de la matriz, carga y tipo de materia orgánica, temperatura, concentración de $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, concentración de H_2O_2 , pH inicial y tiempo de reacción. La oxidación de Fenton es una cadena compleja de reacciones del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con iones Fe (II) en solución ácida que genera predominantemente radicales $\text{HO}\cdot$ altamente reactivos. Este proceso se basa en el trabajo pionero de Fenton, que utilizó una mezcla acuosa de H_2O_2 y sal de Fe (II) (es decir, el reactivo de Fenton) para oxidar el ácido tartárico. Más tarde, 2022 propusieron un mecanismo radical para este proceso y sugirieron que los radicales $\text{HO}\cdot$ son los oxidantes reales. Las principales fuentes de $\text{HO}\cdot$ en fase acuosa se producen por irradiación solar sobre iones. En las últimas décadas, se han realizado numerosos estudios altamente innovadores sobre las reacciones de Fenton en la atmósfera y los ambientes acuáticos, y se ha revisado una comprensión integral de las fuentes y sumideros de los radicales $\text{HO}\cdot$, incluidas sus implicaciones en las aguas naturales y en la atmósfera (Figura 1).

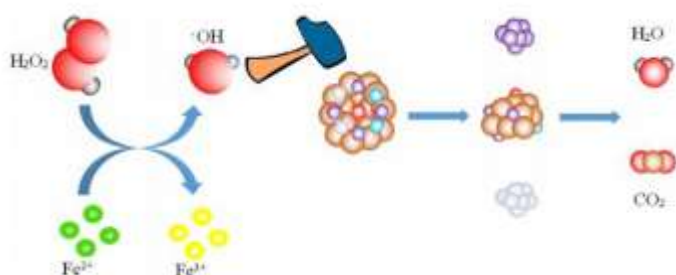


Figura 1. Representación gráfica del comportamiento Fenton homogéneo. Fuente: Zhang *et al.* (2019).

Materiales y métodos

Área de estudio

La presente experimentación se desarrolló en los campus del Tecnológico Nacional de México de Boca del Río, Veracruz y Martínez de la Torre.

Metodología

Preparación de soluciones

Las soluciones a 60 ppm de níquel en 500 mL de agua destilada, se prepararon con 137 mg de sulfato de níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$) derivado que dicho compuesto químico tiene una pureza del 98% y un peso molecular de 263 uma de las cuales el níquel tiene un peso de 58.69 uma. A continuación, se muestra el procedimiento para el cálculo del sulfato de níquel necesario, empezando por determinar el porcentaje de níquel en el compuesto como se expresa en las ecuaciones 1 y 2:

$$RSN/N = \frac{Ni_{uma}}{SN_{uma}} * \frac{Pureza}{100} \quad (1)$$

RSN/N= Relación de sulfato de níquel y níquel

Ni_{uma} = Peso molecular del níquel

SN_{uma} = Peso molecular del sulfato de níquel

$$RSN/N = \frac{58.69}{263} * \frac{98}{100} = 0.219 \quad (2)$$

Una vez encontrada la relación de níquel y sulfato de níquel, se procede a calcular la cantidad necesaria, recordando que para 500 mL se necesitan 30 mg de níquel, por lo que se procede a calcular el sulfato necesario con las ecuaciones 3 y 4:

$$Ni = \frac{30 \text{ mg}}{RSN/N} \quad (3)$$

$$Ni = \frac{30 \text{ mg}}{0.219} = 137 \text{ mg} \quad (4)$$

Tratamientos

Para la experimentación de los tratamientos del sulfato de aluminio y Fenton se propusieron las relaciones propuestas por López-Ramírez *et al.* (2019), las cuales corresponden a 150 ppm y 300 ppm en soluciones de 500 mL las cuales garantizan escenarios poco saturados, ya que un exceso de reactivo puede inhabilitar las reacciones con un pH de ácido de 2 y 3 unidades de pH (UpH), ambas experimentaciones se realizarán por triplicado y en un tiempo de 1 hora de proceso.

Experimentación y validación de resultados

Para la validación de los datos obtenidos se utilizó el espectrofotómetro Hanna, siguiendo el siguiente procedimiento:

Patrón:

1. Se selecciona el método de níquel rango bajo en el espectrofotómetro.
2. Se llena un vaso de precipitados con 25 mL de agua destilada y se agrega un paquete del reactivo A (HI 93740A-0), se agita hasta disolver.
3. Se agrega 1 mL de reactivo B (HI 93740B-0) y se agita para mezclar.
4. Se deja reposar durante 15 minutos la solución.
5. Se añade inmediatamente el reactivo C (HI 93740C-0) se agita y disuelve.
6. Se llena la cubeta con 10 mL y este será el blanco, el cual será nuestro valor de referencia libre de níquel.
7. Se coloca la cubeta, se cierra la compuerta y se presiona zero.
8. En este punto nuestro equipo Hanna se encuentra calibrado y listo para las muestras.

Muestra

1. Se obtiene 1 mL de muestra y se diluye la solución 1:10, derivado que el rango del espectrofotómetro abarca de 0.000 a 1.000 ppm con una resolución mínima de 0.001 ppm y se vierte 2.5 mL de la muestra en 22.5 mL de agua destilada.
2. Se agrega un paquete del reactivo A (HI 93740A-0), se agita hasta disolver, es importante disolver todo el polvo derivado que durante la reacción Fenton se producen Fe^{3+} y este elemento en estado iónico puede causar interferencias.
3. Se agrega 1 mL de reactivo B (HI 93740B-0) y se agita para mezclar.
4. Se deja reposar durante 15 minutos la solución.
5. Se añade inmediatamente el reactivo C (HI 93740C-0) se agita y disuelve.
6. Una vez disuelto se llena la cubeta con 10 mL y se procede a colocar en el Hanna.
7. Se coloca en el lector, se cierra la compuerta y se le da leer.
8. La lectura obtenida por nuestro espectrofotómetro será 10 veces menor a la actual, por lo que se deberá multiplicar por 10, ejemplo: Si el Hanna marca una lectura de 0.689 ppm, la lectura real será de 6.890 ppm.

Posteriormente al haber obtenido los datos de las experimentaciones se realizó un análisis de medias por el método de Tukey al 95% de confianza, esto con la finalidad de tener un resultado estadístico el cual nos pueda decir si existe diferencia entre los experimentos.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se presentan los resultados obtenidos con respecto al tratamiento con sulfato de aluminio.

Cuadro 1. Experimentación con sulfato de aluminio.

Concentración de sulfato de amonio	pH	Níquel antes del tratamiento (ppm)	Níquel después del tratamiento (ppm)	Porcentaje de remoción
300 ppm	2	60	60	0
		60	60	0
		60	60	0
600 ppm	2	60	60	0
		60	60	0
		60	60	0
300 ppm	3	60	60	0
		60	60	0
		60	60	0
600 ppm	3	60	60	0
		60	60	0
		60	60	0

Analizando el tratamiento por sulfato de aluminio encontramos que en la presente investigación no fue eficiente, esto lo comprueba Pinillos-Torres (2013), el cual indica que la precipitación química, la filtración por medio de membranas, la reducción electrolítica, la extracción por medio de solventes, el intercambio iónico y la adsorción presentan inconvenientes como es la

baja deficiencia y aplicabilidad, lo cual se demuestra en la presente investigación, ya que tratar el agua sintética se obtuvieron eficiencias nulas debido a que solo se presenta intercambio iónico, y que no hay ningún proceso intermedio, como generación de iones hidroxilos o electrocoagulación, además que el intercambio iónico o la precipitación química a pesar de ser sencillas y fáciles de aplicar, en procesos industriales es costoso, esto debido al mantenimiento que se le proporciona al equipo por lo que no es recomendable, esto lo establece Huisman *et al.* (2006) mientras que Ramos (2008), trabajó con aguas residuales con alto contenido de metales tóxicos y aniones (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , F^- y NO_3^-), provenientes de una industria de recubrimiento anticorrosivo de partes metálicas. Se aplicó la precipitación química y obtuvo sulfato de 97%, nitrato 99% y fluoruro 71%, sin embargo, la reducción de metales pesados, no fue viable y se generaron subproductos, altamente tóxico y que requieren un manejo especial y una disposición final adecuado, mencionado también por los autores Espinosa-Otálora (2018). En el Cuadro 2, se muestran los resultados obtenidos en el experimento con el reactivo Fenton.

Cuadro 2. Experimentación con reactivo Fenton.

Concentración de reactivo Fenton	pH	Níquel antes del tratamiento (ppm)	Níquel después del tratamiento (ppm)	Porcentaje de remoción
300 ppm	2	60	60	0
(Hierro 75 mg		60	60	0
0.22 H_2O_2)		60	60	0
600 ppm	2	60	60	0
300 ppm		60	60	0
(Hierro 150 mg		60	60	0
0.22 H_2O_2)	3	60	60	0
300 ppm		60	60	0
(Hierro 75 mg		60	60	0
0.22 H_2O_2)	3	60	60	0
600 ppm		60	60	0
300 ppm		60	60	0

Concentración de reactivo Fenton	pH	Níquel antes del tratamiento (ppm)	Níquel después del tratamiento (ppm)	Porcentaje de remoción
(Hierro 150 mg 0.22 H ₂ O ₂)		60	50	17%

La baja eficiencia del reactivo se debe que bajo condiciones ácidas (pH 2-4), este reactivo es un poderoso oxidante de compuestos orgánicos, sin embargo, al ser de naturaleza inorgánica por ser un metal, no presentó modificaciones (Oller *et al.*, 2011).

De acorde a los resultados estadísticos, no se encontraron remociones distintas entre los procesos, ya que, al ser analizados por la prueba de Tukey, indica que incluso el proceso de oxidación avanzado es estadísticamente similar al proceso típico.

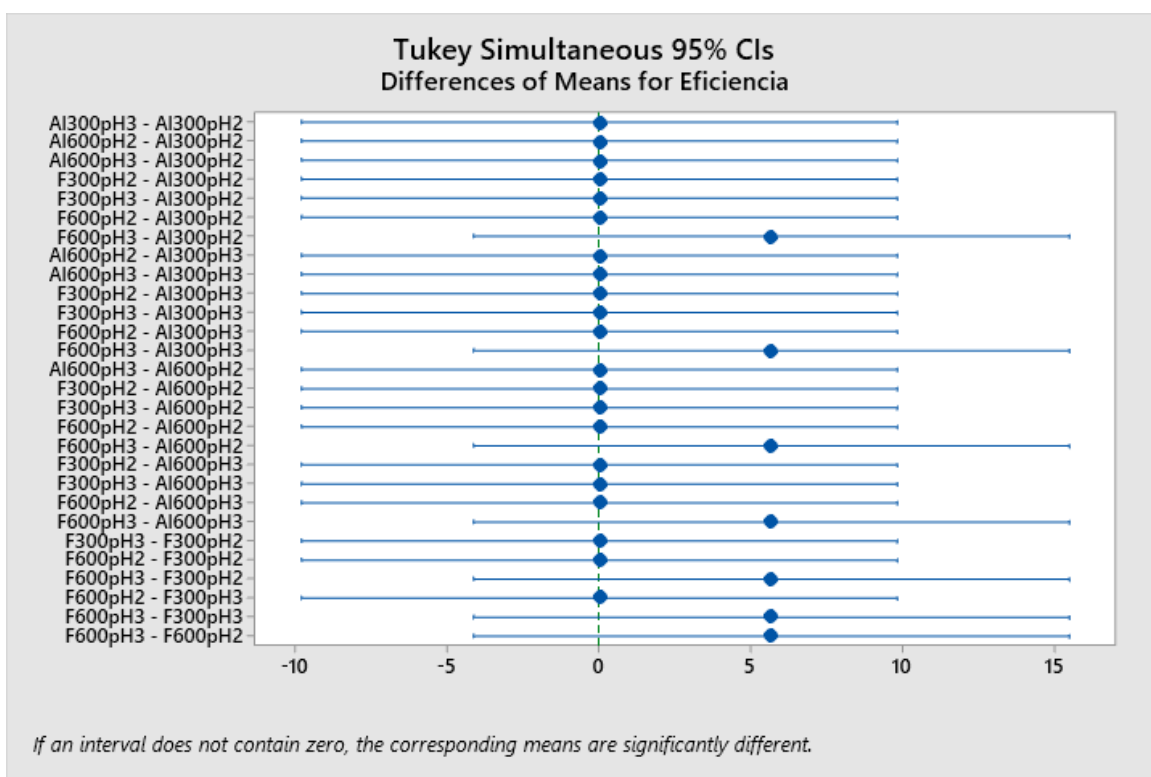


Figura 2. Estadísticos de Tukey entre factores.

Conclusiones

Al comparar la disminución del níquel (II) en las muestras de agua residual podemos observar que, la muestra tratada con sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$ no tuvo disminución alguna por lo que el intercambio iónico como tratamiento para su reducción o eliminación, no es el adecuado, ya que solo realiza el intercambio iónico por lo que la solución queda con las concentraciones y compuestos iniciales. El reactivo Fenton no logró disminuir la carga del contaminante, sin embargo, hubo presencia de lodos durante el proceso, siendo el principio de coagulación uno de los tratamientos básicos más utilizados, siendo por arrastre una posible eliminación del contaminante, sin embargo, por viabilidad financiera el estudio de los lodos no se pudo realizar.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICyDET) por el financiamiento de este proyecto con registro CP 1011 2110/2023 y a los estudiantes Carlos Posadas Cano y Ana Concepción Ramos Martínez del ITS Martínez de la Torre.

Literatura citada

- Álvarez, A., J.M., Saez, J.S., Davila-Costa, V.L., Colin, M.S., Fuentes, S.A., Cuozzo, *et al.* 2017. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere* 166: 41-62.
- Cortés-González, V. H. 2018. Eliminación de contaminantes emergentes de aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada [Tesis de Ingeniería, Universidad Estatal Amazónica].

- Espinosa-Otálora, R. D.y S., Zuluaga-Orjuela. 2018. Evaluación de la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio. Bachelor's Thesis, Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Fernández, P.M., S.C., Viñarta, A.R., Bernal, y E.L., Cruz. 2018. Bioremediation strategies for chromium removal: Current research, scale-up approach and future perspectives. *hemosphere* 208:, 139-148.
- Guzmán, L., A., Villabona, C., Tejada, y R., García. 2013. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Rev. UDCA Act. y Div. Cient: Revista digital* 16(1): 253-262.
- Häder, D. P., A. T., Banaszak, V. E., Villafañe, M. A., Narvarte, R. A., González, and E. W., Helbling. 2020. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total environment*.
- Huisman, J. L., G., Schouten, and C. Schultz. 2006. Biologically produced sulphide for purification of process streams, effluent treatment and recovery of metals in the metal and mining industry. *Hydrometallurgy*, 83:106-113.
- Kumar, R., R.K., Mishra, V., Mishra, A., Qidwai, A., Pandey, S., Shukla, *et al.* 2016. Detoxification and tolerance of heavy metals in plants. *In: A. Pandey (ed.). Plant Metal Interaction*.
- López-Ramírez, M. A., O. P., Castellanos-Onorio, M. A., Susunaga-Miranda, F., Lango-Reynoso, M. R. Castañeda-Chávez, y J., Montoya-Mendoza. 2019. Treatment of Leachates of a Controlled Landfill in Veracruz By Using the Fenton Method. *Nature Environment and Pollution Technology* [en línea], 18(1): 1-8.

- Lozano, W. y G., Lozano. 2015. Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio.
- Nordberg, G., B.A., Fowler, M., Nordberg, and L.T., Friberg. 2007. Introduction-General Considerations and International Perspectives. In: G. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg & L.T. Friberg (eds.). Handbook on the toxicology on metals.
- Oller, I., S., Malato, and J. A., Sánchez-Pérez. 2011. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. Science of The Total Environment 409(20): 4141-4166.
- Pinillo-Torres, J. A. 2013. Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste. Master's Thesis, Uni-versidad Nacional de Ingeniería, Lima. Perú.
- Ramos, K. 2008. Tratamiento de desechos líquidos tóxicos de una industria de recubrimiento metálico por precipitación e intercambio iónico. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal 3: 87-93.
- Ramírez, H. y J., Jaramillo. 2014. Uso de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. Ingeniería Solidaria 10(17): 139-151.
- Sanliyuksel Yucel, D., N., Balci, and A., Baba. 2016. Generation of acid mine lakes associated with 718 abandoned coal mines in Northwest Turkey. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 70: 757-782.
- Seenivasagan, R., A., Karthika, R., Kalidoss, and J. A., Malik. 2022. Bioremediation of Polluted Aquatic Ecosystems Using Macrophytes. In: Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management: Principles, Monitoring and Remediation.

- Soler Viladrich, L. 2014. Estudio del proceso de biosorción del níquel de aguas residuales mediante residuos de raspo de uva (Projecte/Treball Final de Carrera). UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria Química
- Yang, J., Z., Wang, Z., He, T., Zhang, W., Gong, M., Chen, *et al.* 2021. High-Capacity Iron-Based Anodes for Aqueous Secondary Nickel-Iron Batteries: Recent Progress and Prospects. *ChemElectroChem*, (8)2, 274-290.
- Zhang, M. H, H., Dong, L., Zhao, D. X., Wang, and D., Meng. 2019. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. *Sci Total Environ.* 20(670), 110-121. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.180. Epub 2019 Mar 15. PMID: 30903886.
- Ziembowicz, S. and M., Kida. 2022. Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 296, 134041.

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA VEGETAL DE DESECHO

Estefany del Carmen Huesca Velázquez³⁹⁶, Dalia Guadalupe Mendoza López³⁹⁶,
Verónica Lango Reynoso³⁹⁷, María del Refugio Castañeda Chávez³⁹⁶ y Fabiola Lango Reynoso^{396*}

Resumen

En la presente investigación se evaluó la capacidad de degradación de materia orgánica vegetal que se origina en parques y jardines de una institución educativa en conjunto del agua de un estanque acuícola, con el fin de darle un tratamiento a dichos desechos que se generan diariamente, ocasionando una problemática en el lugar. Se recolectó una muestra representativa de biomasa vegetal para proceder a la identificación sus componentes en: tipos de hojas, frutos, tierra y demás residuos orgánicos. Para ello, se implementó un sistema de ensayos en contenedores con la misma cantidad de biomasa vegetal y agua. Se manejaron tres distintas presentaciones de biomasa vegetal: entera, semi-picada y molida por triplicado, utilizando agua de un estanque acuícola como medio de sustrato para la degradación de la biomasa vegetal, y un blanco para cada tratamiento con agua potable en un periodo de 37 días. Durante el tiempo en el que se ejecutó la prueba, se monitorearon parámetros físico-químicos (T°, pH, OD y PSI) mediante una sonda multiparamétrica diariamente y se realizaron análisis en laboratorio para determinación de sólidos totales mediante la NMX-AA-034-SCFI-2015 y análisis de materia orgánica dos veces por semana. De acuerdo con el registro de parámetros, no se presentaron diferencias entre los tratamientos. Con respecto a los análisis realizados en laboratorio de determinación de sólidos totales y materia orgánica se presentaron diferencias estadísticas significativas al aplicarse la prueba de Tukey $p < 0.05$ en dos de los tratamientos de hojas semi-picadas. Mismos tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en la semana dos y tres con el resto de los demás días y tratamientos $p < 0.05$.

Palabras clave: materia orgánica, desintegración, residuos vegetales

Introducción

La disposición final de los residuos orgánicos generados diariamente en parques y jardines aumenta la problemática para los rellenos sanitarios y el suelo, al no recibir algún tratamiento

³⁹⁶ Instituto Tecnológico de Boca del Río / Tecnológico Nacional de México. *fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx
m22990074@g.bdelrio.tecnm.mx

³⁹⁷ Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz.

para su desecho o en dado caso, su reutilización y aprovechamiento (Agüero *et al.*, 2014). Unos de los componentes principales de estos residuos son las partes vegetales como flores, frutos, hojas y ramas denominados hojarasca, los cuales caen al suelo por su desprendimiento de los árboles que componen la vegetación de un lugar; estos desechos vegetales contienen nutrientes importantes (Barajas-Guzmán y Álvarez-Sánchez, 2003). Por otro lado, los pobladores de zonas agrícolas carecen del conocimiento para aprovechar los residuos orgánicos y obtener nutrientes de fácil producción a bajo costo para sus cultivos; mismos que benefician sus cosechas y el suelo de sus parcelas (Palacin, 2017).

Los nuevos sistemas productivos requieren mantener y estabilizar la producción en el tiempo, reducir la entrada de insumos externos y favorecer los ciclos de nutrientes que permiten el uso adecuado del suelo y la conservación de los recursos naturales (Paleologos *et al.*, 2017). Así como generar prácticas que transformen los desechos orgánicos en fertilizantes, para reducir los costos de producción en las cosechas y que sean aceptados por la sociedad (Varona, 2012). Los fertilizantes orgánicos generados a partir de residuos acuícolas promueven practicas de sustentabilidad económica y ambiental, puesto que el contenido de estos productos poseen altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio que satisfacen las demandas nutricionales de las plantas para su óptimo desarrollo durante su cultivo.

En Colombia, una empresa realizó el procesamiento de residuos orgánicos generados del sector productivo, utilizando estiércol, aserrín, desechos vegetales y acuícolas con la finalidad de utilizar el producto final en el sector agrícola para generar cultivos rentables y amigables con el ambiente (Noguera, 2013). La aplicación de fertilizantes orgánicos es una buena alternativa para el desarrollo de cultivos agrícolas, ya que permite a las plantas tomar del suelo los nutrientes de una forma más natural. Esta tecnología reduce los costos de producción, mediante la obtención de materia prima utilizada a bajo costo para la elaboración de los productos, beneficiando a los productores al incrementar su rentabilidad (Tobar, 2016). Actualmente, se requiere implementar sistemas para la recolección y segregación de los desechos vegetales. Si esto se logra, entonces se contribuiría al desarrollo sustentable de la sociedad (Mc Dougall *et al.*, 2004).

La gestión del destino final de los desechos de la pesca y acuicultura se ha convertido en un problema importante para el ambiente al no recibir algún tratamiento para su desecho, dichos subproductos equivalen al 60% de la producción que se desecha (cabeza, huesos, piel,

vísceras y agua del estanque), de los cuales son buena fuente de fósforo, potasio y nitrógeno, provocando un interés en los estudios e investigaciones para la producción de abonos orgánicos (Maquén-Perleche *et al.*, 2023).

El objetivo de este estudio fue establecer los tiempos de degradación de la biomasa vegetal en un biorreactor experimental con agua acuícola madura, variando el tamaño de la partícula vegetal para una propuesta de elaboración de un biofertilizante orgánico.

Materiales y métodos

Área de estudio

La prueba se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (TecNM/ITBOCA) en el edificio X, espacio; donde se instalaron biorreactores para medir los tiempos de degradación de la materia orgánica. El Instituto Tecnológico se encuentra ubicado en la carretera Veracruz-Córdoba Km 12, en el municipio de Boca del Río, Veracruz, México; se localiza geográficamente entre los paralelos 19° 05' 48 de latitud norte y los meridianos 96° 06' 31 de longitud oeste, a una altitud de 0 a 10 msnm. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad; con rango de temperatura de 24 - 26°C y rango de precipitación anual de 1 500 - 2 000 mm (INEGI, 2010) (Figura 1).

Se llevó a cabo la selección de una muestra representativa de 10 Kg de biomasa vegetal (hojarasca) completamente al azar de una institución educativa recolectada ese mismo día por el personal de limpieza, para proceder a su clasificación por cantidad y tipo de hojas.

Posteriormente, se realizó el procesamiento de la biomasa vegetal “seca” para obtener los diferentes tamaños de partículas necesarios para el bioensayo, para ello se utilizaron una picadora de forraje para la obtención de partículas de 3 a 5 cm (Figura 2a) y un molino de carne para el tratamiento de pulverización (Figura 2b).



Figura 1. Localización del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río.



Figura 2. Maquinaria utilizada durante el estudio. a) Picadora de forraje. b) Molino para carne.

Diseño y unidad experimental

Mediante un diseño experimental por triplicado, se llevó a cabo la inoculación de biorreactores con biomasa vegetal en tres presentaciones (entera, picadas y molida) con 3 kg cada uno y 100 L de agua de un estanque acuícola maduro como inóculo (Figura 3).

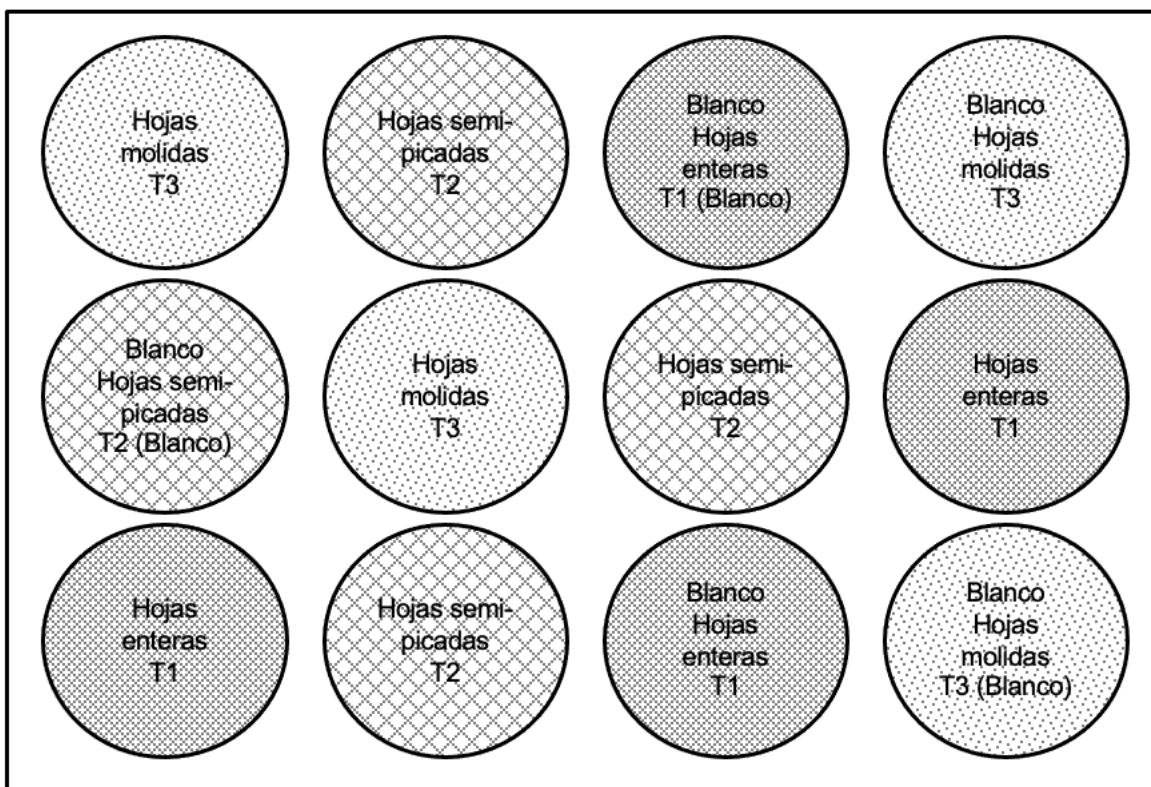


Figura 3. Esquema de la distribución de los biorreactores en el área experimental.

Muestreos

Durante 32 días se monitorearon los parámetros físico-químicos Oxígeno Disuelto (OD), Potencial de Hidrógeno (pH), Presión en libras que por sus siglas en inglés Pound-force per Square Inch (PSI) y Temperatura (t°), mediante una sonda multiparamétrica HI98199 marca Hanna. Dos veces por semana se tomaron muestra del líquido obtenido de la degradación de las hojas en el agua de procedencia acuícola, para realizar análisis de Sólidos Totales y Materia Orgánica mediante la norma NMX-AA-034-SCFI-2015 en el Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA) del Itboca.

Análisis estadístico

Para la evaluación estadística se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para detectar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, mediante el software de SigmaPlot 12.1.

Resultados y discusión

Recolección y separación de desechos vegetales

En la institución donde se colectó la muestra de 10 kg, donde su colecta diaria es de 80 a 100 kg de biomasa vegetal, sin manejo para su aprovechamiento, la caracterización de la biomasa se muestra en la Figura 4. Donde se observó el predominio de hojas de distintos árboles, recolectados al azar (Figura 4).

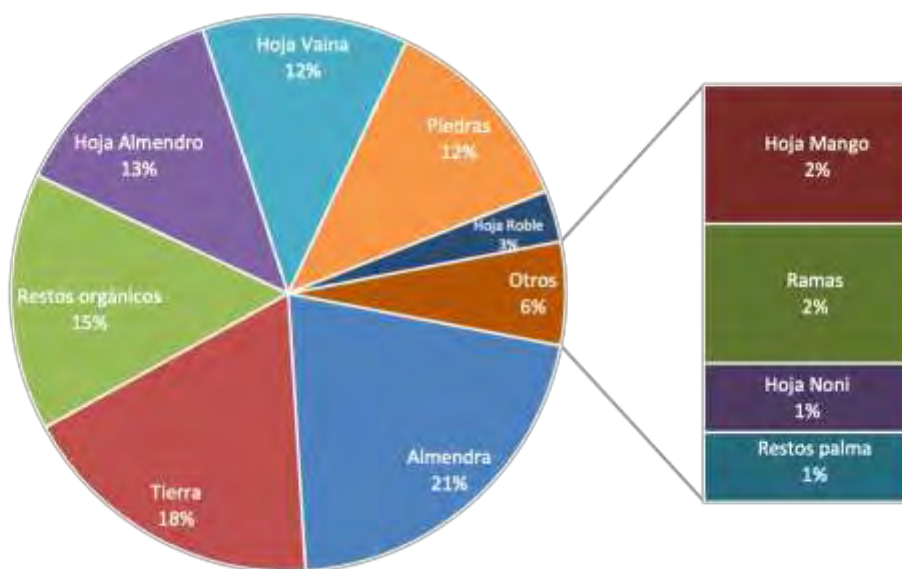


Figura 4. Composición de la biomasa en porcentaje recolectada al azar en la institución.

Dentro de la variedad de hojas de árboles se encontraron: Almendro (*Terminalia catappa*) 13.21%, Roble (*Quercus robur*) 3.26%, Mango (*Mangifera indica*) 0.85%, Vaina (*Leucacema leucocephala*) 0.7% y Noni (*Morinda citrifolia*) 0.43%; siendo la variedad promedio de árboles que se encuentran en las Instituciones, parques y jardines de la localidad de Veracruz. En un estudio realizado en una institución de Colombia, se implementó un programa de reutilización

y aprovechamiento de desechos, donde, se recolectaron hojarasca y poda de jardines, los cuales no se les daba ningún uso. El material de desecho mayoritario fue constituido por hojarasca, en específico hojas de árboles que se encontraban dentro de la institución, con un total de 1,600 kg durante cuatro semanas, que se utilizaron como pacas digestoras como medio de degradación y retorno de los nutrientes al suelo (Ochoa, 2019). Bustamante (2017), realizó una investigación para producir etanol a partir de residuos de poda de parques y jardines, donde la primera fase del estudio fue realizar el reconocimiento de la hojarasca que se obtienen en dos parques comunes, la recolección se llevó a cabo durante la poda realizada por el personal municipal, logrando reunir un total de 165.66 kilogramos, para poder darle un tratamiento de identificación y corte para poder homogenizar la biomasa vegetal obtenida. Se identificaron 10 especies representativas de los parques de la zona de Jaén, Perú con potencial para darles un tratamiento en la obtención de etanol y así reducir los residuos orgánicos que se trasladan al relleno sanitario, coincidiendo con el presente estudio en la generación de grandes cantidades de desechos orgánicos los cuales no se les da ningún tratamiento con un gran potencial de aprovechamiento.

Monitoreo de parámetros físico-químicos

De acuerdo con el monitoreo diario de parámetros, se observó que, a partir del día 32, se estabilizaron las lecturas en todos los tratamientos (Figura 5).

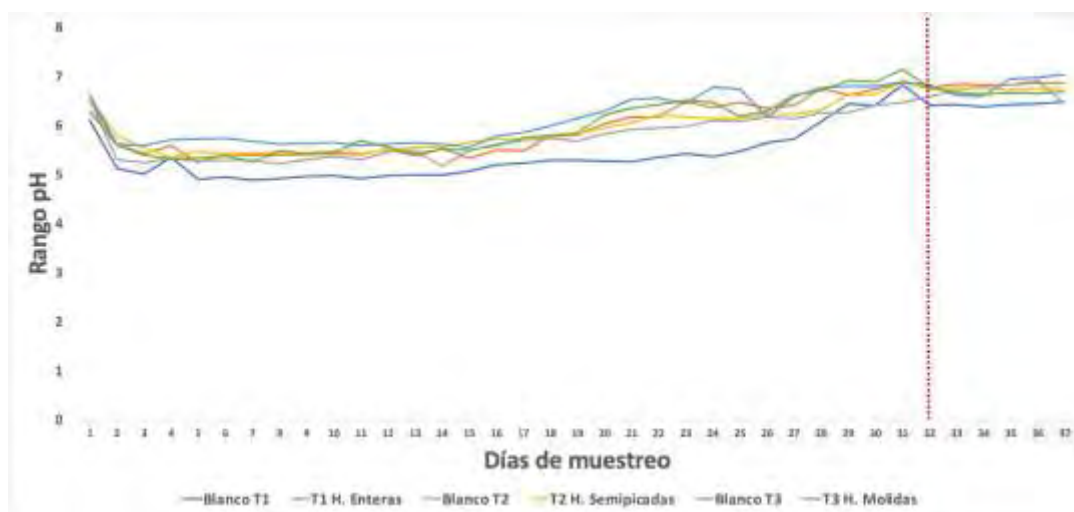


Figura 5. Comportamiento del pH durante el periodo de la prueba en los tratamientos con su blanco y el promedio de las repeticiones.

Durante el periodo de evaluación, no se observaron diferencias entre las lecturas de Oxígeno Disuelto, Temperatura y PSI al estar expuestos a las mismas condiciones ambientales (Figura 6). Concuenda con lo documentado por Álvarez (2013), donde realizó diferentes pruebas para producir compost a base de hojarasca y residuos orgánicos generados en viviendas, instituciones y parques, durante 28 días monitoreó los parámetros físico-químicos del proceso de degradación, donde el pH se estabilizó a partir del día 24 en todos los tratamientos y la temperatura se comportó de manera similar entre tratamientos en toda la prueba.

De acuerdo con los parámetros establecidos para la producción del compostaje de la FAO en 2013, el pH presentó una caída debido a la formación de ácidos en los compuestos orgánicos, posteriormente se debe de comenzar a alcanzar debido a la conversión del amonio en amoniaco y lograr valores cercanos al neutro.

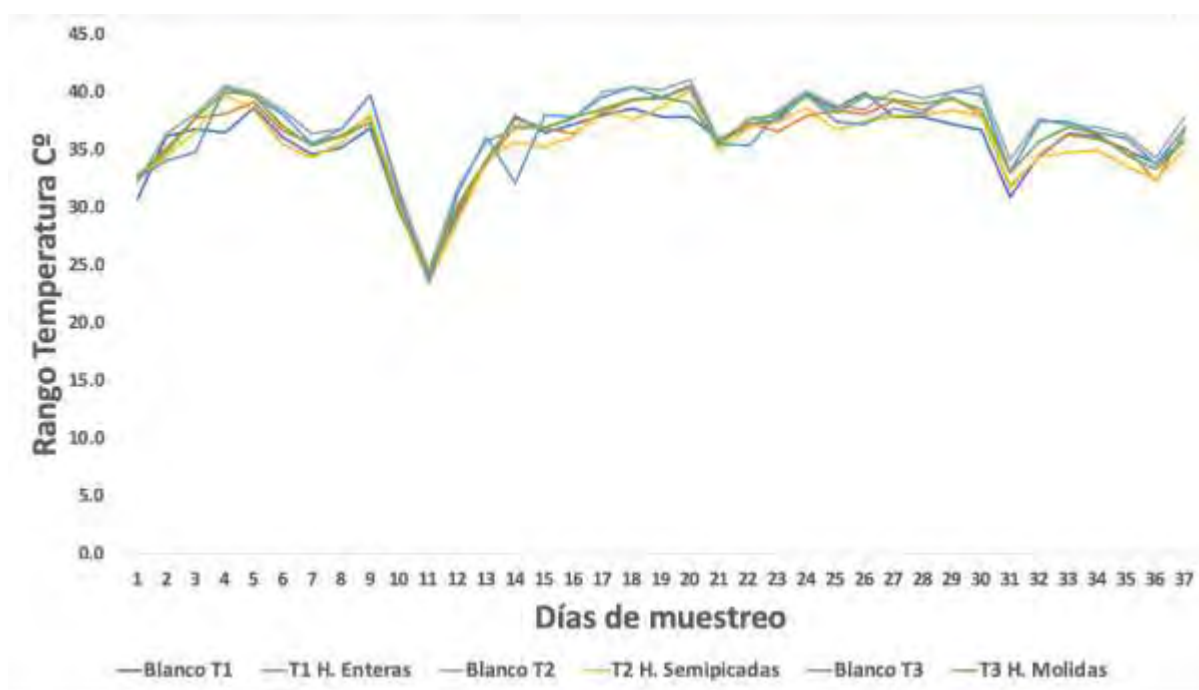


Figura 6. Comportamiento de la temperatura durante el periodo de la prueba en los tratamientos con su blanco y el promedio de las repeticiones.

Al igual que Pérez y Martínez (2008), realizaron una recolección de desechos provenientes de jardinería para ser compostados mediante la técnica tradicional, con la finalidad del aprovechamiento de los nutrientes que estos materiales contienen, donde se recolectaron los

desechos y se trituraron para obtener partículas de < 5 cm para la obtención de mejores resultados en la degradación, los parámetros se mantuvieron estables entre los tratamientos y sólo se mantuvieron 5°C arriba de la temperatura ambiente.

En el parámetro de sólidos totales, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas tanto entre los tratamientos de hojas enteras y molidas, como en los días de respuesta. Al aplicar la prueba de Tukey se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el control y los tratamientos ($p < 0.05$) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados del análisis de ANOVA de las mediciones de sólidos totales.
Comparisons for factor: Col 2.

Comparison	Diff of means	p	q	P	P<0.050
T2-4 vs T2-1	1195.333	4	8.789	<0.001	Yes
T2-4 vs T2-2	549.067	4	4.037	0.033	Yes
T2-4 vs T2-3	389.067	4	2.861	0.196	No
T2-3 vs T2-1	806.267	4	5.928	<0.001	Yes
T2-3 vs T2-2	160	4	1.176	0.839	No
T2-2 vs T2-1	646.267	4	4.752	0.009	Yes

Respecto a los muestreos, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la semana dos y la semana tres con el resto de los días ($p < 0.05$), coincide con lo reportado con Argüero (2011) quién realizó una recaudación de información sobre distintos trabajos del compostaje siendo partícipe en diversas Instituciones, donde afirma que la velocidad en la que se va degradando la materia orgánica está determinada por el tamaño de partícula “desmenuzada”, al calentarse por consiguiente se descompone rápidamente, produciendo una degradación uniforme.

Jiao *et al.* en 2023, evaluaron diferentes tamaños de partícula como: <2 cm, 2 cm, 5 cm y 10 cm para producir fertilizantes orgánicos mediante compostaje, sus resultados demuestran que partículas de 2 a 5 cm en ramas, hojas y paja que utilizaron para el proceso presentaron mayor degradación, aumentando los procesos bacterianos debido al presentar mayor área de contacto en la fijación de las bacterias, presentando similitudes con lo obtenido en el presente estudio.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el monitoreo de parámetros físicoquímicos, no se presentaron diferencias al estar expuestos a las mismas condiciones ambientales. El pH varió de acuerdo al proceso de la descomposición de la materia, presentando una caída ácida y después estabilizándose en un rango neutral. En el análisis de sólidos totales y materia orgánica se observó que el tratamiento de hojas semi-picadas presentó diferencias debido al tamaño de la partícula, ya que se recomienda en los procedimientos de compostaje un tamaño de máximo 6 cm. El método de degradación de biomasa vegetal utilizado en esta investigación es viable para poder desarrollar pruebas en producción de fertilizantes orgánicos.

Literatura citada

- Álvarez, J. 2013. Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana. Elementos (3): 159-172.
- Argüero, H. 2011. Compostaje, producción de hortalizas limpias. Universidad Nacional de Colombia (1): 3-24.
- Barajas-Guzman, G. and J., Álvarez-Sánchez. 2003. The relationship between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. Applied Soil Ecology 24:91-100.
- Bustamante Tarrillo, E. J. 2017. Obtención de etanol a partir de residuos de poda de parques y jardines de la ciudad de Jaén - Perú. Universidad Nacional de Cajamarca Facultad de Ciencias Agrarias (1):1-62
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Boca del Río, Veracruz de Ignacio de la Llave. 2010 (1): 1-10.

- FAO. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1):1-112.
- Maquén-Perleche, J., S., Aldana-Carbonel, L., Muguerza S., M., Sánchez-Purihuamán, J., Caro-Castro y C., Carreño-Farfán. 2023. Biofertilizante a base de desechos de pescado aumenta el rendimiento de *Vigna unguiculata* L. Walp, *Zea mays* L. y la microbiota rizosférica. *Scientia Agropecuaria* 14(4):529-538.
- Mc Dougall, J.R., I.C., Pyrah. 2004. Gestión Integral de Residuos Sólidos: Inventario de Ciclo de Vida., Epsilon Libros, Caracas (32): 1-616.
- Jiao M., R., Xiuna. H., Yifeng, W., Juan, H., Cuihuan Hu, Z., Zengqiang. 2023. Humification improvement by optimizing particle size of bulking agent and relevant mechanisms during swine manure composting. *Bioresource Technology*, 128191, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128191>.
- Noguera, Gloria. 2013. Análisis de las características técnicas y sociales asociadas a procesos de compostaje comunitario. Área Metropolitana de Barcelona, (1):1-303. *Ingeniería Agroindustrial* (1): 1-160.
- Ochoa, Angel. 2019. Desarrollo de alternativas para el manejo adecuado de residuos sólidos y orgánicos en el municipio de San Pedro de Urabá desde diversos espacios educativos. *Universidad de Antioquia* (1):1-18.
- Palacin, J. 2017. Elaboración del fertilizante orgánico líquido a partir de residuos de pescado para la producción del *Raphanus Sativus*. Repositorio de la Universidad César Vallejo (1): 1-84.
- Paleologos, M.F., M.J., Lermanó, M.I., Blandi, y S. J., Sarandón. 2017. Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología. *Redes - Revista do Desenvolvimento Regional* 22(2):92-115.

Pérez Méndez, M.A., M.R., Martínez Hernández. 2008. Manejo alternativo de residuos de jardinería. Kuxulkab, Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias Biológicas (14): 5-12.

Tobar, V. 2016. Determinación del efecto de un fertilizante orgánico líquido para el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* como alternativa ecológica de fertilización, en el municipio de Chachagui, departamento de Nariño. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD (1): 1-49.

Varona E., J. 2012. Análisis de las características técnicas y sociales asociadas a procesos de compostaje comunitario. Área Metropolitana de Barcelona (1): 1-303.

DISPERSIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE ARRECIFES CORALINOS UBICADOS FRENTE A LA CIUDAD DE VERACRUZ

Silvia Alejandra Santos Escobar^{398*}, Claudia Araceli Dávila Camacho³⁹⁸, Fabiola Lango Reynoso³⁹⁸,
María del Refugio Castañeda Chávez³⁹⁸ y Magnolia Griselda Salcedo³⁹⁸

Resumen

La contaminación por microplásticos (MP) es un problema emergente a nivel mundial, debido a las malas prácticas de recuperación del material y el exceso de producción de artículos plásticos. En esta investigación se analizó la distribución de MP en las arenas de dos arrecifes coralinos ubicados frente a la costa del puerto de Veracruz; que fueron tomadas del arrecife Anegadilla de adentro ubicado a 7.8 km de la costa y del arrecife Hornos ubicado a 203 m a la zona costera. Dichas muestras de sedimento fueron secadas a una temperatura de 60°C, se realizó una degradación de materia orgánica mediante la adición de H₂O₂ al 30% y NaPO₃ al 6%, se tamizaron en diferentes tamaños de luz malla y se realizó una extracción por diferencia de densidades con una solución saturada de NaCl. La identificación de MP fue con la ayuda de un estereoscopio, se clasificaron por tipo, color y tamaño. Se obtuvo una concentración de MP de 1732 pzas/kg de las cuales el arrecife lejano a la playa representó una concentración del 63% y el arrecife cercano 13%, el arrecife lejano presentó fibras: transparente, azul y rojo con un porcentaje del 78%, 14% y 4% respectivamente, en el arrecife cercano se identificó la presencia de fibras con el 98% y film el 2% restante, presentó colores transparente, azul y rojo con una concentración del 78%, 16% y 6% respectivamente. En el análisis experimental de dispersión, se realizó un ANOVA con el factor "Concentración", con tres variables diferentes: 1) Tamaño de MP, 2) Tamaño de partícula de sedimento y 3) Distancia a la línea de costa. Se encontró lo siguiente: a menor tamaño de MP mayor concentración de los mismos, existe una relación directa entre el tamaño de partículas de sedimento y el tamaño de MP. Esto debido a que el comportamiento de las corrientes en el Golfo de México, juega un papel importante en la distribución de MP. Por lo anterior, se demuestra que no solo las actividades antropogénicas tienen injerencia en la concentración de los MP en los sedimentos de los sistemas arrecifales, sino también las características fisicoquímicas de los mismos, las condiciones climáticas de la zona y las corrientes marinas.

Palabras clave: distribución de microplásticos, sedimentos, arrecife hornos, arrecife Anegadilla de adentro, concentración

³⁹⁸ Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río: m23990514@g.bdelrio.tenm.mx

Introducción

Los sistemas arrecifales son uno de los ecosistemas más diversos y productivos a nivel mundial; son los encargados de proporcionar múltiples bienes y servicios a quienes habitan en las comunidades costeras. Sin embargo, su equilibrio ecológico se encuentra bajo una constante amenaza debido al aumento de la contaminación marina generada por la presencia de partículas plásticas, así como los impactos originados por las actividades humanas que se realizan cerca de la zona (Reyna, 2014).

Los estudios costeros de playas a nivel mundial realizados entre los años 1980 y 2001, reportaron que los desechos plásticos representan un porcentaje alrededor del 50% y 90% del total de la basura marina y representa un problema de contaminación creciente desde el inicio de su producción (Blair *et al.*, 2019). El artículo de Moore (2008) menciona que entre los años 1960 y 2000 los polímeros sintéticos estuvieron ingresando a la biota marina en cantidades paralelas a su producción. Sin embargo, la recuperación se mantuvo por debajo del 5%, por lo que actualmente la basura en el ecosistema marino está conformada por plásticos en un porcentaje de entre el 60% y 80%.

Los microplásticos son partículas plásticas sólidas e insolubles en un ambiente acuoso, con una dimensión igual o menor a 5 mm. Pueden ser clasificados según su tamaño (grandes, medianos o pequeños), su forma (micro perlas, fibras, fragmentos, micro esferas, pellet y filamentos) o su fuente de origen (primarios o secundarios); por lo que estas partículas plásticas se han convertido en un desafío al rededor del mundo (Tirkey y Upadhyay, 2021).

Los microplásticos se consideran contaminantes emergentes, se consideran un grave peligro y un riesgo potencial para el medio ambiente debido a las propiedades que presentan: migración, transformación, adsorción, degradación y fragmentación se desconoce (Shen *et al.*, 2022). Sin embargo, la acción física no es la única amenaza hacia el medio marino; el contacto con contaminantes orgánicos persistentes y a la liberación de monómeros y aditivos que son parte de la elaboración del plástico, también son un problema latente debido a su persistencia (Prata *et al.*, 2021). En el artículo de Cuadra *et al.* (2023) se menciona al polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PCV), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET) como principales polímeros presentes en microplásticos, así como aditivos utilizados para la

elaboración y mejora de la calidad del plástico, tales como; plastificantes, retardadores de llamas, colorantes, lubricantes, entre otros.

Los microplásticos están presentes en diferentes sedimentos: de estuarios, costas y aguas profundas, alteran a la comunidad microbiana, puesto que, pueden servir como sustrato de carbono orgánico, y afectar a los ciclos biogeoquímicos en los que estos tienen injerencia (Seeley *et al.*, 2020). Uno de los impactos ambientales generados por plásticos se debe a la acumulación de dichos materiales en el fondo marino, pudiendo llegar a impedir el intercambio entre las aguas suprayacentes y las aguas intersticiales de los suelos marinos, desordenando o asfixiando a los organismos del bento que ahí radican (Moore, 2008). Segura *et al.* (2007), señalan que los materiales plásticos representan un peligro para los organismos marinos, debido a que pueden llegar a ingerir dicho material y sufrir atragantamiento; también hacen mención que los organismos planctónicos, los filtradores y aquellos que se alimentan de detritos, ingieren las partículas microplásticas, las cuales, en la mayoría de los casos quedan atrapados en sus tejidos.

Los microplásticos tienen mayor probabilidad de entrar en contacto con la biota marina al ser ingeridos y transferidos a las redes tróficas para finalmente generar un impacto en la fisiología en los organismos, así como en el funcionamiento del ecosistema (Phuong *et al.*, 2021). Se han llevado a cabo diversas investigaciones donde se ha confirmado la ingesta de microplásticos por organismos acuáticos, que incluyen especies de zooplancton, mejillones, gusanos, peces y aves.

Prata *et al.* (2021) refiere que la ingesta de microplásticos puede llegar a generar cambios morfológicos en el crecimiento de los organismos y actividades fotosintéticas, así como en el aumento en las proteínas relacionadas con el estrés, inmovilización y la bioacumulación de microplásticos, puede propiciar la mortalidad en algunas especies, pasan a través de la red trófica, a otras especies incluyendo las especies marinas de uso comercial y finalmente al ser humano, quien podría absorber dicho material mediante la alimentación, sin conocer los efectos de la degradación de estas micropartículas que se encuentran depositadas en las estas especies.

Cuadra *et al.* (2023) mencionan que los mecanismos citotóxicos inducidos por microplásticos que se han reportado recientemente: son daños a la membrana, estrés oxidativo, inducción de factores inflamatorios y el metabolismo, entre otros; sin embargo los microplásticos a través

de sus procesos degradativos, pueden llegar a liberar metabolitos que pueden generar afectaciones en los procesos metabólicos de diversos organismos; por lo que se han realizado investigaciones donde se ha observado la presencia de microplásticos de Tereftalato de polipropileno, polietileno, polímeros de estireno y polipropileno en el torrente sanguíneo, los cuales pueden llegar a afectar el sistema nervioso, reproductivo y podrían tener injerencia en enfermedades como el cáncer.

Por lo anterior, la presencia de microplásticos en sedimentos marinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, genera un desequilibrio ecológico, una amenaza a la biota y a su vez a la salud humana de los habitantes de las zonas costeras, ya que puede desencadenar cambios en las propiedades físicas y químicas del sustrato del que algunas especies se alimentan en dichos sedimentos arrecifales, así como el flujo de nutrientes y funciones del ecosistema, afectando directamente a la resiliencia que hasta el momento el parque ha demostrado.

Materiales y métodos

Área de estudio

De acuerdo al Programa de Manejo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, el Parque se localiza en el centro del Golfo de México, frente a las costas del estado de Veracruz, abarca los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado; cuenta con una superficie de 65,516.47 hectáreas en las cuales se pueden encontrar lagunas arrecifales, bajos, cayos y playas; está conformado por al menos 45 arrecifes los cuales se dividen en dos grupos, siendo el primero el grupo norte el cual cuenta con los arrecifes más pequeños y cercanos a la costa, lo que genera un mayor impacto antropogénico y el grupo sur los cuales son de mayor tamaño y lejanos a la costa lo que propicia mejores condiciones fisicoquímicas.

Su hidrología se encuentra influenciada por los ríos la Antigua, Jamapa y Papaloapan al norte, centro y sur del parque respectivamente. Presenta tres temporadas climatológicas: estiaje (noviembre-abril), lluvias (junio-octubre) y nortes (septiembre-mayo). Sin embargo, para llevar a cabo la investigación, fue considerada la temporada de lluvias, la selección de los arrecifes se tomó en cuenta distribución geográfica seleccionando un arrecife cercano (Hornos) y un

arrecife lejano (Anegada de adentro) frente a las costas del puerto de Veracruz (Cuadro 1 y Figura 1).



Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo.

Cuadro 1. Puntos de muestreo.

Arrecife	Coordenadas		Muestreo
Anegadilla de adentro	19°13'41.8" N	96°03'46.4" O	30/06/2022
Hornos	19°11'09.7" N	96°05'33.0" O	16/07/2022

Manejo de la muestra

Las muestras obtenidas, fueron pesadas (base húmeda) y expuestas a temperatura ambiente en charolas de aluminio, esto con el fin de reducir el contenido de humedad en las mismas y reducir el tiempo de exposición del material plástico al calor, posteriormente, mediante el uso de un horno de secado, se llevó a cabo el proceso de secado a 60°C hasta que la muestra presentó un peso constante tal como lo sugieren Sánchez-Hernández *et al.* (2021). Al obtener la muestra en base seca (muestra en peso constante), se consideraron 500 g de sedimento para cada punto de muestreo, posteriormente, el sedimento pesado llevó un proceso de degradación de materia orgánica mediante la adición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%, agregando agua destilada para detener la reacción y Hexametáfosfato de Sodio (NaPO₃) al

6% según lo sugerido por Cruz Salas *et al.* (2020) y Masura *et al.* (2015) respectivamente; manteniendo dichas muestras en reposo por un lapso de 24 horas. Al finalizar la digestión, las muestras fueron lavadas con agua purificada con apoyo de un tamiz de 0.063mm de apertura, para realizar el retiro de la materia orgánica degradada y nuevamente fueron llevadas a un proceso de secado con una temperatura de 60°C durante 24 horas.

Las muestras del sedimento seco fueron separadas haciendo uso de una tamizadora Ro-Tap con una serie de tamices de diferentes aperturas de luz de malla (0.63 mm, 0.5 mm, 0.9 mm, 1.1 mm, 2.3 mm y 5 mm) (Pelaez *et al.*, 2023). Se llevó a cabo una separación por diferencias de densidad de los microplásticos presentes en los sedimentos tamizados al entrar en contacto con una solución saturada de Cloruro de Sodio ($\rho = 1.2 \frac{g}{cm^3}$). La mezcla fue sometida a una agitación manual y constante durante cinco minutos y se dejó sedimentar durante una hora con el fin de extraer la mayor cantidad posible de microplásticos. Las partículas flotantes se filtraron mediante una bomba de vacío con el apoyo de membranas de microcelulosa, los cuales se enjuagaron con agua destilada para posteriormente ser secados a 50°C en un lapso de diez minutos según lo sugerido por Flores-Ocampo *and* Armstrong-Atrin (2023), las muestras secas fueron almacenadas en cajas Petri de vidrio para evitar su contaminación. Las muestras obtenidas fueron observadas mediante un esteroscopio, con aumento de 40x, identificando los microplásticos y clasificándolos por su tipo, color y tamaño, tal como lo refiere Flores-Ocampo *and* Armstrong-Atrin (2023). Posterior a ello, los microplásticos identificados por su tipo, color y tamaño, fueron separados en tubos Eppendorf, para ser cuantificados en piezas por kilogramo de muestra.

Muestreos

El muestreo del sedimento a analizar se llevó a cabo en una sola toma de, considerando sedimentos superficiales para esta investigación, los cuales fueron pesados (en kilogramos) en base húmeda (antes del secado) y en base seca (después del secado).

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un ANOVA de un solo factor; la unidad experimental consistió en la toma de dos muestras con distancias diferentes con respecto a la zona costera del Puerto de Veracruz, así como en dos temporadas climáticas diferentes.

Tratamientos

Se evaluaron tres tratamientos que resultaron de la combinación de tres factores diferentes y una sola variable: tamaño de microplásticos (1 mm-5 mm), tamaño de partícula de sedimento (2.3 mm, 1.1 mm, 0.9 mm, 0.5 mm y 0.063 mm) y distancia (cercano y lejano), siendo el Tratamiento 1: Concentración-Tamaño de microplásticos; Tratamiento 2: Concentración-Tamaño de partícula de sedimento; y Tratamiento 3: Concentración-Distancia; cada tratamiento con una sola repetición en temporada de lluvias.

Análisis estadístico

Para el análisis de varianza se utilizó el programa estadístico Minitab 18®; se realizó la comparación con un nivel de confianza del 95% para cada uno de los factores considerando que la hipótesis nula afirmaba que no se encontraban diferencias entre el tamaño de las partículas plásticas, así como en el tamaño del sedimento y la distancia con respecto a la costa.

Variables evaluadas

Se considero la concentración como la variable a evaluar, la cual fue medida haciendo uso de una balanza analítica graduada en gramos en diferentes tamaños de microplásticos los cuales se midieron con una regla milimétrica, tamaños de sedimentos en milímetros según la apertura de los tamices y distancia de los arrecifes con respecto a la costa.

Resultados y discusión

Resultados del análisis visual

Mediante el análisis visual de los sedimentos obtenidos en la separación por diferencias de densidades, se obtuvieron 1732 piezas de microplásticos por kilogramo de sedimento entre ambas muestras, en un rango de 1 mm a 5 mm (Cuadro 2), de las cuales el 63% pertenece a Anegadilla de adentro y el 37% a Hornos (Figura 2).

Cuadro 2. Concentración de microplásticos encontrados en sedimento aledaño a los arrecifes Anegadilla de adentro (An) y Hornos (Ho), clasificados por su tipo, color y tamaño. Transparente (T), Azul (A), Rojo (R).

Tamaño (mm)	Fibras						Film	
	Transparente		Azul		Rojo		Transp	
	An	Ho	An	Ho	An	Ho	An	Ho
Partículas de sedimento de 2.3 mm								
1	27	4	2	0	2	1	0	0
2	5	2	1	2	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0	0
4	1	2	4	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0
Partículas de sedimento de 1.1 mm								
1	66	54	8	9	3	4	0	0
2	20	15	4	1	2	4	0	0
3	8	3	2	0	2	1	0	0
4	1	1	1	0	2	1	0	0
5	0	5	1	0	0	1	0	0
Partículas de sedimento de 0.9 mm								
1	43	6	6	0	4	1	0	0
2	9	5	3	1	0	0	0	0
3	10	3	1	0	0	1	0	0
4	6	0	0	0	0	0	0	0
5	6	0	0	0	0	0	0	0
Partículas de sedimento de 0.5 mm								
1	31	24	10	5	4	1	0	1
2	12	7	2	4	2	0	0	0
3	3	7	2	1	2	0	0	0
4	3	6	0	1	1	0	0	0
5	6	1	0	1	1	0	0	0

Tamaño (mm)	Fibras						Film	
	Transparente		Azul		Rojo		Transp	
	An	Ho	An	Ho	An	Ho	An	Ho
Partículas de sedimento de 0.063 mm								
1	120	74	16	16	7	4	0	5
2	35	12	11	8	8	1	0	2
3	7	12	1	0	3	0	0	0
4	2	1	0	1	4	0	0	0
5	4	2	0	0	0	0	0	0



Figura 2. Porcentaje de microplásticos en sedimentos arrecifales.

Respecto al tipo de microplásticos según su forma, en el arrecife Anegadilla de adentro, se identificó un 100% de fibras, mientras que en el arrecife Hornos, se observó la presencia de Film de color transparente de 1 y 2 mm, representando solo un 2% de la totalidad de la concentración en dicho arrecife. Los colores con mayor frecuencia en el caso del arrecife anegadilla de adentro fueron el transparente, azul y rojo con el 78%, 14% y 8% respectivamente, en el arrecife Hornos el color transparente coincide con el 78%, mientras que el azul y el rojo varían con un 16% y 6% respectivamente (Figura 3).

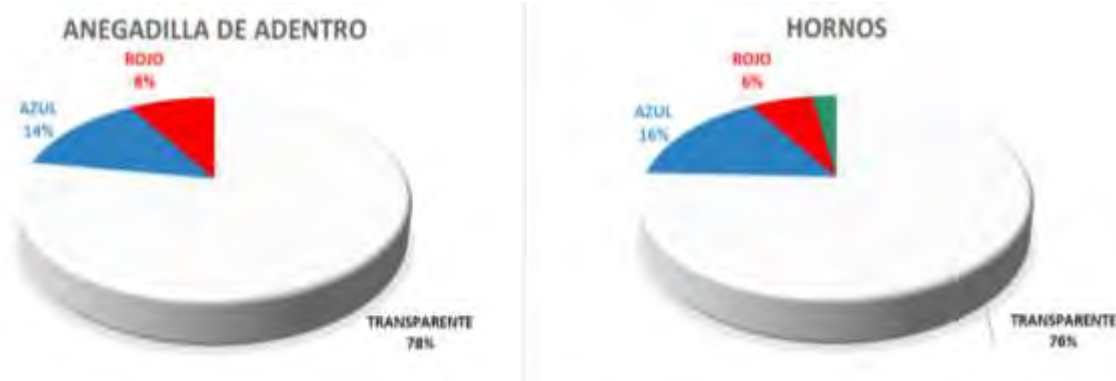


Figura 3. Colores presentes en MP.

Resultados del análisis estadístico

En el análisis estadístico ANOVA del comportamiento de la concentración de microplásticos con respecto al tamaño de los mismos bajo la prueba de Tukey, se pudo observar que los microplásticos de 1 mm y 2 mm muestran diferencias significativas, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna (Figura 4).

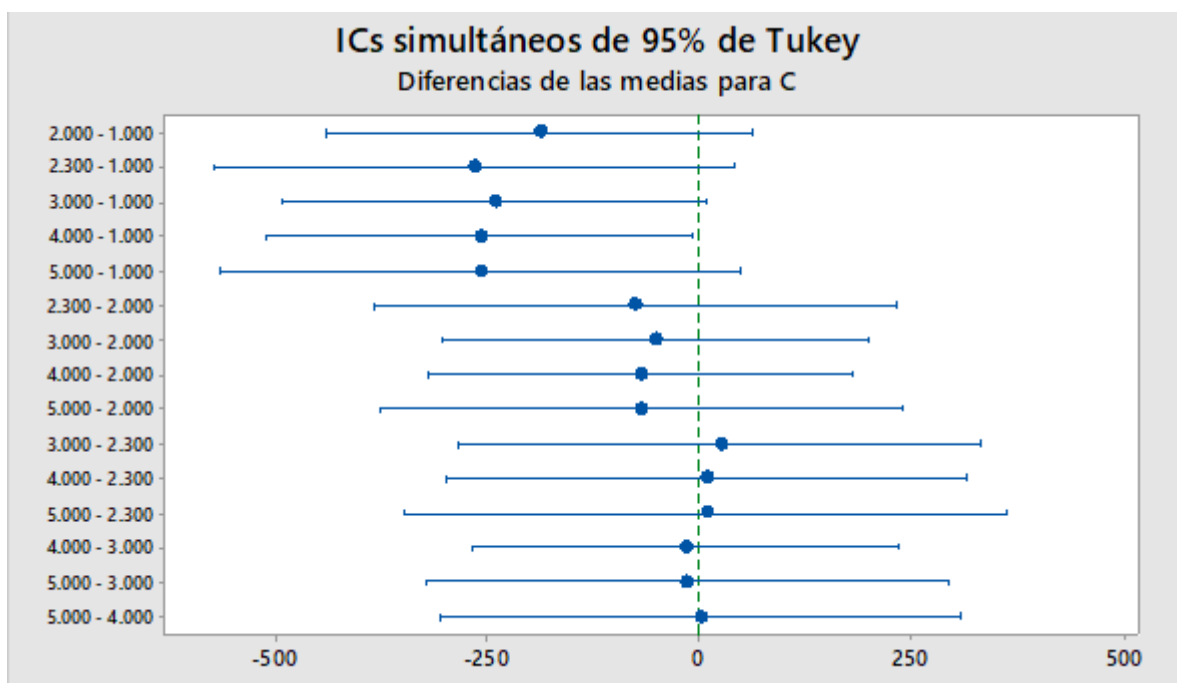


Figura 4. Concentración de los microplásticos con respecto al tamaño que presentan, si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

En cuanto al tamaño de partícula de sedimento, se identificó que aquellas que presentan un tamaño menor (0.063 mm), muestran una diferencia significativa respecto a las demás, sin embargo, también podemos encontrar diferencias en aquellas que se encuentran en el rango de 1.1 mm (Figura 5).

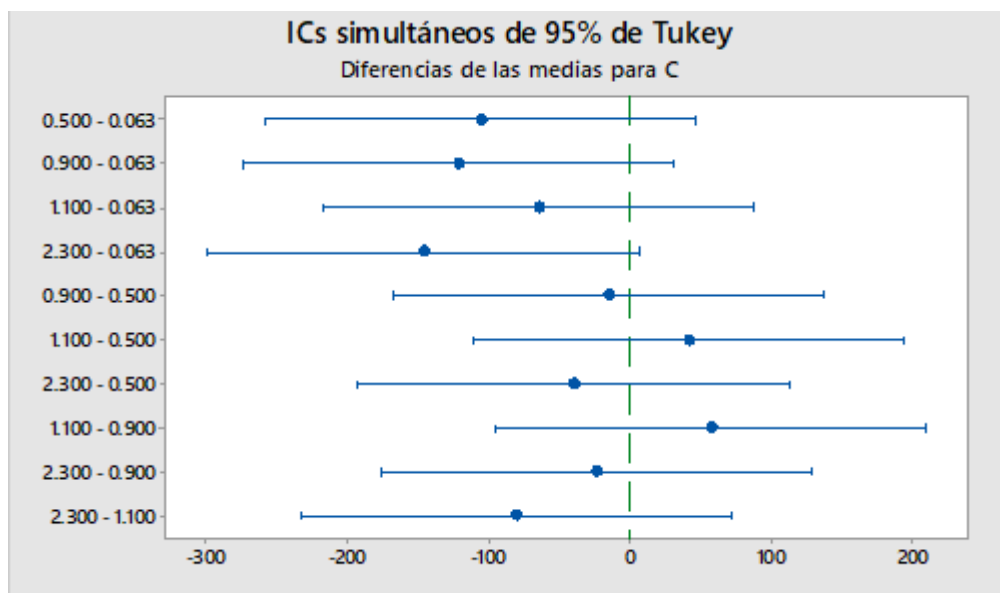


Figura 5. Concentración de los microplásticos con respecto a su tamaño de partículas del sedimento.

En el desarrollo de la investigación se pudo identificar la presencia de microplásticos en los sedimentos superficiales del parque arrecifal, los cuales fueron clasificados según su tipo (fibras y films), su color (transparente, azul y rojo) y su tamaño (de 1mm a 5mm) (Figura 6).

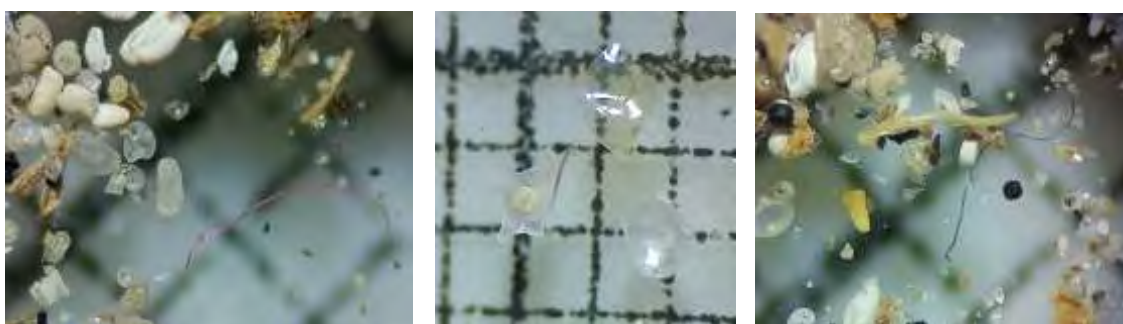


Figura 6. Presencia de microplásticos en sedimentos superficiales del PNSAV en diferentes tipos (fibras y films) y colores (transparente, azul y rojo).

Se obtuvo una concentración de 1732 piezas de microplásticos por kg de sedimento, siendo el arrecife Anegadilla de adentro el de mayor concentración. A pesar de encontrarse a una distancia mas alejada de la costa, en la temporada de lluvias (junio-octubre), las corrientes marinas en el Golfo de México se mueven de sur a norte (Figura 7) por lo que estas juegan un papel importante en el aumento de la concentración de las partículas plásticas a pesar de la distancia en la que se encuentran.

En el comportamiento de las concentraciones, podemos determinar que existe una correlación entre la concentración y el tamaño del microplásticos, así como en el tamaño de la partícula del sedimento, por lo que se determina que a menor tamaño de sedimento y menor tamaño de microplásticos, existirá una mayor concentración de los mismos.

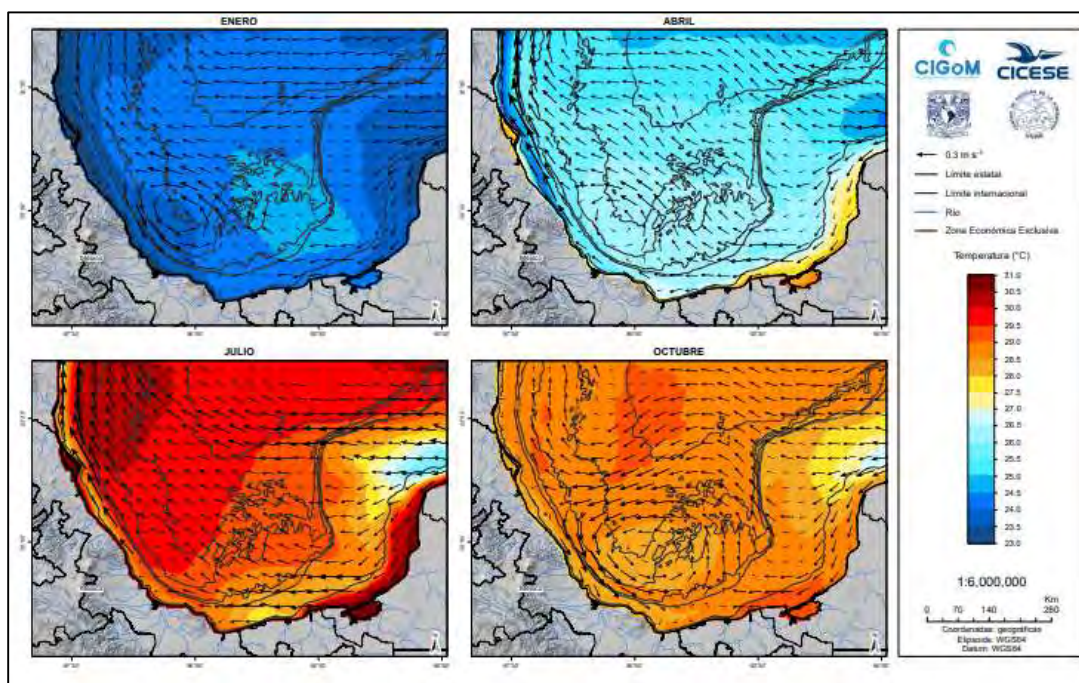


Figura 7. Corrientes marinas en el Golfo de México se mueven de sur a norte.

Conclusión

Se identificó la presencia de microplásticos en ambos arrecifes analizados identificando dos tipos de microplásticos (fibras y films) así como la presencia de diversos colores en los mismos

(transparente, azul y rojo). Se determinó que las mayores concentraciones de estas micropartículas se encuentran en el arrecife de mayor lejanía a la costa, esto debido a la injerencia de las corrientes marinas que presenta el Golfo de México en las temporadas de julio a octubre, así mismo, se identificó una correlación entre el tamaño de las partículas de sedimento de menor tamaño y el tamaño del microplásticos, presentando una mayor concentración de los microplásticos de menor tamaño en los sedimentos más finos. Por lo que se concluye que no solo las actividades antropogénicas juegan un papel importante en la distribución por plásticos en el ecosistema acuático, sino también las propiedades físicas del mismo, así como las condiciones climáticas del sitio.

Literatura citada

- Blair, R. M., S., Waldron, V. R., Phoenix, and C., Gauchotte-Lindsay. 2019. Microscopy and elemental analysis characterisation of microplastics in sediment of a freshwater urban river in Scotland, UK. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 12491-12504. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04678-1>.
- Cruz S., A., J., Alvarez Z., C., Martínez-Salvador, R., Enriquez, S., Ojeda-Benitez, A., Vazquez *et al.* 2020. Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar*. 24 (71): 3-21.
- Cuadra, V., R., Lezcano, C., Bayard, J., Villarreal, J., Robinson-Duggon, and M. L., Miranda-Montenegro. 2023. Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana. *Vida Natural*. <https://doi.org/10.59722/vn.v1i1.612>.
- Flores-Ocampo, I. Z., and J.S. Armstrong-Altrin. 2023. Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114891. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891>.

- Masura, J., J.E., Baker, G., Foster, C., Arthur and C.E. Herring. 2015. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- Moore, C. J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2): 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>.
- Pelaez, L. A. P., C. P., Montes, L. H., Castellanos, O. de J. H., Quero, C., Hernández-Álvarez, I. A. M., Estrella, and B. S., Rangel. 2023. Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), Article 2. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1712>.
- Phuong, N. N., V., Fauvelle, C., Grenz, M., Ourgaud, N., Schmidt, E., Strady, *et al.* 2021. Highlights from a review of microplastics in marine sediments. *Science of The Total Environment*, 777, 146225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146225>.
- Prata, J. C., J. P., da Costa, I., Lopes, A. L., Andrady, A. C., Duarte, and T., Rocha-Santos. 2021. A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of The Total Environment*, 777, 146094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094>.
- Reyna G., P. C. 2014. Modelo de soporte para la toma de decisiones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Boca del Río, Veracruz, México.

- Sánchez-Hernández, L. J., P., Ramírez-Romero, F., Rodríguez-González, V. H., Ramos-Sánchez, R. A., Márquez Montes, H., Romero-Paredes, *et al.* 2021. Seasonal evidences of microplastics in environmental matrices of a tourist dominated urban estuary in Gulf of Mexico, Mexico. *Chemosphere*, 277, 130261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130261>.
- Seeley, M. E., B., Song, R., Passie, and R. C. Hale. 2020. Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling. *Nature Communications*, 11(1), 2372-2372. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16235-3>.
- Segura, D., R., Noguez, and G. Espín. 2007. Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(3): 361-372.
- Shen, M., B., Song, C., Zhou, E., Almatrafi, T., Hu, G., Zeng, *et al.* 2022. Recent advances in impacts of microplastics on nitrogen cycling in the environment: A review. *Science of The Total Environment*, 815, 152740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152740>.
- Tirkey, A., and L. S. B., Upadhyay. 2021. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112604. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112604>.

PRESENCIA DE ENTEROCOCOS EN AGUA DEL PNSAV

Fátima Jael Olvera Muñoz³⁹⁹, Lady Cecilia Espinoza Tepepa³⁹⁹, Christian Reyes Velázquez³⁹⁹
y María del Refugio Castañeda Chávez^{399*}

Resumen

Las actividades antropogénicas generan cambios en los ecosistemas del mundo. El estado de Veracruz, cuenta con uno de los puertos más grandes y antiguos de México, las actividades portuarias y de la población urbana, generan contaminantes que se acumulan y tienen impacto en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Por éste motivo, autores han discutido el uso y estudio de microorganismos para determinar la calidad del ecosistema. Los enterococos son bacterias con adaptación en ambientes acuáticos, y son consideradas para determinar la calidad del agua en las zonas costeras. Por lo anterior, el objetivo de investigación fue analizar la presencia de enterococos en agua del PNSAV. Se realizaron muestreos en temporada de norte (TN) y estiaje (TE) en arrecife Gallega a nivel superficial (NS) 0.15 m y nivel fondo (NF) 1.30 m, en Chopá y Enmedio a 0.15 m NS y 4 m NF con metodología de la Norma ISO 7899-2. Se cuantificaron las colonias mediante un transiluminador de luz blanca, los datos se analizaron con el programa Statistica®. De acuerdo con el análisis de varianza, se observa una diferencia significativa en la concentración de la superficie con respecto al fondo en Gallega. En Chopá y Enmedio no se observaron diferencias significativas. En la TN, Gallega obtuvo un valor medio de 351.5 ± 365.5 NS, 19.5 ± 4.94 NF; Chopá 30.5 ± 6.36 NS, 233.5 ± 207.18 NF y Enmedio 73.5 ± 9.19 NS, 31.5 ± 19.1 NF. En la TE Gallega obtuvo 300 ± 70.71 NS, 21 ± 15.55 NF; Chopá 87 ± 19.79 NS, 12 ± 1.41 NF y Enmedio 52 ± 35.5 NS, 158 ± 158 NF. Se concluye Gallega supera el valor permisible (200 UFC/ 100 mL) para ambas temporalidades, en ésta área se encuentra la ampliación del puerto, parques logísticos y sector turístico, por lo que existe una alteración en sus niveles de calidad.

Palabras clave: microorganismos, arrecifes, calidad del agua

Introducción

Las alteraciones con mayor impacto ambiental en los ecosistemas se generan por las actividades urbanas, sobre todo en las regiones costeras como Veracruz, donde la ampliación

³⁹⁹ División de Estudios de Posgrado Investigación – Ciencias en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Boca del Río. Tecnológico Nacional de México. *Autor de correspondencia: mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx

del recinto portuario por la llegada de nuevas industrias y el crecimiento demográfico han contribuido con el cambio de uso del suelo, y el aumento de contaminantes presentes en manglares, lagunas costeras, ríos, playas, arrecifes; lo que genera mayor presión sobre dichos ecosistemas. Esta perturbación antropogénica en los ambientes acuáticos se ve reflejada en la acumulación de contaminantes, los cuales, a través de las corrientes, mareas y tránsito de embarcaciones, suelen dispersarse en los sistemas acuáticos hasta 100 m a la redonda de la fuente de emisión.

Investigaciones de Goh *et al.* (2017) y González-Fernández *et al.* (2010) demuestran que los contaminantes se dispersan hasta las zonas con poco flujo en donde se acumulan, además estos sitios son caracterizados por contener altas concentraciones bacterianas, mismas que pueden utilizarse como indicadores del grado de contaminación.

Entre los grupos bacterianos más estudiados para determinar los niveles de contaminación de origen antropogénico en agua, se encuentran los enterococos, cuyos límites máximos de concentraciones y técnicas de detección se pueden encontrar en las Normas Nacionales Mexicanas para diferentes usos y disposiciones, como las normas mexicanas de descargas en bienes nacionales y la de calidad de las playas para uso recreativo. Sin embargo, se requiere complementar y corroborar la información existente para la región costero-central de Veracruz. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue analizar la presencia de enterococos en agua del PNSAV para probar su eficacia biológica como indicador de la calidad de agua de origen antropogénico urbano y portuario, con impacto en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de investigación se localiza frente la zona costera de los Municipios de Veracruz y Alvarado, se extiende desde la parte norte del PNSAV (arrecife Gallega) hasta la parte sur del complejo (arrecifes Chopa y Enmedio), tiene una superficie de 65,516 ha. En la zona se destacan tres temporalidades, secas (abril a junio), lluvias (julio a septiembre) y nortes (octubre a febrero), el tipo de clima corresponde a la categoría cálido-húmedo por presentar una

temperatura mayor a 18°C. Sus coordenadas geográficas extremas son 19°02'24" y 19°16'00" de latitud norte y 95°46'19" y 19°12'01" de longitud oeste.

Toma de muestras

Se realizaron dos muestreos, uno durante la temporada de nortes y otro en secas (abril y junio respectivamente). En el arrecife Gallega se realizó a una profundidad de 0.15 m a nivel superficial y de 1.30 m a nivel fondo, por otra parte, para Chopa y Enmedio la profundidad fue de 0.15 m a nivel superficial y 4 m a nivel fondo en dos puntos de la columna de agua dependiendo de la profundidad de cada arrecife. Las muestras fueron colectadas en bolsas de plástico estériles marca Whirl-Pak de 250 mL por duplicado, se llenaron en un promedio de 80% al 90% de su capacidad. *In situ* se reportaron parámetros fisicoquímicos como la temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto mediante una sonda multiparamétrica (HANNA HI 9828). Posteriormente, las muestras fueron transportadas en hielo a una temperatura de 4°C hasta ser procesadas en un período no mayor a 8 h dentro de las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) ubicado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Desarrollo experimental

Para determinar la presencia y cocentración del microorganismo en los tres sitios de muestreo arrecifes Gallega, Chopa y Enmedio, se utilizó el método de detección y recuento de enterococos por filtración de membrana de la Norma ISO 7899-2. Las muestras con un volumen de 100 mL, se filtraron en un embudo estéril mediante una membrana de nitrocelulosa Whatman de 0.45 µm, la membrana no fue retirada hasta perder la mayor cantidad de agua. Posteriormente, la membrana se colocó realizando movimientos circulares con el fin de evitar la formación de burbujas de aire, esto sobre una placa con Agar Bilis Esculina con Azida. Se incubó a 44°C durante 24 a 48 h. Finalmente, se observaron y cuantificaron las colonias típicas de enterococos de coloración negra, café-rojizo y de forma redonda y convexa en un transiluminador de luz blanca. El resultado se multiplicó por el factor de dilución el cual se expresó como UFC/100 mL.

Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el método multifactorial Kruskal-Wallis con el programa Statistica® considerando las variables Sitio-Profundidad-Temporada, así mismo se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey.

Resultados y discusión

Se reporta en los resultados que los enterococos están presentes en las dos columnas de agua en superficie y fondo, en los tres arrecifes de estudio del PNSAV (Gallega, Chopá y Enmedio). Se determinó que existe una diferencia significativa en la concentración de enterococos de la superficie del arrecife Gallega con respecto al fondo, mientras que en los arrecifes de Chopá y Enmedio no se encontró diferencia significativa entre puntos de la columna del agua. Los resultados encontrados por Baños-Cruz, 2012 y Sánchez, 2015, coinciden para los arrecifes de Chopá y Enmedio, ya que ambos encontraron mayor concentración de enterococos en los sedimentos que en la superficie del Estero Salado en Ecuador, pero difiere en el arrecife de Gallega. Esto podría deberse a que en dicho arrecife existe una constante remoción de los sedimentos por la entrada y salida de embarcaciones mayores y botes con motor a bordo, así como la entrada de agua por las descargas de agua pluvial, fluvial y de embarcaciones, lo que provoca la remoción permanente de sedimentos y materia orgánica presente en este arrecife. Las concentraciones de enterococos variaron entre 12 UFC/100 mL y 158 UFC/100 mL para la temporada de estiaje y de 30 UFC/100 mL a 233 UFC/100 mL para la temporada de nortes en los arrecifes de Enmedio y Chopá, por lo que las concentraciones en ambos arrecifes se encontraron dentro de los límites permisibles de la Norma ISO 7899-2-2002 y la Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 (200 UFC/100 mL de agua). Sin embargo, el arrecife Gallega superó los límites permisibles en ambas temporadas, sobre todo en la temporada de norte donde se encontraron hasta 351 UFC/100 mL y 300 UFC/100 mL de agua en estiaje. Esto coincide con Saravia-Arguedas *et al.* (2019) quienes indican que las zonas con alto aporte de contaminantes y materia orgánica son las que presentan mayor concentración de bacterias nocivas y con lo establecido por Baños-Cruz (2012), quien encontró una relación positiva entre la temperatura y la concentración de enterococos. A temperaturas más altas mayor

concentración de enterococos, lo que se reflejó durante la temporada de estiaje y a temperaturas bajas, menor concentración de enterococos, como se presentó en la temporada de lluvia.

Pese a que no se encontró diferencia significativa entre los tres arrecifes [$KW-H(2,24) = 0.105$, $p < 0.05$], la profundidad [$KW-H(1,24) = 1.7633$, $p < 0.05$] o la temporada [$KW-H(1,24) = 0.0533$, $p < 0.05$]; la concentración de enterococos en el fondo de los arrecifes Chopá y Enmedio se encontró entre los límites permisibles de la Norma ISO 7899-2-2002 (200 UFC/100 mL de agua), es decir que variaron entre 12 UFC/100 mL y 158 UFC/100 mL para la temporada de estiaje, mientras que en la temporada de norte se observa que el fondo supera el límite permisible en el arrecife Chopá (233.5 UFC/100 mL) por otro lado, Enmedio y Gallega se encuentran dentro de los límites permisibles de 19.5 UFC/100 mL a 31.5 UFC/100 mL en la temporada de norte. Respecto a las concentraciones en la superficie, se observó que únicamente el arrecife Gallega superó los límites permisibles en ambas temporadas, sobre todo en la temporada de norte donde se reportaron hasta 351 UFC/100 mL y 300 UFC/100 mL en estiaje. Por otra parte, en los arrecifes de Enmedio y Chopá la concentración de la superficie varió entre 30 UFC/100 mL y 31 UFC/100 mL para la temporada de norte y de 52 UFC/100 mL a 87 UFC/100 mL para la temporada de estiaje.

Cabe destacar, el arrecife Gallega se encuentra al norte del Municipio de Veracruz, el cual cuenta con una densidad poblacional estimada en 2468 hab/km², es decir, 609,964 personas (INEGI, 2016) que consumen en promedio 350 L de agua al día y, cabe destacar, que solo el 57% de las aguas residuales generadas es procesada en una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), por tal motivo, los desechos podrían llegar al mar sin un tratamiento previo, lo que incrementa los niveles de contaminación tanto de materia orgánica como carga bacteriana y diversos químicos.

Uno de los factores con mayor impacto en la incrementación de perturbaciones antropogénicas en la zona es la ampliación del recinto portuario y los parques logísticos, en donde sus principales actividades son el embarque y desembarque de buques cargueros, mantenimiento de embarcaciones mayores a flote, desazolve y dragado de canales, mantenimiento de pilas, grúas, vías férreas, entre otras. Así mismo, el sector turístico, el cual tuvo una ocupación del 85% durante el mes de julio en los 189 hoteles del Municipio además de disponer de al menos 45 embarcaciones menores con motor fuera de borda para recorridos turísticos. Por otra parte,

el sector pesquero con una flota de 192 embarcaciones menores con motor a bordo. Sin embargo, es evidente que el mayor impacto que recibe el arrecife Gallega es por parte de las actividades portuarias, ya que el ecosistema está siendo perturbado por materia orgánica, derivados del petróleo, compuestos aromáticos policíclicos y metales pesados.

De igual forma, el arrecife Chopá se encuentra cerca de la zona costera de Antón Lizardo en el Municipio de Alvarado, el cual cuenta con una población de 52,927 habitantes, cabe destacar que esta localidad no cuenta con PTAR, por lo que las descargas se depositan directamente sobre los cuerpos de agua. Así mismo, en la zona se encuentra la pluma de agua que desemboca del río Jamapa, lo que también ocasiona el arrastre de sedimentos, materia orgánica, grasas y aceites provenientes del Municipio de Boca del Río, que cuenta con una densidad poblacional de 3,375 habitantes, de sus cinco PTAR se considera que solo una de ellas funciona al 80% de su capacidad

Por otra parte, en el arrecife Enmedio se desarrollan principalmente actividades turísticas debido a su cercanía con la Isla de Enmedio, esta cuenta con un faro iluminado mediante paneles solares, sin embargo, no cuenta con agua potable ni drenaje por lo que las descargas de agua se realizan en una fosa séptica. Algunas de las actividades más destacadas son snorkel, buceo deportivo, kayakismo, paddel, paseos en lancha, entre otras. Estudios realizados en la zona reportan que los contaminantes presentes corresponden a los provenientes de sólidos urbanos, materia orgánica y microbiológica. En comparación a los arrecifes Gallega y Chopá se puede considerar con un nivel menor de impacto antropogénico.

Conclusiones

El arrecife que recibe mayor impacto es el arrecife Gallega principalmente por su cercanía a la costa, las actividades antropogénicas que se realizan en la zona y por las descargas pluviales y fluviales que se depositan en su extensión del mar. De igual forma, el arrecife Chopá se ve impactado por su cercanía con la costa, los aportes de agua que recibe del río Jamapa y las descargas pluviales y fluviales de la Localidad Antón Lizardo. Por otra parte, el arrecife de Enmedio es el menos impactado debido a que la zona se encuentra a 8.5 km de distancia de la zona costera, además, gracias a su ubicación, es menos impactada por la pluma de agua

del río Jamapa, ya que los arrecifes de Chopá, Polo y Blanca reciben el impacto directo. Se determinó que los microorganismos más efectivos para medir el nivel de la calidad en cuerpos de agua y por ende, de contaminación de origen antropogénico en sistemas costero-tropicales siguen siendo los enterococos, debido a que su presencia no se ve tan afectada por las condiciones temporales, sin embargo, se recomienda ampliar su estudio al nivel de fondo y sedimentos, ya que se observa mayor concentración de los microorganismos en esta zona.

Literatura citada

- Baños Cruz, L. G. 2012. Distribución y concentración de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y enterococos en el agua y sedimento en el Estero Salado (tramos B, D, E y G). Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales 7(1):47-60.
- Goh, S. G., S., Bayen, D., Burger, B. C., Kelly, P., Han, V. Babovic, *et al.* 2017. Occurrence and distribution of bacteria indicators, chemical tracers and pathogenic *Vibrios* in Singapore coastal waters. Marine Pollution Bulletin 114(1):627-634.
- González-Fernández, D., M., Garrido-Pérez, E., Nebot-Sanz, y D. J. E., Sales-Márquez. 2010. Fecal pollution in coastal marine sediments from a semi-enclosed deep embayment subjected to anthropogenic activities: an issue to be considered in environmental quality management frameworks development. Ecohealth 7(4):473-484.
- Sánchez Domínguez, B. E. 2015. El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Campus Boca del Río. Boca del Río, Veracruz, México. 49 p.
- Saravia-Arguedas, A. Y., G. M., Lugioyo, A. S., Serrano, A. G., Watson, y L. S., Sierra. 2019. Fuentes terrestres de contaminación que impactan la zona marino- costera del Golfo de Papagayo, Costa Rica. Revista Ciencias Marinas y Costeras 11(2):59-74.

COMPARACIÓN DE EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS POR SOLVENTES Y SOXHLET APLICADOS EN *Chlorella vulgaris* DESHIDRATADA

Eduardo Hernández Aguilar⁴⁰⁰, Ángel Raúl Montero Durán, Ignacio Sánchez Bazán⁴⁰⁰, José Vicente Martínez⁴⁰⁰ y Nayeli Gutiérrez Casiano^{400*}

Resumen

En la actualidad la humanidad tiene una serie de retos que debe ir resolviendo para el futuro inmediato, desde la producción de alimentos, la producción de medicamentos, la búsqueda de nuevas fuentes de energía, así como la producción de la misma. Una posible alternativa es el aprovechamiento de los lípidos (grasas y aceites vegetales), puesto que, estas moléculas almacenan gran cantidad de energía en forma de carbono e hidrógeno, esta energía puede ser aprovechada para producir biocombustibles, como el biodiesel. El utilizar como fuente primaria las microalgas conlleva una serie de beneficios como la disminución de los costos de producción, la disminución de los gases de efecto invernadero debido a que paralelamente se utiliza una infraestructura distinta a la ya establecida y además que para el crecimiento de los microorganismos son fuente de captación de CO₂ directo de un proceso de fotosíntesis.

Los lípidos son sustancias potencialmente importantes en la producción de biocombustibles al ser una fuente de energía renovable y sostenible que permitirá, mantener el desarrollo sin comprometer a las generaciones futuras. Si bien este estudio tiene un abordaje desde la perspectiva de las microalgas puede extenderse al aprovechamiento de otras especies vegetales que permitan valorizar los residuos. La importancia de la extracción de lípidos radica en su capacidad para convertir biomasa en biocombustibles efectivos. En la producción de biodiésel, los lípidos extraídos se someten a un proceso de transesterificación para producir ésteres metílicos de ácidos grasos, que son el componente principal del biodiésel. Este proceso no solo facilita la conversión de lípidos en un combustible utilizable, sino que también permite la utilización de diferentes fuentes de lípidos, incluyendo aceites vegetales y grasas animales, así como residuos de la industria alimentaria.

Para el presente trabajo se utilizó microalga de *Chlorella vulgaris* deshidratada con el objetivo de comparar los métodos de extracción de lípidos de interés y de esta forma evaluar la eficiencia del método de extracción. Se realizó una caracterización evaluando carbohidratos, lípidos, pigmentos, capacidad de retención hídrica, capacidad de retención lipídica, humedad, cenizas totales, así como el porcentaje de lípidos totales, la eficiencia de extracción obtenida por maceración fue de 76.88% siendo superior a la eficiencia obtenida por método Soxhleth que solo llegó al 71.30%.

Palabras Clave: harina de microalga, lípidos, extracción sólido-líquido

⁴⁰⁰ Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: nagutierrez@uv.mx

Introducción

Los combustibles fósiles son una fuente de energía insostenible y están directamente relacionados con la degradación del aire, del agua y de la tierra, así como con el cambio climático; y a medida que aumenta significativamente el número de medios de transporte y, por ende, la cantidad de combustible que consumen, el mundo enfrenta el desafío de encontrar combustibles alternativos, ya que las reservas de combustibles fósiles se reducen. Por lo tanto, es fundamental sustituir gradualmente los combustibles fósiles por combustibles renovables y menos contaminantes (Bošnjaković y Sinaga, 2020). El biodiesel en específico constituye una buena alternativa frente al diésel de petróleo, pues éste es un combustible renovable con mejor biodegradabilidad, lubricidad, seguridad, menores emisiones contaminantes en comparación con el Diésel y también tiene potencial para el biosecuestro de CO₂ (Chamkalani *et al.*, 2020). Sin embargo, obtener biodiesel a partir de cultivos de semillas oleaginosas comestibles, altera el equilibrio mundial general de las reservas y la seguridad de los alimentos. Los cultivos de semillas no comestibles han cobrado importancia en los últimos años como materias primas para la producción de biodiesel, pero éstas no son suficientes para sustituir por completo las necesidades de transporte actuales. Por lo que el uso de microalgas, como materia prima de tercera generación, tiene varias ventajas, como una alta eficiencia fotosintética y una mayor producción de biomasa. Las microalgas no compiten por la tierra y pueden crecer en cualquier lugar, incluso en aguas salobres (Nautiyal *et al.*, 2014).

Este trabajo de investigación tiene como finalidad hacer un aporte significativo en el rubro de las energías renovables haciendo la extracción de lípidos por medio húmedo reduciendo el gasto de consumo de secadores y tiempo de secado, siendo ambiciosos podríamos pensar que es esta una de las opciones más favorables en el tema de energías renovables y una de las opciones más viables y provechosas para nuestra comunidad.

La elección entre el método de solventes (Cobos *et al.*, 2016). y la extracción Soxhlet (Battah *et al.*, 2014) para la extracción de lípidos depende de diversos factores que se deben considerar cuidadosamente para garantizar la eficiencia y precisión del proceso de extracción. El método de solventes, es notable por su simplicidad y rapidez. La adaptabilidad es otra ventaja significativa, ya que se puede ajustar fácilmente para diferentes tipos de muestras y solventes. Por otro lado, la extracción Soxhlet es un método continuo y más automatizado que

permite una extracción más extensiva de los lípidos. Este proceso utiliza un solvente seleccionado que se recircula continuamente a través de la muestra, lo que garantiza una extracción más completa y reproducible. La eficiencia de este método es superior, y la menor extracción de contaminantes no lipídicos en comparación con los métodos simples de solventes es una ventaja destacable.

Cuando se trata de la cantidad de muestra, el método de solventes es adecuado para pequeñas cantidades, ofreciendo una solución rápida y eficaz. Sin embargo, para grandes cantidades de muestra o aquellas que requieren una extracción exhaustiva, la extracción Soxhlet es la opción preferida debido a su capacidad para manejar volúmenes mayores con mayor precisión.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio 112 de Ingeniería Química Aplicada de la Facultad de Ciencias Químicas en Orizaba, Ver., equipado con estufas Ecoshell, Mufla Marca Felisa, centrifuga modelo Centrificien II CRM Globe, Balanza Analítica marca Ohaus, Espectrofotómetro Marca Thermo Scientific, y equipo para determinaciones gravimétricas.

Materiales

En el Cuadro 1 se muestra los materiales utilizados en el desarrollo experimental de la extracción de lípidos a partir de *Chlorella vulgaris* deshidratada marca Superfood, también muestra la etapa del proceso donde se utilizó cada material.

Cuadro 1. Materiales biológicos y químicos empleados en la extracción de lípidos a partir de *Chlorella vulgaris*.

Reactivo/Solvente	Uso / Etapa
Hexano	Solvente para extracción de lípidos
Ácido Sulfúrico	Determinación de carbohidratos
Fenol	Método fenol sulfúrico
Almidón	Curva de carbohidratos
Etanol	Pretratamiento de la extracción de lípidos
Cloroformo	Solución de extracción de lípidos totales
Metanol	Solución de extracción de lípidos totales

Caracterización de *Chlorella vulgaris* deshidratada

La caracterización de la *Chlorella vulgaris* deshidratada se realizó mediante la determinación de carbohidratos, lípidos totales, pigmentos (clorofila a, b y totales), capacidad de retención hídrica, capacidad de retención lipídica y cenizas totales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Caracterización *Chlorella vulgaris* deshidratada.

Determinación	Método	Referencia
Carbohidratos	Fenol sulfúrico	López et al., 2017
Lípidos	Método de Bligh & Dyer	Cobos et al., 2015
Clorofilas a	Método espectrofotométrico	López et al., 2017
Clorofilas b	Método espectrofotométrico	López et al., 2017
Clorofilas totales	Método espectrofotométrico	López et al., 2017
Capacidad de retención hídrica	Método gravimétrico	Mayta et al., 2017
Capacidad de retención lipídica	Método gravimétrico	Mayta et al., 2017
Humedad	Método gravimétrico	García-Pacheco et al., 2020
Cenizas Totales	Método gravimétrico	Ochoa et al., 2014

Comparación de los métodos de extracción de lípidos

La extracción de lípidos se realizó por dos métodos distintos y se eligió el más eficiente, el primer método fue la extracción Soxhlet y el segundo fue el método de extracción por maceración con solventes. La muestra desecada tuvo dos usos, una parte para la extracción por solventes donde solo se dejó secar, y otra cantidad para armar el cartucho para la extracción Soxhlet. La cantidad de lípidos y la eficiencia del proceso de extracción fueron las variables de respuesta.

Extracción por maceración con solventes

Se preparó una solución A que está constituida por 12 mL de metanol, 6 mL de cloroformo y 4 mL de agua destilada, esta solución se dejó reposar en completa obscuridad durante un lapso de 24 horas. Se pesó 1 g de harina de microalga de *Chlorella vulgaris* pretratada con ultrasonido y desecada y se colocó en un tubo de plástico Falcon y se le agregaron 38 mL de solución de extracción A, se sometió a centrifugación en una centrifuga modelo CENTRIFICIEN II CRM GLOBE a una velocidad de 3582 rpm durante un periodo de 5 min, el sobrenadante de esta operación se colocó en otro tubo, al precipitado resultante de la primera centrifugación se le agregaron 19 mL de solución de extracción y se agitó con un vortex Cole Parmer durante 3 min, después se centrifugó para realizar un lavado y garantizar la máxima extracción de lípidos, el sobrenadante de esta etapa se mezcló con el primer sobrenadante, esta operación se repitió ocho veces para obtener una cantidad importante de lípidos. Se utilizó una cápsula de porcelana y se colocó a peso constante y una vez que estuvo a temperatura ambiente se midió su masa en balanza analítica, los sobrenadantes se vertieron en ella y se colocaron en una estufa de calentamiento a una temperatura de 60°C durante 6 horas donde se eliminó el solvente de la solución de extracción, al finalizar se pesó la cápsula con el extracto de lípidos y por diferencia de masa se determinó la cantidad de lípidos extraídos. Con el peso de la cápsula y del extracto se obtuvo el porcentaje de extracción de lípidos como se muestra en la siguiente ecuación (Cobos *et al.*, 2016).

$$\% \text{ Extracción Lípidos} = \frac{A - B}{C} * 100$$

Donde *A* es la masa en g de la cápsula con los lípidos, *B* es la masa en g de la cápsula y *C* es la masa en g de biomasa seca pretratada.

Extracción por método Soxhlet

Se pesaron 50 g de harina de microalga pretratada para colocarla en un cartucho de papel filtro que previamente se pesó en balanza analítica. El cartucho se dejó por 24 horas en el desecador donde quedó listo para la siguiente etapa del proceso de extracción.

Una vez preparado el cartucho con la microalga, se procedió al montaje del aparato de extracción Soxhlet, primeramente, en el fondo del sifón se colocó un poco de algodón para evitar que la biomasa que pudiera salirse del cartucho obstruyera el tubo capilar, seguido de esto se colocó el cartucho con la muestra de microalga previamente tratada. Se utilizó un matraz redondo de fondo plano de 250 mL para colocar el solvente para la extracción, para este caso se utilizaron 220 mL de hexano (C_6H_{14}), el refrigerante se conectó al sifón y se hizo recircular agua a una temperatura de 25°C. Realizado el montaje de los componentes del extractor Soxhlet se empezó a calentar el solvente mediante una parrilla de calentamiento y se colocó a una temperatura de 200°C. Se calentó el matraz extractor y el solvente comenzó a evaporarse, el vapor una vez que tuvo contacto con el refrigerante se enfrió y se puso en contacto con la microalga del cartucho, el ciclo de extracción se repitió varias veces lo que permitió que el solvente entrara en contacto lo suficiente para arrastrar los compuestos de interés, para este caso el compuesto de interés fueron los lípidos. Después de 6 horas se alcanzó la concentración adecuada del compuesto de interés y se procedió a finalizar la extracción. El matraz con la mezcla de lípidos y hexano (C_6H_{14}), se dejó enfriar durante 30 min y se conservó bajo completa oscuridad para evitar la fotooxidación (Battah *et al.*, 2014).

Resultados y discusión

Se presentan los resultados de la presente investigación que contempla las siguientes etapas: caracterización fisicoquímica de la harina de microalga *Chlorella vulgaris* y la extracción de lípidos por el método Soxhlet.

Caracterización química de la harina de microalga *Chlorella vulgaris*

La caracterización química consistió en la determinación de carbohidratos, lípidos y clorofilas totales, las cuales permitieron evaluar la calidad de la harina de microalga y tener referencias

sobre las sustancias que se pueden aprovechar para efectos de investigación. Los carbohidratos se determinaron por el método fenol-sulfúrico obteniendo un valor de 0.137 ± 0.08 g/L teniendo como estándar la glucosa, esta concentración de carbohidratos para la harina de microalga *Chlorella vulgaris*, es aproximadamente 8.6% menor en comparación a los valores de carbohidratos totales de microalgas cultivadas en fotobiorreactores (Ardila *et al.*, 2017).

La concentración de clorofilas totales permitió cuantificar la cantidad de pigmentos presentes en la harina de microalga. Se midieron los parámetros de clorofilas A, B y totales. Con respecto al contenido clorofila A el contenido fue de $3.98 \mu\text{g/g}$, el de clorofila B que $2.12 \mu\text{g/mg}$ y el de clorofilas totales fue de $2.15 \mu\text{g/mg}$ los valores de las clorofilas de la harina de microalga son indicadores de la salud y calidad de la microalga, si se comparan con los obtenidos por (García *et al.*, 2014) los cuales fueron de $2.05 \mu\text{g/g}$ se observa que hay mayor concentración de clorofilas en la harina de microalga, debido a que la harina es un suplemento alimenticio, como suplemento es benéfico tener mayor concentración de clorofilas como fuente de nutrientes, pero para efecto del presente trabajo, esta riqueza de pigmento dificulta el proceso de refinación. Los lípidos totales se determinaron por el método de solventes (cloroformo – metanol) se obtuvo como resultado de esto un contenido lipídico de $18.64 \pm 0.069\%$ que comparado con lo obtenido por Palomino (2014) el cual fue de 21.3-22.1% indica un alto contenido de lípidos que fue la sustancia de mayor relevancia para este estudio, esta cantidad posteriormente se comparó con la extracción para asimismo compara la eficiencia de la extracción. El Cuadro 3 resume la caracterización de la microalga *Chlorella vulgaris* deshidratada.

Cuadro 3. Resultados de la caracterización *Chlorella vulgaris* deshidratada.

Determinación	Resultado	Valor (Referencia)
Carbohidratos	0.14 ± 0.02 g/L	0.150 g/L (Ardila-Álvarez <i>et al.</i> , 2017)
Clorofilas a	3.98 ± 0.14 $\mu\text{g/g}$	2.25 ± 0.12 $\mu\text{g/mL}$ (Yun <i>et al.</i> , 2019)
Clorofilas b	2.12 ± 0.011 $\mu\text{g/g}$	2.02 ± 0.09 $\mu\text{g/mL}$ (Yun <i>et al.</i> , 2019)
Clorofilas totales	4.34 ± 0.08 $\mu\text{g/g}$	2.05 $\mu\text{g/mL}$ (Gómez <i>et al.</i> , 2015)
Lípidos	$15.14 \pm 0.42\%$	21.5% de lípidos por biomasa (Baldiris <i>et al.</i> , 2022)

Extracción de lípidos de *Chlorella vulgaris* deshidratada

La extracción de lípidos se realizó por dos métodos distintos; la extracción por solventes y también por el método de Soxhlet, experimentalmente se obtuvo un mayor rendimiento en los ensayos de la extracción de los lípidos por medio de solventes, sin embargo, se optó por el de menor costo. La extracción por medio de solventes obtuvo un rendimiento de $16.53 \pm 0.24\%$ (m/m) por lo que si se compara con lo obtenido por (Baldiris *et al.*, 2022) que obtuvo un porcentaje de extracción del 21.50% m/m, mientras que el rendimiento de extracción por el método Soxhlet fue de $15.33 \pm 0.16\%$ (m/m). La extracción por medio de solventes evidentemente es más eficiente en cuanto a porcentaje de extracción, pero implica un costo de producción por el notable consumo de solventes (Hexano y metanol).

La extracción por el método Soxhlet implica un gasto energético relativamente alto pero compensado con el uso de un solo solvente (hexano) mismo que se recupera aproximadamente en un 90% (Navarrete *et al.*, 2020) por lo que la viabilidad para el uso de solventes está limitado al laboratorio, en cuanto al tiempo requerido de extracción el método de solventes es relativamente más rápido. En el Cuadro 4, se presentan los valores de extracción con y su eficiencia con el valor de referencia del autor.

Cuadro 4 Resultados de la extracción de lípidos de *Chlorella vulgaris* deshidratada comparada con resultados de la literatura.

Método	Resultado	Valor (Referencia)
Extracción por solventes	$16.53 \pm 0.24\%$	21.5% de lípidos por biomasa
Extracción por método Soxhlet	$15.30 \pm 0.16.54\%$	(Baldiris <i>et al.</i> , 2022)

Conclusiones

En la caracterización de microalga *Chlorella vulgaris* deshidratada se detectó la presencia de sustancias y minerales que no son aprovechables para la producción de biodiesel y lo que hace necesaria una etapa de refinación de lípidos. La extracción de lípidos extraídos de *Chlorella vulgaris* deshidratada es posible tanto por el método de maceración en solventes como por el método Soxhlet. A pesar de que la extracción por solventes es porcentualmente

más eficiente los costos del solvente y el tiempo hace que el método sea poco viable, sin embargo, el valor de la eficiencia por Soxhlet es de 71.30% con una ventaja operativa con un menor consumo de solvente.

Literatura citada

- Baldiris, N. I., Pérez, S. J. M., Cafiel C. A., Fajardo, C. J., Correa T. R., Castro, A. I. 2022. Producción de lípidos totales de la Microalga *Chlorella sp.* y *Chlorella vulgaris* en condiciones mixotróficas de cultivo. Teknos Revista Científica 22(1): 22-30.
- Battah, M., Yassin, A. El-Fatah A., Salah A. E., y Ahmed E. 2014. Effect of Mn^{2+} , Co^{2+} and H_2O_2 on biomass and lipids of the green microalga *Chlorella vulgaris* as a potential candidate for biodiesel production. Springer. Ann. Microbiol. 65:155-162.
- Bošnjaković, M., y N. Sinaga. 2020. The perspective of large-scale production of algae biodiesel. En Applied Sciences (Switzerland) 10(22):1-26. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10228181> [consultado el 5 de octubre de 2023].
- Chamkalani, A., Zendehboudi, S., Rezaei, N., y K. Hawboldt. 2020. A critical review on life cycle analysis of algae biodiesel: current challenges and future prospects. En Renewable and Sustainable Energy Reviews 134. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110143> [consultado el 5 de agosto de 2024].
- Cobos R., M. Paredes R., J. D. Castro G. y J. Carlos. 2016. Inducción de la producción de lípidos totales en microalgas sometidas a estrés nutritivo. Acta Biológica Colombiana 21(1): 17-26.

- García, C. R. 2014. Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂. Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica Vegetal y Biología Molecular. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/56164/TESIS%20DOCTORAL%20RGC.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consultado el 19 de octubre de 2022].
- García-Pacheco, Y. E., Cabrera, D., y Fuenmayor, C. A. 2020. Obtención y caracterización de harinas compuestas de *Cucurbita moschata* D. y *Cajanus cajan* L. como fuentes alternativas de proteína y vitamina A. *Acta Agronómica*, 69(2):89-96. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n2.80412> [consultado 2 de agosto de 2024].
- Ghasemi Naghdi, F., González González, L. M., Chan, W., y Schenk, P. M. 2016. Progress on lipid extraction from wet algal biomass for biodiesel production. *Microbial Biotechnology* 9 (6):718–726. John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12360> [consultado 2 de Agosto de 2024].
- López Legarda, X., Taramuel Gallardo, A., Arboleda Echavarría, C., Segura Sánchez, F., y Restrepo Betancur, L. F. 2017. Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Rev. Cubana Quím*, 29(2):180-198. doi:2224-5421.
- Mayta, D. D. M., Del Pilar Gutiérrez D., M., Juárez, J. A. S., y Dávalos, E. G. 2017. Parámetros de calidad de harinas de *Amaranthus caudatus* Linnaeus (amaranto), *Chenopodium quinoa* Willd (quinua), *Chenopodium pallidicaule* Aellen (kañahua), *Lupinus mutabilis* Sweet (tarwi). *Revista CON-CIENCIA*, 5(1):27-38. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v5n1/v5n1_a03.pdf.
- Nautiyal, P., Subramanian, K. A., y Dastidar, M. G. 2014. Production and characterization of biodiesel from algae. *Fuel Processing Technology*, 120:79–88. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.12.003>.

- Navarrete P., M., Zambrano M., Silvia, Zambrano S., W. Romero P., M., Racines J., Marcelo, Paredes P., E. Quintero R., L., y Ortega C. D. 2020. Evaluación de la eficiencia de tres equipos de extracción de aceite con diferentes genotipos de palma aceitera (*Elaeis* sp.). Enfoque UTE, 11(2):21-28. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.541>.
- Ochoa P. A., Marin M. J., Rivero B., Damari y Aguilera S., E. M. 2014. Caracterización física, físico-química y química de extractos totales de hojas frescas de *Petiveria alliacea* L. con acción antimicrobiana. Revista mexicana de ciencias farmacéuticas, 44(1):52-59. Recuperado en 22 de abril de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952013000100007&lng=es&tlng=es.
- Palomino, A., Bocanegra, C. C., López, J. E., & Flórez, L. M. 2014. Biodiesel a partir de aceite de higuera utilizando lipasa inmovilizada. Ingeniería y Competitividad, 12(1):9-18. <https://doi.org/10.25100/iyc.v12i1.2698>.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PRODUCTORA DE CAFÉ POR ELECTROCOAGULACIÓN Y FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO

Alondra Valerio Jiménez⁴⁰¹, Nayeli Gutiérrez Casiano⁴⁰¹, Karla Díaz Castellanos⁴⁰¹,
José Manuel Rosado Ortiz⁴⁰¹, José Vicente Martínez⁴⁰¹ y Eduardo Hernández Aguilar^{401*}

Resumen

México cumple con las características necesarias para la producción de café debido a su altura, clima y suelo, permitiéndole obtener un producto reconocido por su calidad y ser uno de los mayores productores de café. Las aguas residuales que derivan de la agroindustria cafetera están conformadas por una variedad de contaminantes (compuestos inorgánicos, sólidos en suspensión, diversas sales y cafeína) que aumentan la complejidad de su tratamiento debido a que no es fácilmente biodegradable. En consecuencia, resulta esencial buscar soluciones innovadoras y eficaces para el tratamiento de estas aguas residuales, por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad del empleo de la combinación de la electrocoagulación (EC) y la flotación por aire disuelto (DAF) para la depuración efectiva de efluentes industriales. La experimentación se llevó a cabo en un prototipo con volumen de 20 L, placas de aluminio como parte del tratamiento electroquímico y una bomba peristáltica, con la que se evaluó la efectividad del sistema a diferentes flujos (3 L/h, 4 L/h y 5 L/h). El diseño contó con una parte de carga de agua residual en constante agitación hacia el reactor y una descarga por medio de la parte inferior del mismo. Se utilizó una fuente de alimentación de energía eléctrica digital, manteniendo un amperaje de dos. Para la evaluación del proceso de remoción se tomó un tiempo de tratamiento de tres horas y alícuotas en intervalos de 30 min. Se realizaron caracterizaciones fisicoquímicas a la muestra inicial y a cada alícuota, en las que destaca el pH y la Demanda Química de Oxígeno. De acuerdo con los resultados obtenidos en las caracterizaciones, la prueba con mayor eficiencia fue la de 5 L/h, con un 65% de remoción de la materia presente, la cual, comparada con un tratamiento biológico requiere significativamente de menor tiempo, satisfaciendo a mayor escala la cantidad de agua residual producida por la agroindustria.

Palabras clave: electroquímica, contaminación, remoción

⁴⁰¹ Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: eduherandez@uv.mx

Introducción

México es un país que cumple con las características necesarias para la producción de café debido a su altura, clima y suelo, permitiéndole tener reconocimiento por la calidad de éste (SADER, 2022); el café representa una de las bebidas más populares de nuestro país, siendo uno de los mayores productores a nivel mundial (INAES, 2019).

La región de Córdoba-Orizaba y alrededores se enorgullece de su próspera agroindustria cafetera, una de las áreas más destacadas en la producción y desarrollo del café a nivel nacional; es reconocida por su diversidad en la elaboración de diferentes variedades, entre las cuales destaca el soluble, componente esencial en la oferta de la región. El desarrollo antropogénico ha conducido a la implementación de nuevas técnicas en la industria, técnicas que requieren de otros compuestos no planificados desde el punto de vista medioambiental, complicando los procesos de tratamiento y forzando el desarrollo de nuevas tecnologías.

Las aguas residuales que derivan de la agroindustria cafetera están conformadas por una variedad de contaminantes aumentando la complejidad de su tratamiento debido a que no son fácilmente biodegradables (Dobrosz *et al.*, 2020). Algunos compuestos que conforman los residuos del café son: pectinas sin refinar, fibra dietética soluble principalmente del mucílago (capa que rodea a los granos), azúcares naturales del fruto del café, antioxidantes y flavonoides, principalmente de la piel y extracción de algunos químicos colorantes (Supriya *et al.*, 2015). En el Cuadro 1 se muestran las características:

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del agua residual de café (Torres-Valenzuela *et al.*, 2019).

Parámetro	Valor	Unidades
pH	4.025 ± 0.035	N/A
Conductividad	3.035 ± 0.035	µS/cm
Oxígeno disuelto	1.25 ± 0.070	mg/L
DQO	>1500	mg/L
Color	8.11	ΔE

En este contexto, se vuelve esencial buscar soluciones innovadoras y eficaces para el tratamiento de estas aguas residuales. Dentro de las tecnologías emergentes, el uso de la electroquímica es un candidato fuerte, haciendo uso de la combinación de la electrocoagulación (EC), mostrando una posible remoción hasta de 90% (Bui, 2017), y la flotación por aire disuelto (DAF), para la separación de sólidos suspendidos hasta en un 82% (Salas Colotta, 2004), han demostrado ser un método potencial para la depuración efectiva de efluentes industriales. En este trabajo de investigación se evalúa la viabilidad y eficiencia del tratamiento de aguas residuales cafeteras mediante la combinación de electrocoagulación y flotación. Se pretende aportar soluciones concretas a los desafíos ambientales específicos de esta región, a la vez que se aspira a establecer un modelo innovador y sostenible para el tratamiento de efluentes en la agroindustria cafetera local.

Materiales y métodos

Muestreo y caracterización del agua residual

Las aguas residuales que se analizaron fueron obtenidas del efluente producto del procesamiento de una industria de café, las tres muestras fueron obtenidas de la fosa recolectora de las aguas del proceso. Se realizó un análisis fisicoquímico para tener los valores de referencia de la efectividad del tratamiento.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que indica la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica presente en el agua; en su evaluación se utiliza el micro - método de reflujo cerrado y espectrofotométrico empleando el dicromato de potasio como oxidante, mientras que para el potencial de Hidrógeno (pH) y la turbidez (cantidad de partículas en suspensión y disueltas) se siguió la Normatividad Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016 y NMX-AA-038-SCFI-2001 respectivamente.

Diseño y operación del reactor

La experimentación se llevó a cabo en un prototipo CSTR con volumen de 20 L de forma cilíndrica en la parte superior que evita espacios muertos en la aplicación del sistema de aeración, este fue aplicado con burbujas de un diámetro de 3 a 5 mm y una presión aproximada

de 2.5 KPa, mediante la conexión a un compresor de aire. Se utilizó una fuente de alimentación de energía eléctrica digital, manteniéndola con dos de amperaje, una diferencia de potencial de 12 a 18 voltios y considerando un tiempo de tratamiento de tres horas. El material utilizado para las placas fue de aluminio, esto debido a que ha demostrado porcentajes altos de remoción, alta resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica de 3.78×10^7 m/s aunado a su fácil acceso y costo (Amador y Rangel, 2019). La dimensión de las placas fue de 8 x 25 cm, lo que conlleva a una densidad de corriente de 5×10^{-3} A/cm² (determina la cantidad de iones que serán liberados por los electrodos).

Durante el tiempo de tratamiento se tomaron alícuotas de la manguera de descarga al recipiente de agua tratada en intervalos de 30 min, con la finalidad de analizar sus características y cuantificar el periodo de remoción de contaminantes. Se implementó una bomba peristáltica y se manipularon flujos de 3, 4 y 5 L/h, con un sistema de carga de agua residual al reactor (en la parte superior) en constante agitación para mantener un flujo homogéneo, y descarga del agua tratada a un recipiente, como se muestra en la Figura 1.

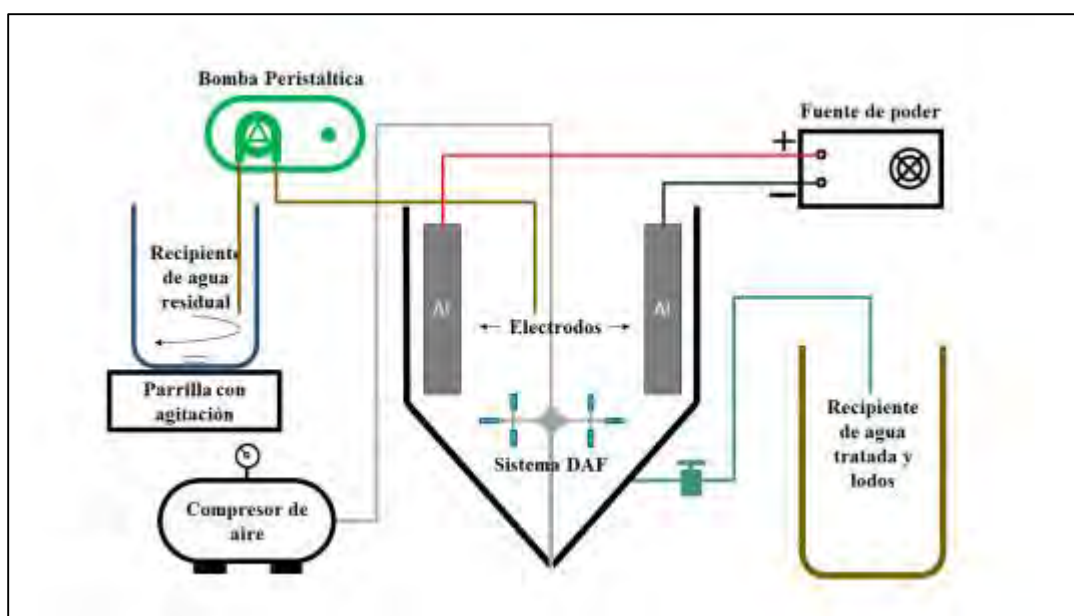


Figura 1. Representación del prototipo EC-DAF.

Las placas positivas sufren reacciones anódicas, es decir, de oxidación, por lo que los cationes de Al^{+3} son liberados en el medio (placas consumibles) neutralizando las cargas de las

partículas desestabilizando los sistemas de suspensión de contaminantes. Las placas negativas sufren reacciones catódicas o de reducción, las cuales se completan cuando los iones libres viajan a través del aluminio en donde reaccionan con el agua, llevando a cabo un proceso denominado hidrólisis, liberando aniones OH^{-1} ; estos dos iones se unen para formar hidróxidos de aluminio, los cuales se unen a los contaminantes presentes en el agua, mismos que han sido cargados negativamente, formando de esta manera complejos de aluminio que se unen debido a la diferencia de cargas y son arrastrados hacia la superficie para ser recolectados. La distribución de las placas de aluminio dentro del reactor se muestra en la Figura 2. Cada una cuenta con una separación de 2.5 cm.

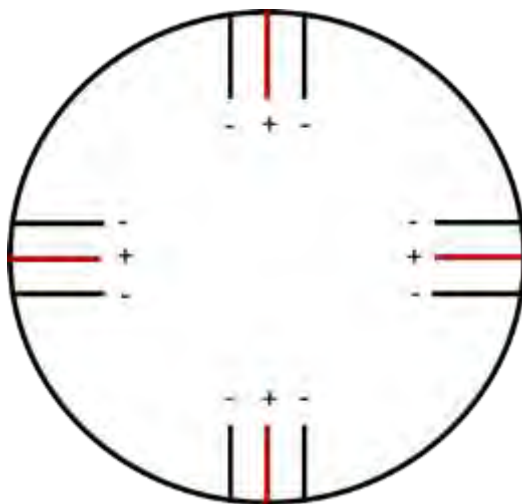


Figura 2. Distribución de placas de aluminio dentro del reactor EC-DAF.

Análisis fisicoquímico

Un análisis fisicoquímico proporciona los datos necesarios para la identificación de los contaminantes y sus concentraciones en el agua, así como para conocer si el tratamiento propuesto es lo suficientemente eficaz para que la industria cumpla con los límites permisibles de acuerdo con su descarga. Para la caracterización de las muestras se tomaron en cuenta los mismos parámetros de la caracterización de las muestras iniciales de agua residual (DQO, pH y turbidez) y se analizaron estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un nivel de significancia del 0.05.

Resultados y discusión

Los resultados para la caracterización de las muestras iniciales mostraron acidez y una alta DQO como se muestra en el Cuadro 2, los cuales están comparados con los límites máximos permisibles (LMP) de descarga a ríos, arroyos, canales y drenes de la Norma Oficial Mexicana 001 SEMARNAT-2021.

Cuadro 2. Resultados de la caracterización del AR inicial.

Prueba	Flujo			Límites máximos permisibles*
	4.63	4.54	4.96	
pH	4.63	4.54	4.96	6 - 9
Turbidez	747 NTU	654 NTU	296 NTU	N/A
DQO	3600 mg/L	4566.67 mg/L	4833.33 mg/L	150 mg/L (promedio mensual)

*De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Se observó una diferencia en el porcentaje de remoción de la materia orgánica presente para cada flujo probado con la bomba, mostrado en el Figura 3, sobresaliendo la prueba a 5 L/h con un 65% de remoción. Cabe destacar que el análisis de las muestras se llevó a cabo posterior a la sedimentación de estas, dándoles de dos a tres días para que los coágulos aún presentes no perturbaran los resultados de la efectividad del tratamiento, lo que conlleva a la adición de un sedimentador o un retenedor de los lodos como parte del tratamiento.

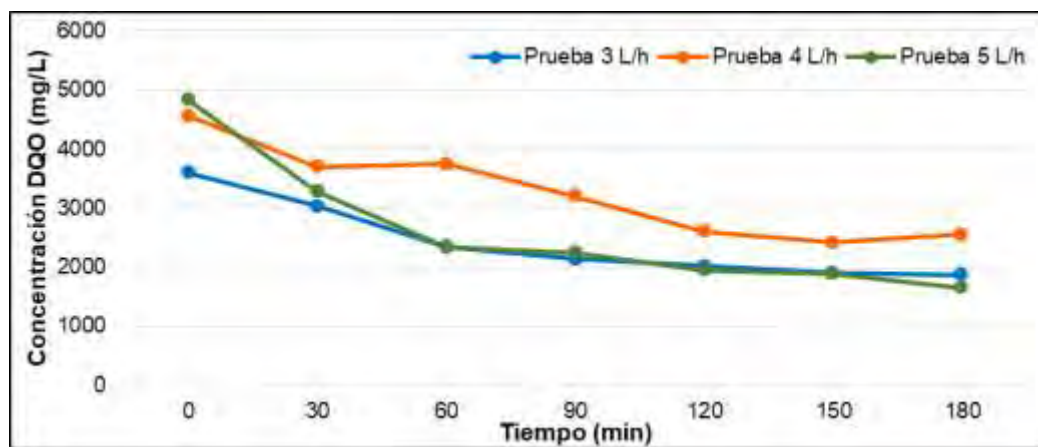


Figura 3. Cinética de remoción de DQO mediante el sistema EC-DAF.

La Figura 4, muestra como el pH de las muestras tiende a neutralizarse, debido a que los hidróxidos de aluminio alcalinizan el agua, lo que conlleva a una ventaja del sistema propuesto, ya que, al ser un agua residual originalmente ácida, necesita cumplir con los límites permisibles de descarga, los cuales van de 6 a 9 en función del receptor. Este comportamiento representa una ventaja en comparación con un tratamiento biológico, debido a que no requiere de un control del caudal de entrada con respecto al pH que puede poner en riesgo una actividad microbiana.

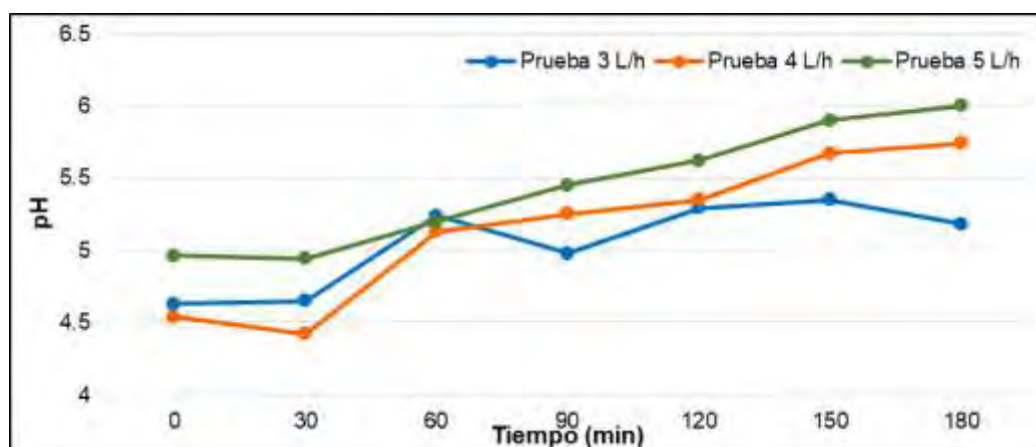


Figura 4. Estabilización del pH durante el proceso de tratamiento EC-DAF.

Como resultado de las pruebas de turbidez de las muestras de agua, en la Figura 5 se muestra que existen oscilaciones significativas, con lo que se puede derivar que el sistema de aeración al ser continuo tiende a homogenizar el agua perturbando los resultados.

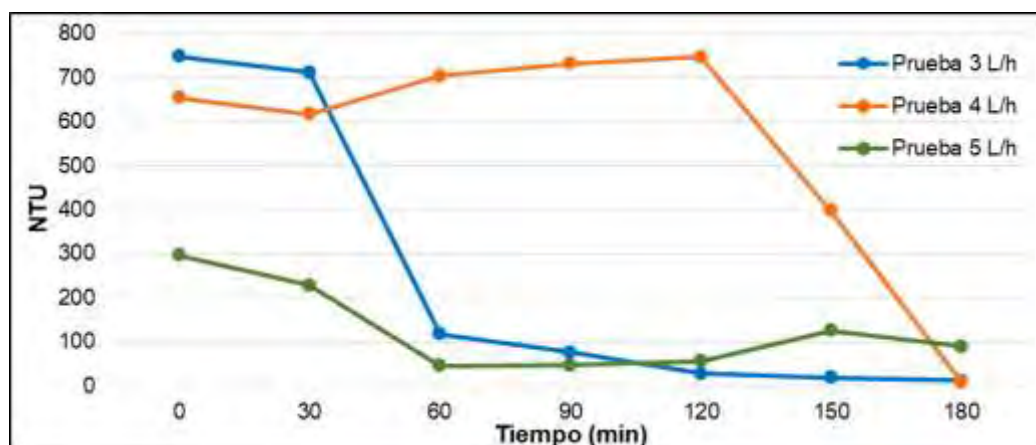


Figura 5. Cinética de turbidez mediante el periodo de tratamiento EC-DAF.

Mediante un análisis estadístico se estimó el valor de probabilidad de cada una de las caracterizaciones en función del flujo, teniendo como resultado en el porcentaje de remoción y turbidez de cero, mientras que en pH un valor de 0.008, siendo menor que alfa (α). Esto deduce que existe una diferencia significativa por lo que el modelo de 5 L/h es el que tiene mejores resultados.

Generalmente, en esta agroindustria se tratan las aguas residuales mediante la sedimentación y como alternativa a esta la flotación por aire disuelto, teniendo una buena funcionalidad solo como tratamiento primario para la eliminación de los sólidos suspendidos (Ruiz Maldonado, 2008). En este trabajo la electrocoagulación es un complemento que aumenta la eficiencia de remoción gracias a los hidróxidos metálicos como adsorbentes, permitiendo que las moléculas de los contaminantes se adhieran (Ochoa y Aguas, 2023) y exista una mayor remoción de la materia orgánica presente en el agua, específicamente los contaminantes de estructura compleja. Uno de los tratamientos más populares y/o estudiados en el tratamiento de las aguas residuales de la agroindustria cafetera es la anaerobiosis, la cual, pese a que ha tenido una efectividad de remoción en un 95%, requiere de un tiempo de retención hidráulica en un reactor CSTR de 40 días (Morales *et al.*, 2018) lo que no resulta lo suficientemente eficiente para una industria que llega a reportar hasta 110 m³ por cada 100 t de café procesado, siendo el sistema propuesto una mejor opción para dicha demanda.

Aumentando la eficiencia de este método de tratamiento de aguas residuales, respecto al consumo eléctrico y el tiempo de residencia hidráulica, se obtendrá una opción viable para la implementación en la agroindustria cafetera, atendiendo los recursos económicos y responsabilizándose de sus descargas.

Conclusiones

Se evaluó la operación del prototipo de un reactor electroquímico en tres flujos diferentes. El caudal con mayor eficiencia fue el de 5 L/h, con hasta un 15% de remoción mayor en comparación con los otros flujos, obteniendo un mejor comportamiento respecto al tiempo. Una descarga de agua residual de este tipo en un cuerpo hídrico representa una amenaza a las especies, debido a que ocasionaría el agotamiento de oxígeno disuelto aunado al indicio de la

eutroficación; la combinación de estos sistemas resulta ser efectiva como parte de un tratamiento primario avanzado de aguas residuales de la agroindustria cafetera.

Literatura citada

Amador Baez, K. S., & Rangel Calderon, H. 2019. Propuesta de un sistema de tratamiento de agua residual industrial en el proceso de elaboración de la panela en la empresa Doña Panela Ltda. Fundación Universidad de América.

Arango Ruiz, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación* 2:49-56.

Bui, H. M. 2017. Optimization of electrocoagulation of instant coffee production wastewater. *Polish Journal of Chemical Technology*, 19(2): 67-71.

Dobrosz Gómez, I., Gómez García, M. Á., & Ibarra Táquez, H. N. 2020. Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. *Escuela de Ingeniería de Antioquia* 1-17.

INAES (Instituto Nacional de la Economía Social). 2019. Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/historia-del-cafe-y-su-cultivo?idiom=es>

Ochoa Fajardo, M. C., y Aguas Mendoza, Y. 2023. Revisión de tratamientos de aguas residuales y su enfoque en procesos de electrocoagulación (EC). p. 121-150. *In: CECAR (ed.) Prácticas investigativas de jóvenes investigadores en Sucre, Colombia.*

Ruiz Maldonado, J. L. 2008. Evaluación de un sistema fisicoquímico para el tratamiento de los efluentes del beneficio de café. Tesis de maestría. Colegio de la Frontera Sur.

- Salas Colotta, G. 2004. Diseño de un flotador por aire disuelto (DAF) en el tratamiento del agua residual de una textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 7(1): 36-39.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2022. Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>.
- Morales Paredes, C., Rivadeneira Mendoza, B., & García Moreira, S. 2018. Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *Revista ESPAMCIENCIA* ISSN 1390-8103, 9(1):23-32. Recuperado a partir de http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/152.
- Supriya, R., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., & Ghiwari, G. K. 2015. A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Environ Sci Pollut Res*, 6461-6472.
- Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. 2019. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista Ion*, 32(2):59-66. doi:10.18273/revion.v32n2-2019006.

EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN DE *Trimezia steyermarkii* (RC-Foster) EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL TecNM/ITBoca

José Rodolfo Rosas Matey⁴⁰², Paula Zúñiga Ruíz^{402*}, Isabel Araceli Amaro Espejo⁴⁰²,
Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez⁴⁰² y Fabiola Lango Reynoso⁴⁰²

Resumen

Para mitigar la contaminación hídrica se han buscado estrategias ecológicas, como los humedales artificiales o construidos, los cuales consisten en ser sistemas de ingeniería diseñados para el tratamiento de las aguas residuales, formados por celdas rellenas de sustrato, donde crecen microorganismos y plantas y en los que fluye el agua a tratar. Estos sistemas de ingeniería son aplicados en la fitorremediación y se caracterizan por ser una de las alternativas más limpias y económica para la remediación del recurso hídrico en comparación con otros sistemas de tratamiento. Con respecto a la vegetación, se ha implementado el uso de macrófitas de humedales naturales porque están adaptadas a condiciones de saturación, pero recientemente se han estudiado plantas terrestres ornamentales cuyo crecimiento y reproducción se ven beneficiados al estar incorporadas en los humedales artificiales, debido a la carga de materia orgánica que estos proveen. Por otro lado, la concentración de contaminantes suele disminuir de entrada a salida, lo cual podría interferir en el crecimiento de plantas y su floración. En la presente investigación se utilizó la especie *Trimezia steyermarkii* para evaluar su capacidad de adaptación y crecimiento dentro del humedal artificial de flujo subsuperficial en el TecNM/ y comparar su crecimiento y adaptación en tres posiciones a lo largo de la celda de estudio durante 120 días. La investigación demostró una respuesta favorable en cuanto a su adaptación y resistencia dentro del humedal artificial, tolerando altas temperaturas, frentes fríos y fuertes vientos. Visualmente se observó un crecimiento no homogéneo entre las tres secciones; sin embargo, la tasa de crecimiento, follaje y floración demostró mediante un análisis estadístico (ANOVA) que no existen diferencias significativas, logrando en las tres secciones una altura, una floración y un follaje deseado. Lo que prueba que la especie de *T. steyermarkii*, aun siendo una planta de ornato, generó buenos resultados en cuanto a su resistencia y capacidad de adaptación dentro de un humedal artificial; además los datos obtenidos son similares a los reportados por otros investigadores en la evaluación de adaptación de especies en humedales artificiales pertenecientes a la familia Iridáceas.

Palabras clave: fitorremediación, aguas residuales, tasa de crecimiento

⁴⁰² Instituto Tecnológico de Boca del Río / Tecnológico Nacional de México. *Autor de correspondencia: paulazuniga@bdelrio.tecnm.mx

Introducción

El agua es un recurso natural esencial y vital para los seres vivos; no obstante, el crecimiento excesivo de la población, la urbanización no planificada, las actividades antropogénicas, la avanzada industrialización y el mal manejo de los recursos hídricos naturales ha traído como consecuencia un deterioro en la calidad del agua, (Vardhan *et al.*, 2019). El tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas se ha convertido en una de las principales necesidades que enfrenta la actualidad, aunado a la escasez de agua que actualmente es una problemática que enfrenta México, ya que cerca de dos tercios de su territorio en áreas áridas y/o semiáridas enfrentan escasez natural de agua (Arreguin *et al.*, 2019).

Debido a los costos elevados de plantas de tratamiento de aguas, se ha decidido por el uso de humedales artificiales que se han utilizado en los últimos años para el tratamiento de las aguas residuales. Los humedales artificiales son una alternativa viable debido a sus bajos costos de construcción y operación, lo que los convierte en una opción atractiva para aplicarla en localidades de baja densidad poblacional (García-Acevedo *et al.*, 2023).

Los humedales artificiales consisten principalmente en estanques poco profundos en los que se coloca material o medio filtrante que sirven de soporte para las especies vegetales adaptadas a la vida acuática y en los que la depuración se basa en procesos naturales biológico, físico y químico. El funcionamiento de los humedales artificiales es con base al uso de plantas macrófitas que desempeñan diversas funciones beneficiosas para la filtración y la adsorción de contaminantes de las aguas residuales (Carballeira *et al.*, 2017). Las plantas macrófitas acuáticas son efectivas para reducir sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, etc., y pueden desarrollarse en un rango de pH entre 5-10, tolerando temperaturas entre 5 y 30°C (Warrier y Saroja, 2008); su principal importancia se debe a la capacidad que tienen para acumular grandes cantidades de contaminantes, por lo que son ampliamente utilizadas como bioindicadores de la calidad del agua y en estrategias de fitorremediación.

Dentro de los sistemas biológicos, el uso de plantas acuáticas ha tomado mayor importancia, por su efectividad y su bajo costo, volviéndose un tratamiento alternativo secundario o terciario de aguas residuales, ya que se han obtenido resultados favorables en la remoción de sustancias orgánicas e inorgánicas, como nutrientes y metales pesados etc. (Miretzky *et al.*, 2004; Novotny y Olem, 1994; Singh *et al.*, 2003).

El papel que juegan las plantas ornamentales en el humedal consiste en la absorción de nutrientes que se obtienen después de la degradación microbiológica de la materia orgánica que trae el agua residual (Sandoval *et al.*, 2019). La *Trimezia steyermarkii* es una especie que se ha utilizado a lo largo de los años como planta de ornato, para jardines y parques por su largo periodo de floración. Pertenece a la familia de las Iridáceas, las cuales se contemplan como plantas altamente fitorremediadoras de acuerdo con (Oyuela *et al.*, 2017); sin embargo, su estudio como planta fitorremediadora ha sido nulo. Núñez *et al.*, 2014 documentaron el crecimiento y desarrollo de la planta en suelos con buen flujo de agua, aunado a esto; sus características de adaptación son muy altas ya que tolera temperaturas que van de 3°C a 48°C, y pH de 3 a 9 (Núñez *et al.*, 2014). La fitorremediación es un proceso viable y económico que emplea diversas plantas con capacidad de absorción de los contaminantes tóxicos presentes en el agua residual (Ansari *et al.*, 2020). Por lo anterior, el objetivo del presente es evaluar la capacidad de adaptación y crecimiento de la planta (*Trimezia steyermarkii*) en un humedal artificial de flujo subsuperficial.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Humedal Artificial del Instituto Tecnológico de Boca del Río, municipio de Boca del Río, Veracruz, ubicado en la zona centro costera del estado, en las coordenadas 19° 07' latitud norte y 96° 06' longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar, limita al norte y noroeste con Veracruz, al este con el Golfo de México, al sureste con Alvarado, al sur con Medellín (Figura 1). Predomina un clima cálido subhúmedo, una temperatura de 24-26°C, con una precipitación media anual de 1500-2000 mm. El humedal artificial es de flujo subsuperficial donde el agua residual que proviene del Instituto que ingresa al sistema es mediante un tanque sedimentador de 2,500 L, por medio de gravedad. Este humedal está constituido por siete celdas, construido de concreto y muros de block, que utiliza diferentes sustratos: tezontle, PET, concha de ostión y caracol que sirven de soporte para las plantas. Las plantas para este estudio se colocaron en la segunda celda del humedal artificial, la cual está compuesta por 18.7 m³ de tezontle, 4.4840 m³ de caracol y 2.2420 m³ de concha,

generando una dimensión de 13.5 m³ de sustrato. Antes de la colocación de las plantas se eliminó la maleza de la celda.



Figura 1. Humedal artificial, limpieza de la celda dos.

Se utilizó la especie iris amarilla (*Trimezia steyermarkii*) la cual se caracteriza por ser un género de plantas herbáceas, perennes, bulbosas perteneciente a la familia Iridaceae (Figura 2).



Figura 2. Planta utilizada, Iris amarilla (*T. steyermarkii*).

Las especies del género son oriundas de las regiones más cálidas de América Central, América del Sur y las Antillas. Comprende alrededor de 40 especies.

Las plantas nacen de rizomas cortos, presentan un abanico de hojas parecidas a la de los lirios (Iris) y flores efímeras similares a Cypella, con tres segmentos externos más grandes y los tres internos pequeños. La mayoría de las especies tienen flores de color amarillo, con manchas marrones o púrpuras en el centro, aunque son de corta duración la planta continúa floreciendo durante un largo período. Este género crece durante el verano y tienen un período de reposo en el invierno; se cultiva comúnmente como planta ornamental en parques y jardines (Chukr y Giulietti, 2001).

Se recolectaron plántulas silvestres de *T. steyermarkii* al azar en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz y se colocaron en bolsas de vivero de 500 g con suelo de la misma área de recolección. Posteriormente fueron transportadas al Instituto Tecnológico de Boca del Río. Después de cinco días, se sacaron de la tierra y se mantuvieron en adaptación en un estanque en agua del humedal durante 15 días, pasado ese tiempo, se trasplantaron en la celda dos del humedal artificial. Se colocaron 36 plántulas a lo largo de la celda, formando tres secciones con 12 plántulas, considerando a la sección A1 como entrada, sección B2 posición central y sección C3 como salida. Las plántulas en cada tratamiento se sembraron a una distancia de 50 cm y a una profundidad de 15 cm. El área experimental se mantuvo libre de maleza, realizando la eliminación de forma manual sin causar estrés en la planta (Figura 3).

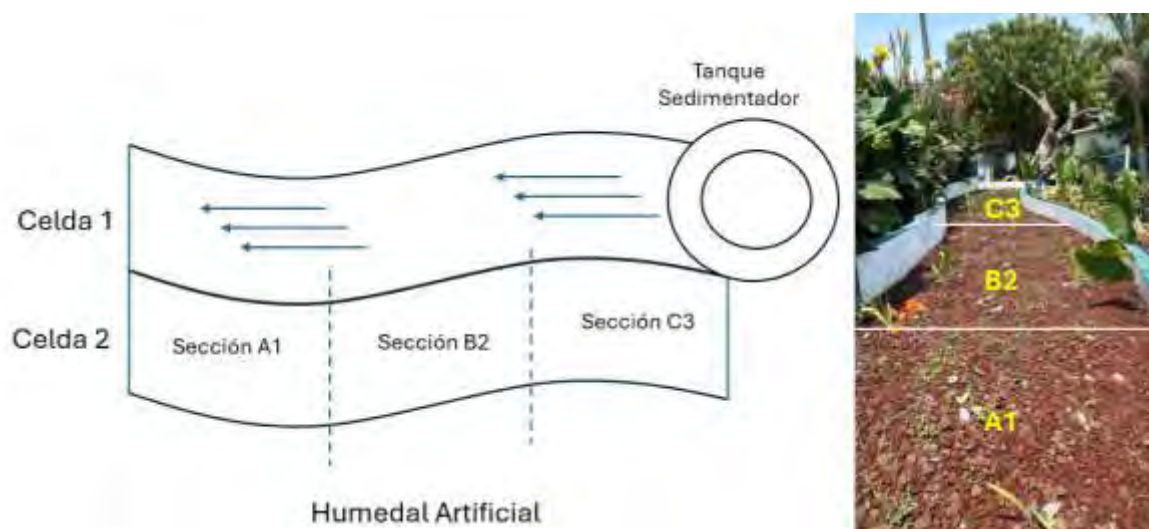


Figura 3. División del área experimental en secciones.

Se determinó la supervivencia de las plantas en el humedal artificial durante 120 días de enero a mayo de 2024. Se realizaron mediciones de altura, número de hojas y número de flores. Los datos fueron anotados en una libreta de campo, para posteriormente ser ingresados al programa Excel. Se calculó la tasa de crecimiento de las plantas al término de los 120 días y se realizó un análisis comparativo entre las secciones A1, B2 y C3.

Resultados y discusión

La vegetación en los humedales artificiales es un elemento importante para el tratamiento de las aguas residuales, donde las plantas macrófitas son capaces de sobrevivir, crecer y reducir la materia orgánica presente. En este estudio se observó que, a los 120 días de la siembra en el humedal artificial, el iris amarillo se mantuvo estable, sin pérdida de individuos y mostrando un crecimiento gradual en las tres secciones de la celda (Figura 4). La altura de las plantas osciló de 8-68 cm en la sección A1, de 12-66 cm en la sección B2 y de 10-56 cm en la sección C3.

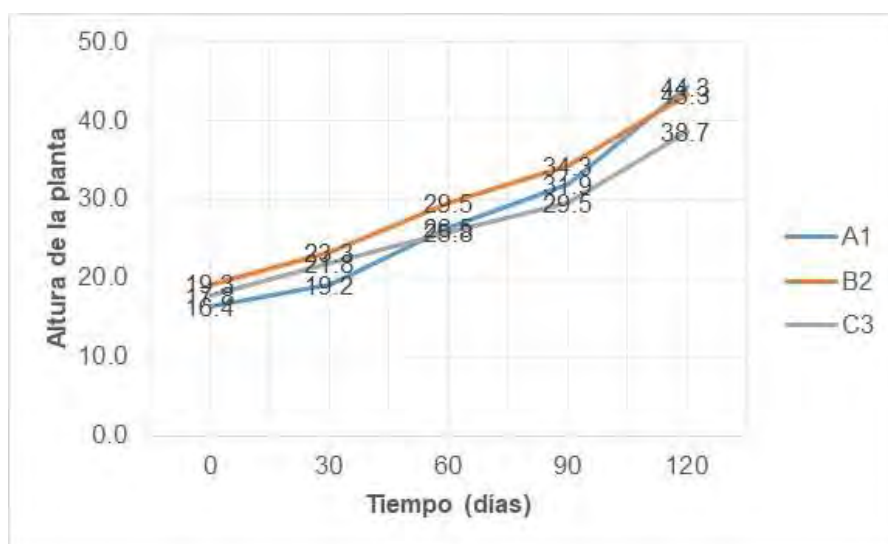


Figura 4. Crecimiento gradual de Iris amarilla (*T. steyermarkii*).

La adaptación de la planta durante esta especie mostró el crecimiento de brotes en un 53% de las plantas. Núñez *et al.* (2004) mencionaron que las plantas utilizadas en humedales

artificiales deben ser tolerantes, tener una rápida tasa de crecimiento, que sea fácilmente cosechables y que sean especies endémicas.

En relación con la altura, número de hojas y flores entre las secciones de la celda no existen diferencias estadísticas (Figura 5).

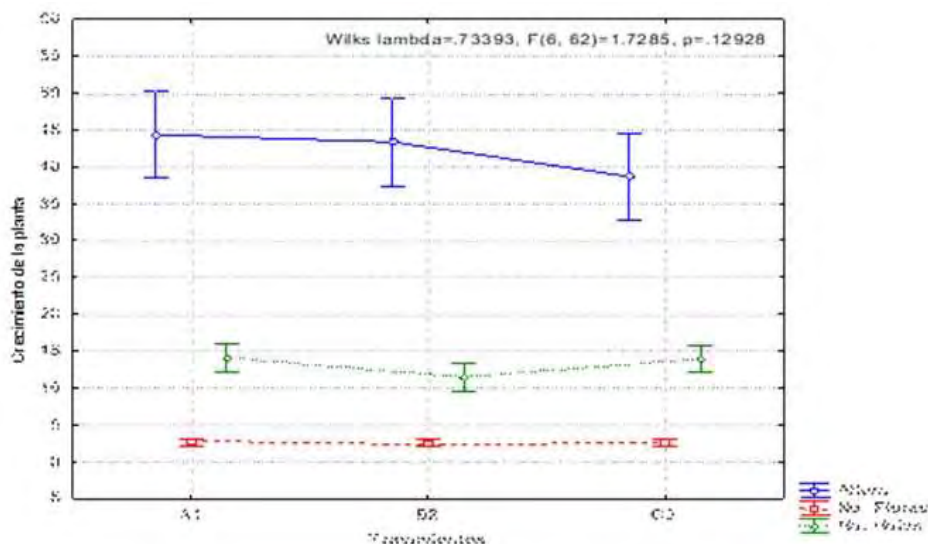


Figura 5. Variación del crecimiento de la planta con relación a la altura, número de hojas y flores.

Sin embargo, se observó que la especie *Trimezia steyermarkii* en el humedal artificial no tuvo un crecimiento homogéneo en las tres secciones de la celda, lo cual podría atribuirse a la cantidad de nutrientes que provienen de la materia orgánica de las aguas residuales. En el humedal artificial, las plantas son colocadas en cada una de las celdas, de esta manera, cuando el agua entra al sistema, llega con mayor concentración de nutrientes y contaminantes, donde el agua fluye a través del sistema hasta la salida, logrando que se depure gradualmente, es por esto que, la presencia de esos nutrientes determina el crecimiento de las plantas (López *et al.*, 2022).

Por otro lado, la tasa de crecimiento (TC) varío entre las secciones de 13-37% en A1, de 13-34% en la sección B2 y de 13-26% en C3, por lo que se observó que no se encontraron diferencias significativas en la TC (Figura 6). Sin embargo, de acuerdo a los resultados aquí obtenidos el tratamiento o sección A1 es superior a los demás. En los humedales artificiales

preferentemente se han utilizado plantas hidrófitas debido a que sus raíces se adaptan en condiciones de inundación; no obstante, Hernández (2016), mencionó que se han estudiado diversas plantas terrestres ornamentales que pueden comportarse como hidrófitas facultativas con características anatómicas similares a las de hidrófitas estrictas. Sin embargo, es probable que el crecimiento de las plantas terrestres, puedan verse afectadas negativamente en condiciones de saturación o inundación en el agua residual (López *et al.*, 2022).

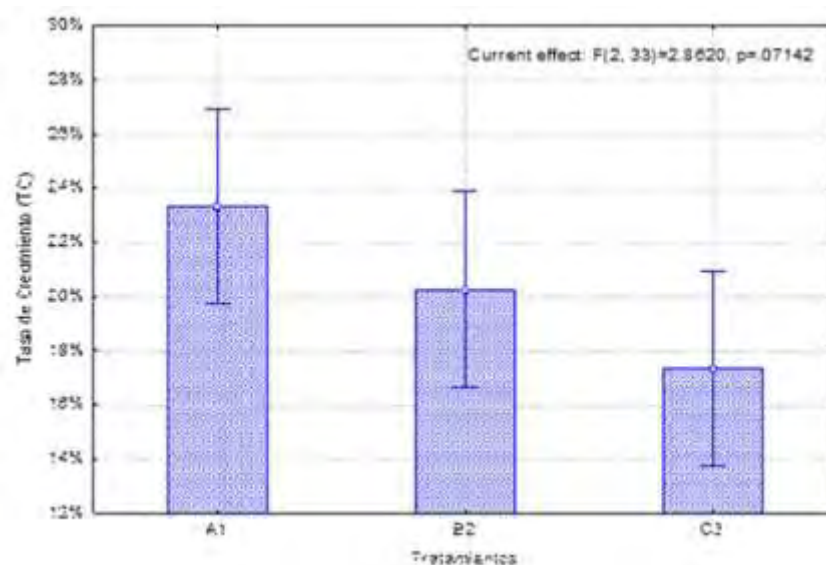


Figura 6. Tasa de crecimiento de las plantas por sección en la celda del humedal artificial.

Conclusiones

La especie *T. steyermarkii* demostró tener la capacidad de adaptación en humedales artificiales después de los 120 días. El crecimiento de la especie iris amarilla dentro del humedal artificial no mostró diferencias significativas en relación con la tasa de crecimiento, floración y número de hojas entre las secciones A1, B2, C3. La posición dentro de la celda demostró mayor crecimiento a la entrada (sección A1).

Literatura citada

- Ansari, A. A., M. Naeem., S. Gill, S. and M. Al Zuaibr F. 2020. Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 46(4):371–376.
- Arreguin C., F. I. Saavedra H., J. R., Rodriguez V., J. M. Tzatchkov., V. G. Cortez M., P. E., Llaguno G., *et al.* 2019. Municipal level water security indices in Mexico. *SN Applied Sciences* 1(10):1194.
- Carballeira, T., I. Ruiz and M. Soto. 2017. Aerobic and anaerobic biodegradability of accumulated solids in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *International Biodeterioration and Biodegradation* 119:396-404.
- Chukr, N. and A. Giuliatti. 2001. New Combinations in the Genus *Neomarica* (Iridaceae) and Its Segregation from *Trimezia* on the Basis of Morphological Features. *Novon* 11(4):376-380.
- García-Acevedo, R.G., E. G. Rodríguez y N. E. P. Amezcua. 2023. Remoción de contaminantes del agua en humedales artificiales de flujo subsuperficial, utilizando *Typha domingensis*, tezontle y grava triturada y su relación con la conductividad hidráulica. *Ciencia Nicolaita* 87:108-120.
- Hernández, A. M. E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *Rinderesu* 1(2):01-12.
- López, A., J. E., Marín-Muñiz, J. L., Zamora-Castro, S. A., y Pérez, M. D. C. C. 2022. Evaluación del crecimiento de plantas sembradas en humedal artificial: efecto del posicionamiento de sembrado. *Journal of Basic Sciences* 8(23):104-111.

- Miretzky, P., A. Saralegui and A. Fernández. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals. *Chemosphere* 57:997-1005.
- Novotny, V. and H. Olem. 1994. Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold.
- Núñez, R., R. Ortega y E. Olguín. 2014. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias* 55(3):69-83.
- Oyuela, M., W. Fernández and M. Gutiérrez. 2017. Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands - A review. *Chemosphere* 168(1):1230-124.
- Sandoval H, L. C., J.L. Marín M., F. Zurita M., M. Vidal A., J. Adame G. y O. del Ángel C. 2019. Efecto de *Spathiphyllum blandum* en la eliminación de contaminantes convencionales e ibuprofeno de aguas residuales mediante humedales construidos. *Academia de Desarrollo Regional Sustentable*.
- Singh, V., S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja and R. Jain. 2003. Phytoremediation: An overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* 61: 405-412.
- Vardhan, K. H., S. Kumar P. and C. Panda R. 2019. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids* 290(111197):111197.
- Warrier, R.R. and S. Saroja. 2008. Histochemical studies in water hyacinth with particular reference to water pollution. *International Journal of Integrative Biology* 3(2):96-99.

MICROBIOMA BACTERIANO NO SUSCEPTIBLE A ANTIBIÓTICOS PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES PORCINAS

Jacel Adame García⁴⁰³, José Antonio Fernández Viveros⁴⁰³, Félix David Murillo Cuevas^{403*},
Maritza Lisset Vázquez Salas⁴⁰³ y Adriana Elena Rivera Meza⁴⁰³

Resumen

En México la producción porcina no está bien regulada, las denuncias en su contra realizadas por varias comunidades vulnerables y organizaciones del país es debido a la falta de restricciones sobre el tamaño, concentración, ubicación y el manejo de sus desechos, lo que las colocan como uno de los más altos focos de contaminación ambiental y de riesgo sanitario en el país. Dentro de los riesgos sanitarios existentes, se ubica la transmisión de bacterias con resistencia antibiótica (ARB), y de genes de resistencia a antibióticos (ARG), ya que, las explotaciones porcinas son enormes reservorios de ARB's, y ARG's, así como de residuos de antibióticos (RBA). En este sentido, el objetivo de este trabajo fue determinar el microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos presente en aguas residuales porcinas. Para lo cual se tomaron muestras de las aguas residuales porcinas y se inocularon medios de cultivo para coliformes fecales y *Escherichia coli*, una vez que se presentó crecimiento bacteriano se realizaron pruebas de susceptibilidad antibiótica a amoxicilina/ácido clavulánico, ampicilina, trimetoprima/sulfametoxazol, ciprofloxacino, dicloxacilina, nitrofurantoina, azitromicina, las cepas que presentaron susceptibilidad se les extrajo el ADN para el análisis del microbioma 16S. Los resultados obtenidos arrojaron nula y baja susceptibilidad a los antibióticos: sulfametoxazol/trimetoprima, dicloxacilina, azitromicina y amoxicilina/ácido clavulánico, ampicilina y ciprofloxacino, en diferentes concentraciones (0.5 µl, 200 µl y 500 µl), en cultivos con medio selectivo para coliformes, mientras que la identificación molecular estableció la presencia de bacterias de importancia clínica. Especies como *Enterococcus* sp., *Enterobacter cloacae* ludwigii, *Escherichia coli*, *E. fergusonii*, *E. vulneris*, *Klebsiella pneumoniae*, *K. quasipneumoniae*, *K. variicola*, *Salmonella* entérica y *Pseudomonas* spp. En su mayoría patógenos oportunistas, que pueden llegar a ocasionar enfermedades infecciosas como, infecciones cutáneas, pulmonares, del tracto urinario, gastrointestinal y bacteriemia.

Palabras clave: bacterias, enterobacterias, patógenas, microbiota, biorremediación

⁴⁰³ Tecnológico Nacional de México/I.T. Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia: felix.mc@ugalvan.tecnm.mx

Introducción

Diversos estudios señalan a las explotaciones porcinas como enormes reservas de bacterias con resistencia a antibióticos y genes de resistencia antibiótica, así como de residuos antibióticos (Luiken *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2018).

En México solo el 63.73% de las aguas residuales municipales captadas es tratada y mientras que, de las aguas no municipales, incluyendo las industriales solo se trata el 40.1% (CONAGUA, 2015). Mallin y Cahoon (2003) exponen el riesgo que las lagunas de desechos porcinos se rompen, gotean o se desbordan ocasionando daños al medio ambiente y poniendo en riesgo la industria agrícola, y la salud humana. Además de la ineficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la eliminación de los ARB's, ARG's y RBA's. Autores señalan a la resistencia antibiótica como un riesgo sanitario y ambiental al cual se debe prestar mayor importancia. Tan solo a nivel mundial se reportan 700,000 muertes al año por infecciones debidas a organismos resistentes (Savin *et al.*, 2020).

Está demostrado que los ARG's tienen capacidad de transmitirse de animales a humanos, existen reportes de que las bacterias patógenas en humanos, las más abundantes son resistentes a antibióticos que también se utilizan en animales y a los antibióticos que han estado disponibles durante más tiempo, los determinantes de la resistencia a los antibióticos pueden permanecer en la flora intestinal humana durante al menos un año (Forslund *et al.*, 2013).

El potencial zoonótico de los ARG entre animales de granja como los porcinos y los seres humanos se vuelve de especial preocupación cuando se toma en consideración que el microbiota intestinal porcina es reconocida como reservorio de ARG y que actualmente mueren alrededor de 700,000 personas al año por resistencia a los antibióticos, en enfermedades como infecciones bacterianas, malaria, VIH/SIDA o tuberculosis.

Es tal la ocurrencia de las bacterias con resistencia antibiótica en las granjas porcinas que incluso se han encontrado ARG y RBA en el polvo; el cual al ser inhalado podría ser un problema para los propios animales y para los trabajadores, algunos autores reportan la presencia de endotoxinas, bacterias como agentes patogénicos de humanos (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Mycobacterium avium*, *Clostridium difficile* y *Listeria monocytogenes*),

las cuales presentan genes de resistencia a antibióticos (*mcr-1*) y metales en 10 instalaciones de confinamiento porcino (SCB).

Con base en lo anterior, resulta de importancia determinar el microbioma bacteriano con tolerancia a antibióticos presente en aguas residuales porcinas, tratadas en un humedal construido.

Materiales y métodos

Este trabajo fue parte del proyecto de Tesis para obtener el título de Licenciatura en Biología, se desarrolló en el Laboratorio de Biología Molecular en el Tecnológico Nacional de México Campus Úrsulo Galván ubicado en el estado de Veracruz, municipio de Úrsulo Galván.

Para determinar la presencia de bacterias patógenas con resistencia a antibióticos, en aguas residuales porcinas, se colocaron 10 mL de aguas residuales en un matraz con 90 mL de solución fosfatos KH_2PO_4 al 0.25 M (NOM-110-SSA-1994). Se realizaron diluciones seriadas (10^{-1} a 10^{-5}), de las cuales solo se tomaron las diluciones 10^{-3} - 10^{-5} para inocular los medios de cultivo Verde Brillante (VB) y Medio *Escherichia coli* (EC), esto se realizó por triplicado. Se incubaron en estufa (Ecoshel®) a $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 h.

Una vez que se presentó crecimiento en los medios VB y EC inoculados a partir de las diluciones seriadas se realizó mediante el método Kirby-Bauer la inoculación de las muestras bacterianas y se colocaron discos a los cuales se les añadieron los antibióticos: amoxicilina de 500 mg (20 μg), amoxiclavulánico de 500 mg (10 μg), azitromicina de 500 mg (30 μg), dicloxacilina de 500 mg (30 μg), trimetoprima/sulfametoxazol de 400 mg (1.25/23.75 μg), ciprofloxacino de 500 mg (5 μg), y nitrofurantoina de 100 mg (300 μg).

Las cajas se incubaron en estufa (Ecoshel®) a $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 h. Se midieron las zonas de inhibición y se calificaron como sensibles, intermedias o resistentes a los antibióticos, de acuerdo con puntos de corte clínicos y dosificación de antibióticos del Comité Europeo de Pruebas de Susceptibilidad a los Antimicrobianos.

Una vez que se realizaron las evaluaciones de resistencia a antibióticos se seleccionaron todas las cepas no susceptibles a los antibióticos (en cualquiera de sus niveles) y se colocaron en caldo lactosado (por quintuplicado), se incubaron durante 72 h a $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Pasado en tiempo de incubación se realizó la extracción de ADN del crecimiento bacteriano en medio líquido, mezclando todos los medios inoculados para obtener una sola muestra de ADN y realizar los análisis de microbioma 16S. Para lo cual se colocó el medio de cultivo con crecimiento bacteriano en tubo para centrífuga y se centrifugó a 10,000 rpm durante 1 min, se descartó el sobrenadante y se procedió inmediatamente a realizar la extracción del ADN empleando el kit ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit, siguiendo las instrucciones del proveedor.

Una vez que se obtuvo el ADN se determinó su calidad en espectrofotómetro de microvolumen NanoDrop® (Thermo Fisher®) a una absorbancia de 260/280 nm. La muestra de ADN se envió al Laboratorio Zymo Research Corp para servicio de secuenciación y análisis de genes, se prepararon las librerías (16S), se realizó el análisis bioinformático, cuantificación, análisis, expresión e identificación de genes.

Resultados y discusión

Los resultados de las pruebas de resistencia demostraron que, las cepas encontradas fueron no susceptibles a los antibióticos: azitromicina, trimetoprima/sulfametoxazol, amoxicilina/ácido clavulánico y ciprofloxacino, tuvieron susceptibilidad media a la ampicilina, y presentaron resistencia intrínseca a la dicloxacilina, mientras que si fueron susceptibles a los antibióticos amoxicilina y nitrofurantoína (Figura 1).

Al realizar en análisis de secuenciación del microbioma mediante el gen 16S rRNA se presentaron principalmente dos filos con un 97% el Proteobacteria y 3% Firmicutes. El filo Proteobacteria es el filo más abundante, comprende una gran variedad de géneros y especies patógenas para el ser humano. Comúnmente las especies que pertenecen a este filo son Gram negativas.

De acuerdo con análisis filogenéticos del gen 16S rRNA el filo Proteobacteria reportado por diversos autores, se divide en seis clases: Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Deltaproteobacteria, Epsilonproteobacteria, y Zetaproteobacteria. En este filo los miembros no presentan rasgos morfológicos o fisiológicos específicos que los caracterice (Rizzatti *et al.*, 2017).

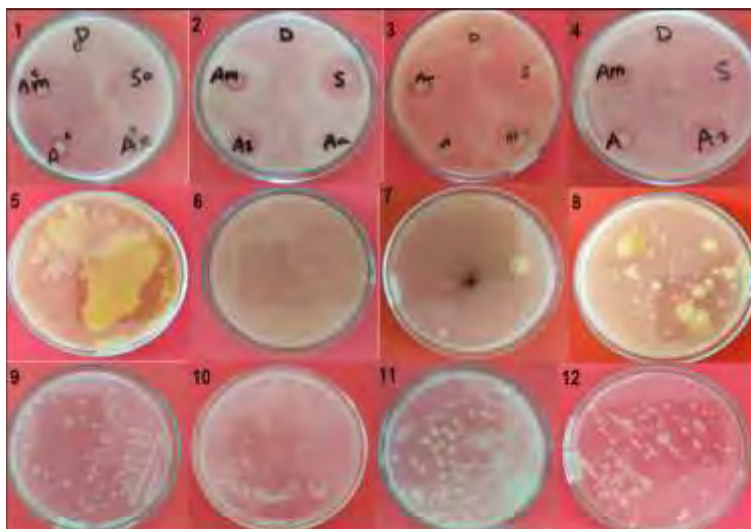


Figura 1. Crecimiento bacteriano expuesto a antibióticos de uso común (1-4) azitromicina, trimetoprima/sulfametoxazol, amoxicilina/acido clavulánico y ciprofloxacino; 5) 100 μ L de amoxicilina/acido clavulánico; 6) 100 μ L de ampicilina; 7) 100 μ L de ciprofloxacino; 8) 100 μ L de ampicilina; 9) 200 μ L de cotrimazol; 10) 200 μ L de azitromicina; 11) 500 μ L de dicloxacilina y 12) 200 μ L de amoxicilina/acido clavulánico.

Numerosos patógenos comunes en humanos se encuentran en el filo Proteobacteria, por ejemplo, los géneros *Brucella* y *Rickettsia* que pertenecen a la clase Alphaproteobacteria. Los géneros *Bordetella* y *Neisseria* de la clase Betaproteobacteria, mientras que los géneros *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella* y *Yersinia* pertenecen a la clase Gammaproteobacteria y finalmente, *Helicobacter* spp., perteneciente a la clase Epsilonbacteria (Rizzatti *et al.*, 2017). En los humanos, el filo Proteobacteria está presente en varias partes del cuerpo, tal como piel, cavidad oral, lengua, así como en el tracto vaginal distintos del intestino y las heces humanas (The Human Microbiome Project Consortium, 2012).

Por otra parte, el 3% restante presente en el microbioma, correspondió al filo Firmicutes. Al igual que el filo Proteobacteria los miembros de Firmicutes están presentes en la mucosa estomacal y contribuyen a que se desarrollen procesos patológicos (Miftahussurur *et al.*, 2022). Este filo comprende tres clases Bacilli, Clostridia y Erysipelotrichia en las que se encuentran 26 familias y 223 géneros bacterianos (Galperin *et al.*, 2022).

Los resultados obtenidos al analizar los datos del microbioma muestran que las clases presentes en el microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos en aguas residuales

porcinas, corresponden a la clase Bacilli (3%) del filo Firmicutes y en lo que respecta al filo Proteobacteria todos son de la clase Gammaproteobacteria (97%). En lo que respecta a la clase Bacilli se incluyen especies patógenas para humanos y animales como *Bacillus cereus* y *Bacillus anthracis* (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018).

Al analizar los datos a nivel ordenes se observa que en la clase Bacilli la totalidad de sus miembros pertenecen a Lactobacillales (3%), sin embargo, la clase Gammaproteobacteria que presenta el 97% en composición, se divide en dos Ordenes que corresponden a Enterobacteriales con un 69.8% y Pseudomonadales con 27.2%.

Los Lactobacillales es un orden de bacterias Gram-positivas, dentro de la clase Bacilli, los géneros representativos de este orden son *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* y *Lactobacillus* (Pérez-Santiago *et al.*, 2013). En este trabajo la familia presente de este orden es Enterococcaceae (3%).

En lo que respecta a al orden Enterobacteriales incluye siete familias, la primera Enterobacteriaceae, es la más grande consta de 22 géneros, *Atlantibacter*, *Buttiauxella*, *Cedecea*, *Citrobacter*, *Cronobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Franconibacter*, *Klebsiella*, *Kluyvera*, *Kosakonia*, *Leclercia*, *Lelliottia*, *Mangrovibacter*, *Pluralibacter*, *Raoultella*, *Salmonella*, *Shigella*, *Shimwellia*, *Siccibacter*, *Trabulsiella*, y *Yokenella* (Amaresan *et al.*, 2020). Familia que se encontró presente en el microbioma de este trabajo con un 69.8%.

El orden Pseudomonadales incluye a las familias Pseudomonadaceae y Moraxellaceae cuyos miembros son fenotípicamente heterogéneos que comprenden especies de importancia médica, económica, ecológica, biotecnológica y agronómica. Esta familia comprende especies patógenas oportunistas responsables de numerosas infecciones nosocomiales, como *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*, por ejemplo (Cutíño-Jiménez y Cutíño, 2019). De este orden la familia presente en el microbioma fue Pseudomonadaceae con un 27.2%.

En lo que respecta a los géneros presentes en el microbioma, la familia Enterococcaceae solo presenta el género *Enterococcus* (3%) (Figura 2) que son bacterias gram positivas que habitan en el tracto gastrointestinal de animales y humanos, además del tracto genitourinario. Se les considera patógenos oportunistas para los humanos, generando enfermedades como endocarditis, bacteriemias enterocóccicas, infecciones del tracto urinario, neonatales, rara vez del sistema nervioso central, intrabdominal y pélvica (Porte *et a.*, 2007).

k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Paenobacterales;g_Paenobacillus	5.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Planococcaceae;g_Dombacillus	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Planococcaceae;g_Zeopalladium	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Planococcaceae;g_Lysinibacillus	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Planococcaceae;g_Ruminobacillus	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Bacillales:f_Staphylococcaceae;g_Staphylococcus	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Bacilli;o_Lactobacillales:f_Enterococcaceae;g_Enterococcus	3.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Clostridia;o_Clostridiales:f_Christensenellaceae;g_NA	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Clostridia;o_Clostridiales:f_Clostridiaceae;g_Clostridium	0.0%
k_Bacteria;p_Firmicutes;c_Clostridia;o_Clostridiales:f_Clostridiaceae;g_Clostridium_Furticella	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Aeromonadales:f_Aeromonadaceae;g_Aeromonas	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Citrobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Citrobacter_Enterobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Citrobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Enterobacter	3.7%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Enterobacter_Salmonella	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Escherichia	18.6%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Klebsiella	46.7%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Kosakonia	0.5%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_NA	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Salmonella	0.1%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Enterobacteriales:f_Enterobacteriaceae;g_Typhimurium	5.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Pseudomonadales:f_Moraxellaceae;g_Acinetobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Pseudomonadales:f_Moraxellaceae;g_Acinetobacter_Peritrichobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Pseudomonadales:f_Pseudomonadaceae;g_Azotobacter	0.0%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Pseudomonadales:f_Pseudomonadaceae;g_Pseudomonas	27.2%
k_Bacteria;p_Proteobacteria;c_Gammaproteobacteria;o_Xanthomonadales:f_Xanthomonadaceae;g_Stenotrophomonas	0.0%
k_Bacteria;p_Tenericutes;o_Mollicutes;o_NA:f_NA;g_NA	0.0%

Figura 2. Porcentajes de géneros presentes en el microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos.

Desde el año 2008 se emitió la alerta sobre el género *Enterococcus* y no solo al alza en las tasas de infecciones nosocomiales, sino también por el desarrollo de resistencia a penicilinas y cefalosporinas y de altos niveles de resistencia a los aminoglucósidos como la vancomicina (Quiñones-Pérez *et al.*, 2008).

Los géneros pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae presentes en el microbioma no susceptible a antibióticos fueron *Enterobacter* (3.7%), *Escherichia* (18.6%), *Klebsiella* (46.7%) *Kosakonia* (0.5%), *Salmonella* (0.1%) (Figura 2). Todos ellos con antecedentes de patogenicidad en humanos.

De la familia Pseudomonadaceae se presentó solo el género *Pseudomonas* (27.2%), que comprende bacilos aerobios gramnegativos no fermentadores de la glucosa, catalasa positivos, con flagelos polares, no forman esporas y son de importancia médica ya que causan infecciones en el ser humano. Este género comprende numerosas especies, entre las que cabe destacar *P. aeruginosa*, *P. fluorescens* y *P. putida* (Pinzón-Junca, 2019).

Las especies no susceptibles a los antibióticos presentes en el microbioma se identificaron como: *Klebsiella pneumoniae* (31.1%), *Klebsiella quasipneumoniae* (9.2%), *Klebsiella variicola* (6.4%), *Pseudomonas fluorescens* (2.3%), *Pseudomonas fluorescens-yamanorum* (24.4%),

Escherichia coli (18.5%), *Enterobacter cloacae ludwigii* (2.8%), *Enterobacter cloacae ludwigii* sp58653 (0.9%), *Escherichia fergusonii* (0.1%), *Pseudomonas monteilii* (0.4%), *Pseudomonas putida* (0.4%), *Kosakonia sacchari* (0.5%), *Salmonella entérica* (0.1%), *Pseudomonas* sp. (0.1%), *Pseudomonas plecoglossicida* (0.1%).

Tres especies bacterianas representan más del 73% del microbioma bacteriano (*Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens yamanorum* y *Escherichia coli*). Se detectaron distintas cepas de *Klebsiella pneumoniae* las cuales mostraron diferencia en abundancia (Figura 3).

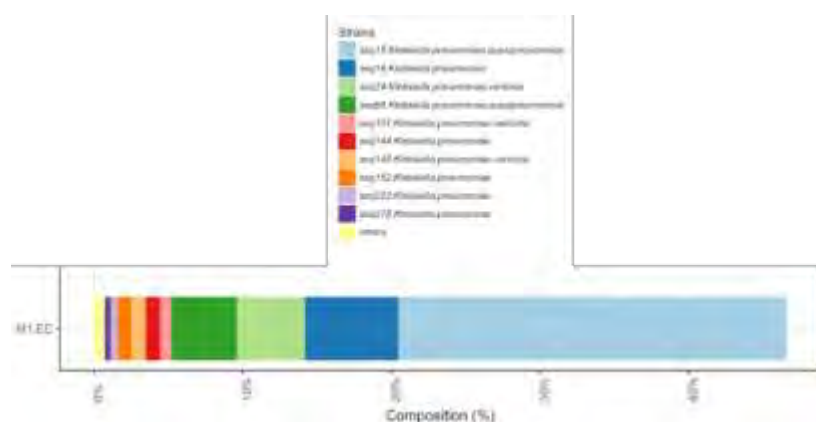


Figura 3. Distribución de las cepas de *Klebsiella pneumoniae* presentes en el microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos.

Klebsiella pneumoniae es una Enterobacteriaceae considerada como uno de los patógenos oportunistas que causan un gran espectro de enfermedades y que en los últimos años ha incrementado su resistencia a antibióticos (Effah *et al.*, 2020). De acuerdo a Navon-Venezia *et al.* (2017) este patógeno representa cerca de un tercio de todas las infecciones por bacterias gramnegativas, como infecciones del tracto urinario, cistitis, neumonía, infecciones de heridas quirúrgicas, endocarditis y septicemia. También puede llegar a causar neumonía necrotizante, abscesos hepáticos piógenos y endoftalmitis endógena (Podschun y Ullmann, 1998).

El drástico aumento en la incidencia de patógenos pertenecientes al grupo Enterobacteriaceae multirresistentes y extremadamente resistentes a los medicamentos es un problema económico importante, ya que estos patógenos son residentes naturales prevalentes del microbioma humano y animal (Effah *et al.*, 2020).

Por otra parte, se detectaron distintas especies de *Pseudomonas* (Figura 4), siendo *Pseudomonas fluorescens-yamanorum* (24.4%), otra de las especies abundantes en las aguas residuales del humedal construido, estas especies de *Pseudomonas* no están reportadas como patógenas en seres humanos, sin embargo, *P. fluorescens* se le considera como una bacteria con potencial al poseer la capacidad de crecer en huéspedes mamíferos incluido el ser humano (Scales, 2014).

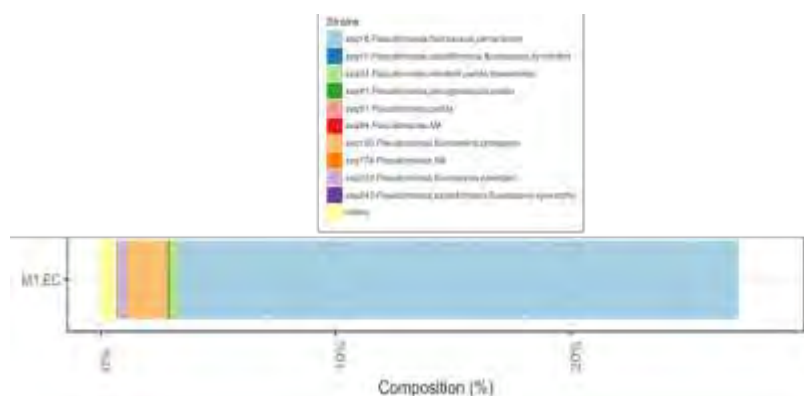


Figura 4. Distribución de las cepas de *Pseudomonas* spp. presentes en el microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos.

Sin embargo, no hay estudios suficientes que indiquen si esta bacteria llega afectar al humano, se ha documentado que tiene relación con algunas enfermedades respiratorias ya que se ha detectado acompañada de bacterias patógenas virulentas. Lo que las ayudan a que permanezcan en sus huéspedes mamíferos es la producción de sideróforos, metabolitos bioactivos y la capacidad de formar biopelículas, permitiéndole ser más resistentes y sobrevivir fuera de su rango habitual.

Wu *et al.* (2015) mencionan que gracias a que el género *Pseudomonas* tiene una complicada red reguladora para controlar la expresión temporal y espacial de factores de virulencia tiene una gran capacidad para sobrevivir en el hospedero, por lo que posee un alto nivel de resistencia intrínseca a los antibióticos, y capacidad de desarrollar resistencia adquirida.

Otra especie de importancia y que se presentó en mayor abundancia que las demás fue *Escherichia coli* (Figura 5), es un tipo de bacteria que habita en numerosos ambientes incluido

Conclusiones

Los géneros encontrados en las aguas residuales porcinas, coinciden con los reportados por la OMS como bacterias multirresistentes a antibióticos.

Presentaron resistencia a los antibióticos como sulfametoxazol/trimetoprima, dicloxacilina, azitromicina y amoxicilina/ácido clavulánico, ampicilina y ciprofloxacino.

Las especies no susceptibles a los antibióticos presentes en el microbioma se identificaron como: *Klebsiella pneumoniae*, *K. quasipneumoniae*, *K. variicola*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. fluorescens-yamanorum*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae ludwigii*, *Enterobacter cloacae ludwigii* sp58653, *E. fergusonii*, *P. monteillii*, *P. putida*, *Kosakonia sacchari*, *Salmonella entérica*, *Pseudomonas* sp., *P. plecoglossicida*.

Tres especies bacterianas representan más del 73% del microbioma bacteriano no susceptible a antibióticos, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens yamanorum* y *Escherichia coli*.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento del proyecto con clave 10516.21-P, para la realización del trabajo de Tesis de Licenciatura de la egresada y coautora de este documento MLVS.

Literatura citada

Amaresan, N., M. Kumar, S., K. Annapurna, K. Kumar and A. Sankaranarayanan (Eds.). 2020. Beneficial microbes in agro-ecology: bacteria and fungi. Academic Press. 899 p.

Basavaraju, M., y B. Gunashree, S. 2022. *Escherichia coli*: an overview of main characteristics. *Escherichia coli-Old and New Insights*. In: Starčič, E. M. (ed.) *Escherichia coli-Old and New Insights*. IntechOpen. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.95203>.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2015.
- Cutiño-Jiménez, A. M. y H. Cutiño, A. P. 2019. Inserciones en secuencias de proteínas para la taxonomía y filogenia de las familias Pseudomonadaceae y Moraxellaceae (Orden Pseudomonadales). Revista CENIC. Ciencias Biológicas 50(2):143-157.
- Effah, C. Y., T. Sun, S. Liu, and Y. Wu. 2020. *Klebsiella pneumoniae*: an increasing threat to public health. Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials 19:1-9.
- Forslund, S., S. Sunagawa, J. Kultima, D. Mende, M. Arumugam, A. Typas and P. Bork. 2013. Country-specific antibiotic use practices impact the human gut resistome. Genome Research 23:1163-1169.
- Rizzatti, G., L. Lopetuso, R., G. Gibiino, C. Binda, A. Gasbarrini. 2017. "Proteobacteria: A Common Factor in Human Diseases". BioMed Research International 2017:9351507.
- Galperin, M. Y., N. Yutin, Y. Wolf, R. Vera Alvarez and E. Koonin, V. 2022. Conservation and evolution of the sporulation gene set in diverse members of the Firmicutes. Journal of Bacteriology 204(6):e00079-22.
- The Human Microbiome Project Consortium. 2012. Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. Nature 486:207–214.
- Kaper, J. B., J. Nataro, P. and H. Mobley, L. 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. Nature reviews microbiology 2(2):123-140.
- Luiken, R. E. C., D. Heederik, J. J., P. Scherpenisse, L. Van Gompel, E. van Heijnsbergen, G. Greve, D. *et al.* 2022. Determinants for antimicrobial resistance genes in farm dust on 333 poultry and pig farms in nine European countries. Environmental Research 208:112715.

- Mallin, M. A., and L. Cahoon, B. 2003. Industrialized Animal Production—A Major Source of Nutrient and Microbial Pollution to Aquatic Ecosystems. *Population and Environment* 24(5): 369–385.
- Miftahussurur, M., C. Savitri, M. A., R. I'tishom, P. Rejeki, S., Y. Rezkitha, A. A., and Y. Yamaoka. 2022. New Paradigm of Gastric Pathogenesis: The Important Role of Gastric Microbiota. *The Indonesian Journal of Gastroenterology, Hepatology, and Digestive Endoscopy*. 23(1):62-66.
- Navon-Venezia S, K. Kondratyeva and A. Carattoli. 2017. *Klebsiella pneumoniae*: a major worldwide source and shuttle for antibiotic resistance. *FEMS Microbiology Review* 41(3):252–75.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2017. La OMS publica la lista de las bacterias para las que se necesitan urgentemente nuevos antibióticos. Comunicado de prensa. Ginebra, Suiza (<https://www.who.int/es/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>).
- Pérez-Santiago, J., S. Gianella, M. Massanella, C. Spina, A. Celsa, M. Karris. *et al.* 2013. Gut Lactobacillales are associated with higher CD4 and less microbial translocation during HIV infection. *AIDS* 27(12):1921-1931.
- Pinzón-Junca, A. 2019. *Pseudomonas*. *Acta Medica Colombiana* 44(1):52 Epub.
- Podschun R, and U. Ullmann. 2007. *Klebsiella* spp. as nosocomial pathogens: epidemiology, taxonomy, typing methods, and pathogenicity factors. *Clinical Microbiology Review* 11(4):589–603.
- Porte, L., B. Hervé, S. Prat, y L. Chanqueo. 2007. *Enterococcus* sp. Parte I. *Revista chilena de infectología* 24(3): 231-231.

- Quiñones-Pérez, D., D. Marrero, B. Falero, I. Tamargo, A. Llop, N. Kobayashi y R. Del Campo. 2008. Susceptibilidad antimicrobiana y factores de virulencia en especies de *Enterococcus* causantes de infecciones pediátricas en Cuba. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 60(2):0-0.
- Savin, M., G. Bierbaum, J. Hammerl, A., C. Heinemann, M. Parcina, E. Sib, A. Voigt, and Kreyenschmidt, J. 2020. Antibiotic-resistant bacteria and antimicrobial residues in wastewater and process water from German pig slaughterhouses and their receiving municipal wastewater treatment plants. *Science of The Total Environment* 727:138788.
- Scales B. S., P. Dickson R., J. LiPuma, J. and B. Huffnagle, G. 2014. Microbiology, Genomics, and Clinical Significance of the *Pseudomonas fluorescens* Species Complex, an Unappreciated Colonizer of Humans. *Clinical Microbiology Reviews* 27(4):927–948.
- Villarreal-Delgado, M. Villa-Rodríguez, F., E. Cira-Chávez, D. L. Estrada-Alvarado, A., M. Parra-Cota, I., I. Fannie and S. Santos-Villalobos. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(1):95-130.
- Wu, W., Y. Jin, F. Bai, and S. Jin. 2015. *Pseudomonas aeruginosa*. In: Y. W. Tang, M. Sussman, D. Liu, I. Poxton and J. Schwartzman. (Eds.). *Molecular Medical Microbiology*. 2nd Edition. Academic Press. Elsevier, Amsterdam. 1564 p.
- Zhao, Y., J. Su, Q., X. An, L., F. Huang, Y., C. Rensing, K. Brandt, K., and Y. Zhu, G. 2018. Feed additives shift gut microbiota and enrich antibiotic resistance in swine gut. *The Science of the Total Environment* 621:1224–1232.

PRODUCCIÓN Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN UN BOSQUE DE *Abies religiosa*

Virginia Martínez Rojas⁴⁰⁴, Alejandro Pérez Rosales^{405*} y Juan José Almaraz Suárez⁴⁰⁴

Resumen

El bosque de oyamel "*Abies religiosa*" es un gran reservorio de carbono y es controlado por las entradas de carbono de la hojarasca y la salida de carbono asociada a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por la descomposición. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la producción, descomposición de hojarasca y las emisiones de dióxido de carbono del suelo en el bosque de *A. religiosa* de la Sierra Nevada. Se establecieron cinco parcelas de muestreo en un rango de 3093 a 3489 m de altitud. La cantidad de hojarasca producida se estimó con colectores en cada parcela de muestreo, elaborados con mallas de nailon distribuidos al azar. La hojarasca se recolectó al inicio de cada mes durante un año. Las fracciones de hojarasca se clasificaron en acículas, ramas y otros. Se determinó el peso de cada fracción. La tasa de descomposición se determinó con el método de la "bolsa de descomposición". A las fracciones se les determinó lignina, celulosa, hemicelulosa y nitrógeno total. En cada parcela se colocaron 30 bolsas con acículas y 30 bolsas con ramas, las cuales se evaluaron a los 123, 213, 304, 395 y 475 días. Las tasas de descomposición de hojarasca de acículas y ramas se determinaron por regresión, mediante el modelo de Olson. Las emisiones de bióxido de carbono se determinaron con el método de cal sodada colocando 10 aros de PVC a 5 cm de profundidad, la absorción de CO₂ se determinó por diferencia en peso y se multiplicó por el factor 1.69. Se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias Tukey para el carbono total. Las acículas fueron el componente principal de la producción de hojarasca con 2.22 t/ha/año, mientras que las ramas aportaron 0.75 t/ha/año. La tasa de descomposición anual obtenida para acículas fue de $k = 0.44$ y para ramas de $k = 0.29$. Los flujos de CO₂ variaron anualmente con un máximo en verano de 14.68 g/CO₂/m²/día y un mínimo en invierno de 3.32 g/CO₂/m²/día.

Palabras clave: carbono, relación lignina/N, emisiones de CO₂, constante k

⁴⁰⁴ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Postgrado en Edafología.

⁴⁰⁵ Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia: fitotecn@hotmail.com

Introducción

Los bosques desempeñan un papel crucial en el ciclo del carbono global, dado que almacenan el dióxido de carbono atmosférico, a través del incremento de su biomasa con la fotosíntesis, y estabilizándolo en los reservorios de carbono orgánico del suelo. Los suelos forestales almacenan cerca del 40% del carbono orgánico total en los ecosistemas terrestres (Prescott, y Vesterdal, 2021). Cada suelo presenta distintas capacidades para estabilizar el carbono orgánico, debido a sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas, además del clima y de las actividades antropogénicas; algunos elementos clave como el contenido y tipo de arcilla se han considerado como un mecanismo protector del carbono orgánico ante la descomposición microbiana. Se estima que en los suelos forestales de Europa se almacenan aproximadamente 26 millones de toneladas al año de carbono, de las cuales el 30-50%, corresponden a la biomasa forestal (Grüneberg *et al.*, 2014). El incremento del carbono orgánico en los reservorios del suelo permite la disminución del CO₂ atmosférico y mitigar el cambio climático; sin embargo, este es un proceso complejo, ya que incluye la descomposición, la producción de hojarasca y su transformación en materia orgánica del suelo. Existen tres grandes vías para la transformación de la hojarasca a carbono orgánico: 1) Transformación de la hojarasca a compuestos complejos en el piso forestal; 2) Transferencia de la hojarasca y el humus al suelo mineral y su estabilización con las arcillas; 3) Transformación subterránea de hojarasca, raíces y micorrizas (Prescott y Vesterdal, 2021). La incorporación del carbono orgánico al suelo está regulada por temperatura, humedad, microorganismos y calidad de la hojarasca (lignina, celulosa y hemicelulosa) (Kenneth *et al.*, 1998). La caída de hojarasca es la principal vía para el reciclaje de nutrientes en los suelos forestales; así mismo, las hojas son el tejido vegetal con mayor presencia en el piso forestal, seguidas por las ramas y estructuras reproductivas. En la descomposición de hojarasca se libera CO₂ y otros compuestos, en ella intervienen numerosos mecanismos principalmente procesos heterotróficos. La actividad microbiana de la superficie del suelo libera cerca de 20% de CO₂ y es conocida como respiración del suelo (Krishna y Mohan, 2017), lo que impacta en la capacidad productiva del ecosistema y en las funciones ecológicas del suelo. A nivel mundial la respiración del suelo libera aproximadamente 80 Pg de carbono a la atmosfera cada año. La hojarasca representa el mayor flujo de carbono orgánico al suelo, cuyas alteraciones en su producción, acumulación y descomposición

generan modificaciones en la dinámica y ciclo del carbono del suelo. Los bosques con un valor de tasa de descomposición (k) superior a 1 presentan una rápida descomposición (Olson, 1963). La descomposición de la hojarasca tiene un papel determinante en la estabilización en el carbono del suelo, en este sentido, la respiración del suelo y la acumulación de hojarasca son indicadores de la dinámica del carbono en los suelos forestales (Xiao *et al.*, 2014). Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar la producción, descomposición de hojarasca y las emisiones de dióxido de carbono del suelo en el bosque de *A. religiosa* de la Sierra Nevada.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un bosque de *A. religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham., localizado a 19° 25.609' N y 98° 45.785' O, entre 3093 y 3489 m, en el monte Tlálloc, al oriente del Estado de México. El suelo es andisol, con clima semifrío y una temperatura media anual de 5 y 12°C. La precipitación media anual de 900 a 1000 mm. Se establecieron cinco parcelas experimentales de 1000 m² a 3489 m (O1), 3360 m (O2), 3359 m (O3), 3196 m (O4) y 3093 m (O5). Se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad. En cada parcela se obtuvieron cuatro submuestras, las cuales fueron procesadas para determinar pH, el carbono orgánico soluble y el carbono total.

Producción de hojarasca

La cantidad de hojarasca producida se estimó con seis colectores en cada parcela de muestreo. Los colectores se elaboraron con mallas de nailon de 1 x 1.5 m, distribuidos al azar, en un área de 9 m². La hojarasca fue recolectada en el inicio de cada mes durante un año, del 7 de enero de 2013 al 7 de enero de 2014. El material colectado fue secado a 70°C. Las fracciones de hojarasca se clasificaron en acículas, ramas y otros (ramas con acículas, semillas, fragmentos de conos, musgos, líquenes, fragmentos de corteza y herbáceas). Se pesó cada componente por separado en una balanza analítica. Después se determinó el peso de cada fracción de hojarasca en t/ha/mes y la producción de hojarasca acumulada durante el año.

Tasa de descomposición de hojarasca

La tasa de descomposición se determinó de acuerdo con Farfán-Valencia y Urrego (2007), con el método de la “bolsa de descomposición”. Se colectaron ramas con acículas maduras de árboles de *A. religiosa* y se secaron a 50°C; después, se separaron en acículas y ramas. Se tomó una muestra de cada material y se determinó lignina, celulosa y hemicelulosa (FDA y FDN) y nitrógeno total (micro-Kjeldahl). Se pesaron 2 g de acículas y 2 g de ramas y se colocaron por separado en bolsas de nylon con dimensiones de 12 x 15 cm y una apertura de malla de 25.7 x 18.7 µm. En cada parcela se colocaron 30 bolsas con acículas y 30 bolsas con ramas, se distribuyeron alrededor de dos árboles; para esto se removió la capa superficial de musgo, se colocaron las bolsas sobre la superficie del suelo (Figura 1) y se cubrieron con el mismo musgo. Después en cada parcela se instaló un microsensor de temperatura Watch Dog modelo 100-Temp 2k, con el que se monitoreo cada 2 h la temperatura del suelo.



Figura 1. Bolsas de descomposición de acículas y ramas colocadas en *A. religiosa*.

Las bolsas se monitorearon a los 123, 213, 304, 395 y 475 días. En cada monitoreo se evaluaron seis bolsas de ramas y seis de acículas. Las bolsas se limpiaron del exceso de suelo y de raíces. Se secaron a 60°C hasta peso constante. Las tasas de descomposición de acículas y ramas se determinaron por regresión, mediante el modelo de Olson (1963): $X_t = X_0 e^{-kt}$. Donde X_t = peso seco de acículas/ramas (g) en el tiempo t (futuro), X_0 = peso seco inicial de acículas/ramas (g) en la bolsa, e = base del logaritmo natural (2.7182), k = constante de descomposición y t = tiempo de permanencia de acículas/ramas en la bolsa.

Emisiones de CO₂ en el suelo

Dos semanas antes de iniciar las mediciones de respiración del suelo, en cada parcela se colocaron sobre el suelo 10 aros de PVC de 20 cm de diámetro x 10 cm de alto, los cuales se enterraron a 5 cm de profundidad. Las mediciones de CO₂ se realizaron usando el método de cal sodada (Ponder, 2005). Se llenaron frascos de 50 mL, con 30 g de cal sodada, previamente tratadas a 105°C durante 24 h, una vez enfriados se pesaron en una balanza analítica y fueron sellados. Se colocó en cada parcela un frasco con cal sodada destapado en cada aro y se cubrió con una cámara de PVC de 19.3 x 10 cm que se ajustó en el aro, sellando herméticamente y se incubaron durante 24 h., con dos testigos (Figura 2). Se midió temperatura del suelo y humedad con un medidor portátil modelo Fieldscout TDR-300 marca Spectrum Technologies, Inc., IL.



Figura 2. Cámaras de PVC para determinación de CO₂ en *A. religiosa*: (a) frasco con cal sodada del testigo, (b) cámara sellada del testigo, (c) frasco con cal sodada de la muestra y (d) cámara sellada de la muestra.

A las 24 h se destaparon las cámaras y se cerraron los frascos con cal sodada para ser llevados al laboratorio. Se colocaron en un horno a 105°C durante 24 h., después fueron pesados. La absorción de CO₂ en la cal sodada se determinó por la diferencia en peso y se multiplicó por el factor 1.69 g (Grogan, 1998). Se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias Tukey para los contenidos de carbono total.

Resultados y discusión

En el bosque de *A. religiosa* la pendiente en las parcelas experimentales fue de 22 a 45%, considerada como pronunciada. El suelo presentó un pH moderadamente ácido (5.8 a 6.4); similares a los obtenidos por Galván-Tejada (2014) con 5.65 y 6.52 realizados en el bosque de pino del monte Tláloc. En cuanto al contenido de carbono total y carbono orgánico soluble en el suelo se observaron diferencias significativas entre las parcelas de estudio, siendo mayor el contenido de carbono en la parcela O1. Esto puede ser explicado porque presenta una de las mayores densidades de árboles y por ende una alta producción de hojarasca. Además, muestra la constante de descomposición más baja en ramas; lo que dio una relación negativa con la altitud (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características del suelo, producción anual de hojarasca y descomposición de acículas y ramas en el bosque de *A. religiosa* del monte Tláloc.

Parcela	Pendiente %	Densidad arbórea/ha	pH	Cos*	C _T	Hojarasca t/ha/año		Kc	
				%		a	r	a	r
O1	32	720	5.8	4.2	7.4 ^a	2.3	0.7	0.44	0.26
O2	42	690	6.1	3.0	4.6 ^{bc}	2.8	1.1	0.43	0.27
O3	40	760	6.4	2.0	3.1 ^c	1.8	0.7	0.36	0.28
O4	45	460	6.2	2.5	4.4 ^c	2.0	0.6	0.49	0.34
O5	22	250	6.2	2.3	5.5 ^b	1.9	0.6	0.49	0.32

*Cos= Carbono orgánico soluble; C_T=Carbono orgánico total, Kc= Constante de descomposición; a= acículas, r= ramas. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, alfa= 0.05).

Producción de hojarasca

En el bosque de *A. religiosa* la producción de hojarasca se incrementa en la estación de otoño. Las acículas fueron el componente principal de la producción de hojarasca con 2.22 t/ha/año, lo que representó un 68% del total; mientras que las ramas aportaron 0.75 t/ha/año (23%). Otros materiales como ramas con acículas, semillas, fragmentos de conos, musgos, líquenes, fragmentos de corteza y herbáceas, aportaron un 0.34 t/ha/año (9%). Lo que coincide con otros

autores quienes mencionan que las hojas son los materiales que más aportan hojarasca en los suelos forestales y en segundo lugar las ramas (Zhou *et al.*, 2015; González-Rodríguez *et al.*, 2019). El mes con mayor producción promedio de acículas en todas las parcelas fue septiembre con 345.2 kg/ha. En cuanto a la producción por parcelas, el sitio O2 fue el que presentó mayor producción de acículas con 237.7 kg/ha/año. El mes con menor producción de acículas fue junio con 62.2 kg/ha. En cuanto a ramas los meses con mayor producción en todas las parcelas, fue marzo y diciembre con 126.6 y 164.3 kg/ha respectivamente. En cuanto a la producción de ramas por parcelas, O2 fue la que presentó mayor producción durante el muestreo con 95.2 kg/ha. Los meses con menor producción de ramas fue julio y octubre con 15.9 y 15.5 kg/ha respectivamente (Figura 3).

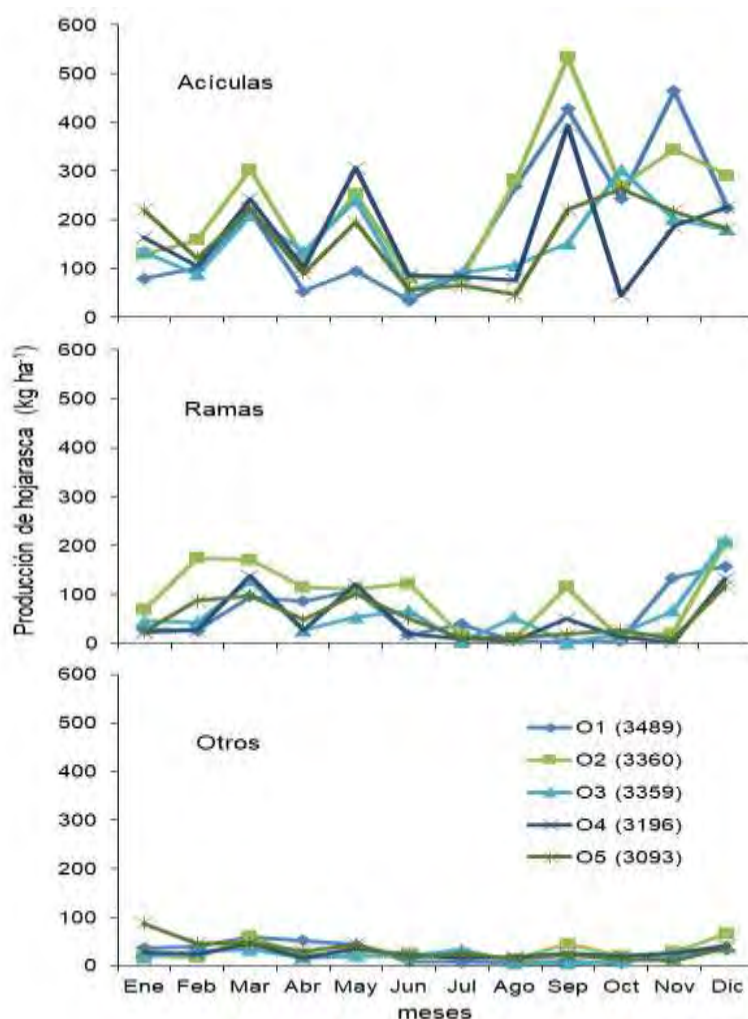


Figura 3. Producción mensual de hojarasca (acículas, ramas y otros).

La producción de hojarasca incrementa con el contenido de carbono y humedad en el suelo (Zheng *et al.*, 2019).

La producción de hojarasca acumulada de *A. religiosa* durante el año de muestreo fue de 3.31 t/ha/año, lo que coincide a lo reportado por Hansen *et al.* (2009) con 3.2 t/ha/año en plantaciones de 50 años en *Picea abies.*, *P. sitchensis*, *Pseudotsuga menziesii*, *Fagus sylvatica* y *Quercus robur*; similar a lo obtenido por Xiangqing *et al.* (2007) con 3.1 t/ha/año en un bosque de 14 años de *Cunninghamia lanceolata*. Aunque es relativamente menor a 3.8 t/ha/año, a lo reportado por Augusto *et al.* (2002) en un bosque maduro de *P. abies*.

Tasa de descomposición

La descomposición de hojarasca durante 15 meses (475 días), obtuvo una pérdida promedio de peso seco 44% en acículas y de 32% en ramas. Existe una relación directa entre la pérdida de peso seco y la temperatura del suelo. Por lo que, el 73% de la pérdida de peso seco en ramas fue atribuido a la temperatura y un 29% en acículas (Figura 4). Ahmad y Somaiah (2015) mencionan que los mayores depósitos de carbono del suelo están situados a mayores altitudes y que las tasas de descomposición de hojarasca son bajas por la disminución de la temperatura. Esto se observó, en los sitios O1 y O2 que se encuentran a mayor altitud los cuales presentaron mayor contenido de carbono en el suelo.

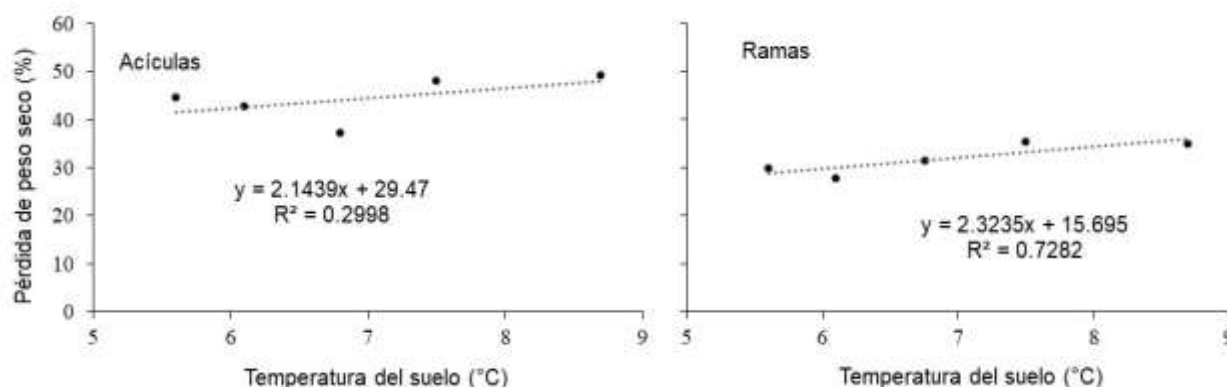


Figura 4. Efecto de la temperatura en el porcentaje de pérdida de peso de acículas y ramas en las bolsas de descomposición. Los puntos representan los valores promedios correspondientes a las 5 parcelas de estudio.

La descomposición de la hojarasca es un proceso biológico regulado por el clima y la calidad de la hojarasca. La hojarasca con una alta relación lignina/N es más resistente a la descomposición que aquella con una baja relación lignina/N (Tripathi *et al.*, 2006), esto se observó en los resultados, donde las ramas que tienen una mayor relación lignina/N presentan menores tasas de descomposición (k) que acículas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calidad de la hojarasca (acículas y ramas) de *A. religiosa*.

Material	Materia seca	Cenizas	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Nitrógeno total	Lignina/N
%							
Acículas	97.3	5.1	21.8	14.5	11.6	1.2	9.8
Ramas	96.1	4.4	28.9	13.1	21.91	0.8	28.2

La tasa de descomposición anual en el bosque de *A. religiosa* para acículas fue de $k = 0.44$ y para ramas de $k = 0.29$. Fioretto *et al.* (2005) menciona un valor de $k = 0.47$ y $k = 0.30$ al año en *Cistus incanus* L., *Quercus ilex* L. y *Myrtus communis* L. con $k = 0.75$, respectivamente; Farfán-Valencia y Byron-Urrego (2007) obtuvieron tasas de descomposición en nogal de $k = 0.78$; eucalipto $k = 0.72$ y pino $k = 0.26$, mientras que en *Araucaria angustifolia* y otras latifoliadas se tienen valores de k de 0.77 y 1.09, respectivamente (Caldata *et al.*, 2010).

Emisiones de CO₂ en el suelo

En *A. religiosa* los flujos de CO₂ variaron anualmente con un máximo en verano de 14.68 g/CO₂ m²/día y un mínimo en invierno de 3.32 g/CO₂ m²/día. Monteith *et al.* (1964) reportaron flujos de CO₂ menores a este trabajo, con igual un máximo en verano de 7 g/CO₂ m²/día y un mínimo en invierno de 1 g/CO₂ m²/día. Sin embargo, en otro estudio realizado a *A. bornmulleriana* L. obtuvieron resultados diferentes, los flujos de CO₂ más altos se alcanzaron en el último mes de verano (1.29 g/m²/día) y los flujos más bajos se determinaron a mediados de verano (0.38 g/m²/día) y principios de otoño (0.50 g/m²/día). Además, el contenido de humedad y temperatura en el suelo fueron de 3.3 a 11% y 5.8 a 24.3°C respectivamente. Considerando los flujos de CO₂ entre las cinco parcelas, en invierno se tienen los valores más bajos de emisiones de dióxido de carbono en todas las parcelas y también se presenta el menor

contenido de humedad, lo que sugiere que hay una correlación positiva entre la humedad y las emisiones de CO₂ (Akburak y Makineci, 2013; Yohannes *et al.*, 2011). Las emisiones de CO₂ en el suelo fueron mayores en los meses de agosto y octubre, posiblemente por el aumento estacional de humedad en el suelo.

Cuadro 3. Variables climáticas y emisiones de CO₂ del suelo de cinco sitios en el bosque de *A. religiosa* del Monte Tláloc.

Sitios	Temperatura °C			Humedad%			Emisiones en el suelo g CO ₂ /m ² /día			
	Mar	Ago	Oct	Mar	Ago	Oct	Invierno	Verano	Otoño	Promedio
O1	7.7	8.4	7.9	18.6	29.5	27.3	5.2	11.8	10.5	9.2
O2	7.4	9.4	8.8	12.1	26.4	25.9	2.1	14.8	13.6	10.2
O3	10.2	9.9	9.8	7.5	22.1	20.0	3.6	19.4	14.9	12.6
O4	9.8	9.0	11.4	9.4	20.1	21.3	2.7	12.8	9.4	8.3
O5	12.3	11.3	12.0	8.8	23.1	23.9	3.0	14.6	9.2	8.9

Conclusiones

La producción de hojarasca de *A. religiosa* se mantiene durante todo el año, pero incrementa en otoño. Las acículas representan la mayor producción y en segundo lugar las ramas. El mes de septiembre es el más productivo. La altitud y la mayor densidad arbórea favorecen la producción de hojarasca. Las tasas de descomposición están relacionadas con la calidad del material (contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina) y el contenido de nitrógeno, ya que una relación lignina/nitrógeno menor esta positivamente correlacionada con la descomposición. Además, un valor más alto en la constante k indica una rápida descomposición. Por lo que, acículas presentaron mayor descomposición que las ramas. Las emisiones de CO₂ en el suelo son afectados positivamente más por la humedad.

Literatura citada

- Ahmad, D. J. and S. Somaiah. 2015. Altitudinal variation of soil organic carbon stocks in temperate forests of Kashmir Himalayas, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 187:11. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4204-9>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Akburak, S. and E. Makineci. 2013. Temporal changes of soil respiration under different tree species. *Environmental Monitoring and Assessment* 185:3349-3358. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2795-6>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Augusto, L., J. Ranger, D. Binkley and A. Rothe. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science* 59: 233-253. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2002020>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Caldato, S. L., P. A. Floss y E. C. Serafini F. 2010. Producción y descomposición de hojarasca en la selva ombrófila mixta en el sur de Brasil. *Revista Bosque* 31(1): 3-8. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100001>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Farfán, V. F. y J. Urrego B. 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 58(1): 20-39. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/205>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Fioretto, A., C. Di Nardo, S. Papa, and A. Fuggi. 2005. Lignin and cellulose degradation and nitrogen dynamics during decomposition of three leaf litter species in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 37(6): 1083-1091. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.007>. [consultado el 30 de mayo de 2024].

- Galván-Tejada, N. C., V. Peña-Ramírez, L. Mora-Palomino and C. Siebe. 2014. Soil P fractions in a volcanic soil chronosequence of Central Mexico and their relationship to foliar P in pine trees. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177:792-802. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300653>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- González-Rodríguez, H; J. M. López-Hernández, R. G. Ramírez-Lozano, M. V. Gómez-Meza, I. Cantú-Silva, J. I. Sarquís-Ramírez *et al.* 2019. Litterfall deposition and nutrient return in pineoak forests and scrublands in northeastern Mexico. *Madera y Bosques* 25(3): 1-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531514>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Grogan, P. (1998). CO₂ flux measurement using soda lime: correction for water formed during CO₂ adsorption. *Ecology* 79 (4): 1467-1468. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[1467:CFMUSL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[1467:CFMUSL]2.0.CO;2). [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Grüneberg, E., Ziche, D., and Wellbrock, N. 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology* 20(8): 2644-2662. <https://doi.org/10.1111/gcb.12558>. [consultado el 01 de agosto de 2024].
- Hansen, K., L Vesterdal, I. K. Schmidt, P. Gundersen, L. Sevel, A. Bastrup-Birk, *et al.* 2009. Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management* 257: 2133-2144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.021> [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Kenneth, L. M, J. M. Klopatek, and C. C. Klopatek .1998. The effects of litter quality and climate on decomposition along an elevational gradient. *Ecological Applications* 8:1061-1071. <https://doi.org/10.2307/2640961>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Krishna, M. P., & Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy Ecology and Environment* 2(4): 236-249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>. [consultado el 01 de agosto de 2024].

- Monteith, J. L., G. Szeicz and K. Yabuki. 1964. Crop Photosynthesis and the Flux of Carbon Dioxide Below the Canopy. *Journal of Applied Ecology* 1(2): 321-337. <https://doi.org/10.2307/2401316>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Olson, J. S. 1963. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. *Ecology* 44(2): 322-331. <https://doi.org/10.2307/1932179>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Ponder, F. Jr. 2005. Effect of Soil Compaction and Biomass Removal on Soil CO₂ Efflux in a Missouri Forest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 1301–1311. <https://doi.org/10.1081/CSS-200056935> [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Prescott, C. E., and Vesterdal, L. (2021). Decomposition and transformations along the continuum from litter to soil organic matter in forest soils. *Forest Ecology And Management* 498: 119522. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119522>. [consultado el 01 de agosto de 2024].
- Tripathi, S. K, A. Sumida, H. Shibata, K. Ono, S. Uemura, Y. Kodama *et al.* 2006. Leaf litterfall and decomposition of different above- and belowground parts of birch (*Betula ermanii*) trees and dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) shrubs in a young secondary forest in Northern Japan. *Biology and Fertility Soils* 43:237-246. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0100-y>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Vela, C. G., J. López B. y M. L. Rodríguez G. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* 77: 18-30. <https://doi.org/10.14350/rig.31007>. [consultado el 30 de mayo de 2024].

- Xiao, W., Ge, X., Zeng, L., Huang, Z., Lei, J., Zhou, B. *et al.* (2014). Rates of Litter Decomposition and Soil Respiration in Relation to Soil Temperature and Water in Different-Aged *Pinus massoniana* Forests in the Three Gorges Reservoir Area, China. PLoS ONE 9(7): e101890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101890>. [consultado el 01 de agosto de 2024].
- Yohannes, Y., O. Shibistova, A. Abate, M. Fetene and G. Guggenberger. 2011. Soil CO₂ efflux in an Afromontane forest of Ethiopia as driven by seasonality and tree species. *Forest Ecology and Management* 261(6):1090-1098. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2010.12.032>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Zheng, L. T., H. Y. H. Chen and E. R. Yan. 2019. Tree species diversity promotes litterfall productivity through crown complementarity in subtropical forests. *Journal of Ecology*. 107: 1852-1861. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13142>. [consultado el 30 de mayo de 2024].
- Zhou, L., A. D. Shalom, P. Wu, S. Li, Y. Jia and X. Ma. 2015. Litterfall production and nutrient return in different-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in South China. *Journal of Forest Research* 26(1):79-89. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0011-y>. [consultado el 30 de mayo de 2024].

ESTIMACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE LIGNINA DE HOJARASCA Y RAMAS EN SUELOS FORESTALES

Alejandro Pérez Rosales^{406*}, Virginia Martínez Rojas⁴⁰⁷ y Juan José Almaraz Suárez⁴⁰⁷

Resumen

En suelos forestales la mineralización se origina a partir de la celulosa, hemicelulosa y lignina contenidas en la hojarasca y son la principal fuente de las emisiones de dióxido de carbono. La lignina es el biopolímero más abundante y la forma de carbono más recalcitrante en la Tierra; resistente a la degradación microbiana. El objetivo de esta investigación fue estimar el efecto de la concentración de lignina sobre la tasa mineralización y mineralización acumulada del carbono orgánico en suelos forestales. Se colectaron muestras de suelo de 0 a 10 cm de profundidad en el bosque de *Abies religiosa* del Monte Tláloc, Estado de México. Se incubaron 25 g de suelo con concentraciones crecientes de lignina, la cual se obtuvo a partir del contenido presente en hojarasca y ramas (fibra detergente neutro y ácida); con una humedad del 60%, a 35°C. La proporción utilizada para la mezcla se calculó a través de una media ponderada, a fin de simular la cantidad de hojarasca caída anualmente en cada sitio de muestreo (3.9 t/ha/año a 2.5 t/ha/año). El CO₂ se recuperó por medio de una solución de NaOH 0.5 N y cloruro de bario 0.5 N, se valoró con H₂SO₄ 0.5 N. Las lecturas de CO₂ se realizaron durante 28 días. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con dos factores (sitios y concentraciones de lignina) y tres repeticiones. Se determinó tasa de mineralización y mineralización acumulada. Se realizó análisis de regresión lineal y análisis de varianza con el paquete estadístico SAS OnDemand for Academics. Las emisiones de CO₂, se ajustan a un modelo lineal con alfa del 0.01, para todos los niveles de lignina y cada suelo, con tasas de mineralización 12.06 mg/día de CO₂ a 33.68 mg/día de CO₂. Existen diferencias altamente significativas en la tasa de mineralización y mineralización acumulada. La interacción Sitios-Concentración de lignina, presenta diferencias estadísticas en la tasa de mineralización (33.68 y 30.10 mg/día de CO₂). Existe una relación positiva y altamente significativa entre el nitrógeno del suelo y el fósforo con la tasa de mineralización y la mineralización acumulada.

Palabras clave: carbono orgánico, carbono recalcitrante, C/N, humus

⁴⁰⁶ Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor de correspondencia: fitotecn@hotmail.com

⁴⁰⁷ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Edafología

Introducción

La mineralización es la transformación biológica de los compuestos orgánicos a formas inorgánicas simples. La mineralización del carbono orgánico del suelo es la principal causa de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera, es afectada por la temperatura, humedad, características de suelo, diversidad, estructura microbiana, actividad enzimática y tipo de vegetación. La temperatura es uno de los factores de mayor incidencia en la mineralización, ya que incrementos o fluctuaciones de esta, intervienen en la tasa de mineralización (Huang *et al.* 2019).

La liberación CO_2 a la atmosfera en los sistemas forestales se origina principalmente a través de la mineralización de los compuestos de carbono orgánico contenidos en la hojarasca, como azúcares, proteínas, fenoles, hidrocarburos y glicéridos, la proporción de estas formas de carbono, difiere tanto en las estructuras botánicas como en las especies, tales como la celulosa, hemicelulosa y lignina que son componentes de la pared celular. La lignina representa del 15 al 40%, del total de la hojarasca, que en algunos casos puede llegar del 4% hasta el 50%; es una molécula extremadamente flexible con una estructura variable (Krishna y Mohan, 2017), este biopolímero compuesto de heteropolímeros fenólicos, es el más abundante y la forma de carbono más recalcitrante en la Tierra; resistente a la degradación microbiana y la principal fuente de humus, la cual, contribuye en la estabilización y en el ciclo del carbono orgánico del suelo (Wang *et al.*, 2019). Además, tiene un importante papel en los ciclos biogeoquímicos de otros elementos, así como en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, bajo este contexto, la lignina y la celulosa son los principales componentes orgánicos que intervienen en la mineralización de la hojarasca (Li *et al.*, 2016). La cantidad y composición de lignina liberada los suelos forestales a partir de los residuos orgánicos, está influenciada por las condiciones ambientales, temperatura, humedad, radiación solar, tasa de mineralización (Stutz *et al.*, 2019).

La lignina es una molécula orgánica compleja, que representa cerca del 20% de la composición de los residuos vegetales, es resistente a la degradación enzimática, es decir el contenido de lignina presente en el tejido vegetal se relaciona negativamente con su descomposición, su contenido, composición y estructura son variables en los vegetales. La calidad de estos residuos influye sobre su dinámica de descomposición, y en consecuencia con la estabilización

de la materia orgánica en el suelo. Los modelos de descomposición de residuos sugieren que los compuestos de carbono recalcitrantes con altos contenidos de lignina se descomponen con mayor lentitud que los residuos con altos contenidos de azúcar solubles. La descomposición bioquímica de formas de carbono recalcitrante, es sensible a fluctuaciones de temperatura, con relación a las formas lábiles de carbono, por otro lado, la cinética enzimática de la descomposición de los compuestos recalcitrantes es mayor a temperaturas altas, ya que, se requiere mayor cantidad de energía para la activación de los procesos bioquímicos (Stewart *et al.*, 2015).

Dentro de las variables que están correlacionadas con la mineralización de la hojarasca, destacan la relación carbono/nitrógeno (C/N), lignina: nitrógeno (L/N), o el contenido de celulosa, las cuales han sido empleadas como predictores de la descomposición de los residuos orgánicos (Talbot y Treseder, 2012). La relación C/N es un componente más, de un conjunto de variables que influyen de manera significativa sobre la mineralización de los residuos orgánicos que se encuentran en el suelo, sin embargo, existe una relación lineal entre el nitrógeno mineralizable y la concentración de lignina, por lo que el contenido de lignina presente en los materiales orgánicos es un indicador de la mineralización de los residuos aplicados al suelo (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007). Este cociente ha sido utilizado como un indicador del nivel del nitrógeno en las capas superficiales de los suelos forestales y de la mineralización, sin embargo, es afectado por el contenido de lignina y nitrógeno de la hojarasca y otros residuos de las diferentes especies vegetales; siendo las especies con alto contenido de lignina y bajo contenido de N las que se descomponen más lentamente (Cools *et al.*, 2014). Este proceso bioquímico es limitado la labilidad del carbono y el N disponible (Fujii *et al.*, 2020). Los suelos forestales son el principal reservorio de carbono orgánico terrestre (40%), sin embargo, su capacidad de almacenamiento es finita, ya que estima que la mineralización del carbono orgánico ocurre después de la máxima acumulación de carbono orgánico en forma de humus en el horizonte orgánico en suelos minerales (Prescott y Vesterdal, 2021). Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue estimar el efecto de la concentración de lignina sobre la tasa mineralización y mineralización acumulada del carbono orgánico en suelos forestales.

Materiales y métodos

Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0 a 10 cm en el bosque de oyamel (*A. religiosa*), localizado a 19° 25.609' LN y 98° 45.785' LO, en el Monte Tláloc en la Sierra Nevada del oriente del Estado de México. A una altitud de 3093 a 3489 msnm. El clima es semifrío con una temperatura media anual de 5° a 12°C. La precipitación media anual oscila entre 800 y 1200 mm. Se determinó textura, pH, carbono orgánico total (CT), nitrógeno total (NT) y fósforo (P), carbono orgánico soluble (COS) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los suelos utilizados en la determinación de la tasa de mineralización de carbono en suelos forestales.

Sitio	Altitud (msnm)	pH	SOC	CO	MO	CIC meq/100 g S	N	P
			%				mg/kg S	
S1	3489	5.8	4.2	7.4	12.8	34.8	18.8	6.2
S2	3360	6.1	3.0	4.6	7.8	37.3	19.5	6.4
S3	3359	6.4	2.0	6.5	11.2	38.0	21.2	13.0
S4	3359	6.2	2.5	4.4	7.6	37.5	23.4	21.8
S5	3093	6.2	2.3	4.0	6.9	36.7	30.5	17.4

La Incubación de suelos se realizó en frascos con cierre hermético de 200 ml. Se colocaron 25 g de suelo (secado a la sombra y tamizado a 2 mm), con una humedad del 60% de su capacidad de retención, a una temperatura de 35°C. La hojarasca incorporada al suelo consistió en una mezcla de acículas y ramas, molidas y tamizadas a malla 40. Para la determinación de las concentraciones de lignina, se utilizó una media ponderada, utilizando los valores del análisis de fibra detergente neutro y fibra detergente ácida de muestras de hojarasca (Cuadro 2). La cantidad de la mezcla de hojarasca incorporada al suelo se estimó con la caída de hojarasca anual en cada sitio de muestreo (S1: 3.0 t/ha/año; S2: 3.9 t/ha/año; S3: 2.5 t/ha/año; S4: 2.6 t/ha/año y S5: 2.5 t/ha/año).

Cuadro 2. Características de acículas y ramas de *Abies religiosa* utilizadas en la incubación.

Material	Materia seca	Cenizas	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Nitrógeno total	Lignina/N
						%	
Acículas	97.3	5.1	21.8	14.5	11.6	1.2	9.8
Ramas	96.1	4.4	28.9	13.1	21.9	0.8	28.2

Las emisiones de CO₂ se recuperaron por medio de una solución de NaOH 0.5 N. En cada frasco se colocó un tubo de ensayo con 5 mL con la solución de NaOH, el cual fue reemplazado en cada medición. Las lecturas de CO₂ se realizaron diariamente, los primeros cuatro días, cada dos días durante ocho días, posteriormente cada tres días durante seis días y finalmente al día 28 después de iniciada la incubación. Para la cuantificación del CO₂ recuperado, en un matraz Erlenmeyer se adicionó la solución de NaOH y 2.5 mL de una solución de cloruro de bario 0.5 N, para precipitar el CO₂ adsorbido. Se agregaron dos gotas de fenolftaleína y se valoró con la solución de H₂SO₄ 0.5 N. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con dos factores (sitios y concentraciones de lignina) y tres repeticiones. Con los datos obtenidos se determinó tasa de mineralización y mineralización acumulada, a estas variables se les realizó análisis de regresión lineal, análisis de varianza y comparación múltiple de medias (Tukey). Se utilizó el paquete estadístico SAS OnDemand for Academics.

Resultados y discusión

Con base en el análisis de varianza de la regresión lineal de las concentraciones de lignina y el tiempo de incubación se determinó que las emisiones de CO₂, se ajustan a un modelo lineal con alfa del 0.01 (Cuadro 3), para todos los niveles de lignina y cada suelo evaluado, lo que indica que la mineralización de la lignina para estas condiciones es independiente de las características del suelo.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la regresión lineal de las concentraciones de lignina sobre las emisiones de CO₂ a los 28 días de incubación.

Fuente de variación	Sitio	Niveles lignina	Modelo	Error	Total
Grados de libertad			1	40	41
Suma de cuadrados (% de Lignina)	S1	0	642623**	19389	662011
		10.6	941876**	15763	957639
		13.6	830375**	89561	919936
		23.3	662203**	38007	700210
	S2	0	595126**	24731	619857
		11.8	525190**	4353.16	529543
		14.8	695654**	19051	714705
		22.2	418158**	19935	438093
	S3	0	1483852**	18077	1501930
		12	1568789**	18627	1587415
		14.5	2028942**	18150	2047091
		20.8	1485147**	45441	1530588
	S4	0	1842007**	17077	1859084
		12.1	2605616**	4929.58	2610546
		14.5	2381299**	16876	2398175
		23.1	2194099**	56817	2250917
	S5	0	2279219**	42675	2321894
		11.5	2767987**	35590	2803577
		13.6	3263165**	43630	3306796
		20.2	3125949**	63182	3189131

El análisis de regresión lineal determinó que las emisiones de CO₂, presentan una tendencia lineal entre las concentraciones de lignina adicionada a cada suelo y el CO₂ recuperado en los cinco suelos evaluados a los 28 días de incubación, cuyas tasas de mineralización fluctúan entre 12.06 mg/día de CO₂ a 33.68 mg/día de CO₂ (Cuadro 4), de igual forma el coeficiente de

determinación osciló entre 0.90 y 0.99, lo que indica que más del 90% de las emisiones de CO₂, son dependientes del tiempo de incubación.

Cuadro 4. Tasas de mineralización de lignina a los 28 días de incubación.

Concentración de lignina (%)	Tasa de mineralización (mg/día)	r ²
0	14.94597	0.9707
10.6	18.09436	0.9835
13.6	16.98961	0.9026
23.3	15.17197	0.9457
0	14.38304	0.9601
11.8	13.51152	0.9918
14.8	15.55045	0.9733
22.2	12.05637	0.9545
0	22.71128	0.9880
12	23.35224	0.9883
14.5	26.55712	0.9911
20.8	22.72118	0.9703
0	25.30416	0.9908
12.1	30.09549	0.9981
14.5	28.77089	0.9930
23.1	27.61687	0.9748
0	28.14746	0.9816
11.5	31.01903	0.9873
13.6	33.67951	0.9868
20.2	32.96379	0.9802

El comportamiento lineal es independiente al contenido de lignina adicionado, dado que al comparar las emisiones de CO₂ de los suelos con 0% de lignina, se aprecian tasas similares entre las concentraciones aplicadas (Figura 1). Klotzbücher *et al.* (2011) mencionan que la

mineralización de la lignina en el suelo depende principalmente de las entradas de carbono lábil y otras formas solubles que suministran energía a la biomasa microbiana.

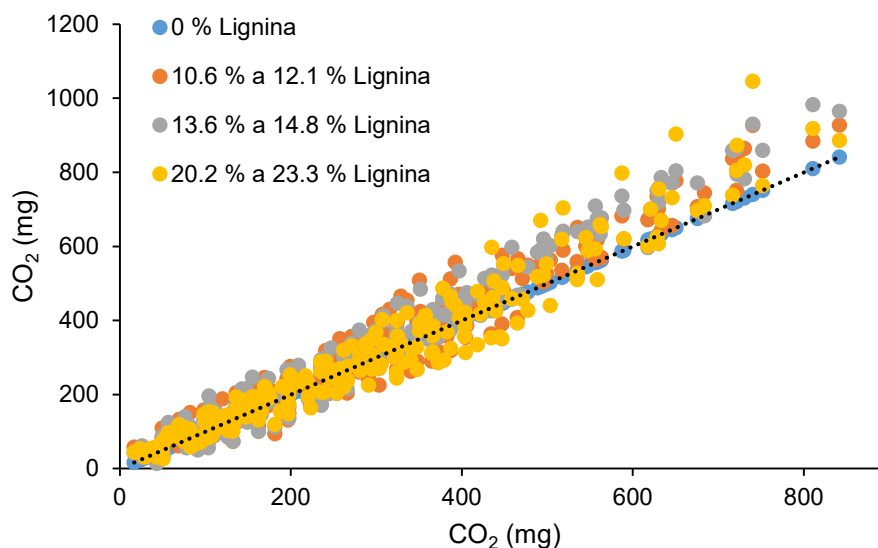


Figura 1. Relación entra las emisiones de CO₂ y la concentración de lignina en el suelo.

El análisis de varianza del efecto del sitio y la concentración de lignina sobre la tasa de mineralización de carbono orgánico y mineralización acumulada de carbono orgánico, indica que existen diferencias altamente significativas entre los factores individuales para la tasa de mineralización y mineralización acumulada, mientras que para la interacción sitio y concentración de Lignina se determinaron diferencias altamente significativas en tasa de mineralización y diferencias significativas en la mineralización acumulada (Cuadro 5).

El análisis de comparación múltiple de medias del efecto del sitio sobre la tasa de mineralización, indica que la mayor tasa se presentó en el sitio cinco con 31.4517 mg/día de CO₂, el cual corresponde a un contenido de nitrógeno total de 30.5 mg/kg S, mientras que en el sitio dos, la tasa de mineralización es de 13.8758 mg/día de CO₂, con un contenido de nitrógeno de 19.5 mg/kg S (Cuadro 6), estas emisiones de CO₂, sugieren que existe una relación entre el contenido de nitrógeno y la tasa de mineralización, donde se aprecia que a menor contenido de nitrógeno del suelo menor tasa de mineralización.

Cuadro 5. Análisis de varianza del efecto del sitio y la concentración de lignina sobre la tasa de mineralización de carbono orgánico y mineralización acumulada de carbono orgánico.

FV	GL	Tasa de mineralización (mg/día)		Mineralización acumulada (g)	
		Suma de cuadrados	f	Suma de cuadrados	f
Sitios	4	2690.80	286.13**	67.80	173.46**
CL	3	86.57	12.27**	2.24	7.63**
S-CL	12	75.98	2.69**	3.82	3.25*
Error	40	94.04		3.91	
Total	59	2947.40		77.76	
r ²		0.97		0.95	
CV		6.76		7.11	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de Libertad; CL: Concentración de lignina; S-CL: Interacción Sitios-Concentración de lignina. *0.05; **0.01; NS: No significativo.

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias del efecto del sitio sobre la tasa de mineralización de carbono orgánico y mineralización acumulada de carbono orgánico.

Sitios*	Tasa de mineralización (mg/día)	Mineralización acumulada (g)
S5	31.4517 a	5.9807 a
S4	27.9467 b	5.0395 b
S3	23.8358 c	4.4050 c
S1	16.300 d	3.5923 d
S2	13.8758 e	2.9542 e
DMS	1.7878	0.3645

*S1: Sitio a 3489 MSNM; S2: Sitio a 3360 MSNM; S3: Sitio a 3359 MSNM; S4: Sitio a 3196 MSNM; S5 Sitio a 3093 MSNM. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, alfa= 0.05).

En cuanto a la mineralización acumulada se observan diferencias estadísticas entre los sitios, siendo S5 el que presenta la mayor acumulación de CO₂, y el S2 el de menor acumulación, con 5.9807 g y 2.9542 g, respectivamente. Con base estos datos y dado que el contenido de

nitrógeno del suelo interviene en el proceso de mineralización a través de la relación C/N, tanto la tasa como la mineralización acumulada están influenciadas por el contenido de nitrógeno en el suelo, el cual, a su vez determina la actividad de los microorganismos involucrados en la mineralización, ya que en residuos con una baja relación C/N y con un alto contenido de N la mineralización es más rápida, debido a que los microorganismos emplean el N en el crecimiento celular y reproducción. Se ha estimado que relaciones C/N mayores a 25 el N en el suelo tiende a ser inmovilizado (Pei *et al.*, 2019).

La adición de lignina al suelo presentó diferencias estadísticas en la tasa de mineralización y mineralización acumulada, con relación a los suelos sin adición de lignina. La mayor tasa de mineralización y mineralización acumulada fue con la adición del 13.6% al 14.8% lignina (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación múltiple de medias del efecto de la concentración de lignina sobre la tasa de mineralización de carbono orgánico y mineralización acumulada de carbono orgánico.

Concentración de lignina*	Tasa de mineralización (mg/día)	Mineralización acumulada (g)
CL3	24.3087 a	4.6272 a
CL2	23.2153 ab	4.5005 a
CL4	22.1060 bc	4.3390 ab
CL1	21.0980 c	4.1106 b
DMS	1.5007	305.96

*CL1: 0% Lignina; CL2: 10.6% a 12.1% Lignina; CL3: 13.6% a 14.8% Lignina; CL4: 20.2% a 23.3% Lignina. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, alfa= 0.05).

Con base en las emisiones de CO₂ determinadas en este experimento, existe un comportamiento lineal en todas las simulaciones, sin embargo, las diferencias estadísticas encontradas en las tasas de mineralización, indican una influencia entre la cantidad de lignina presente en el suelo y su resistencia ante la mineralización microbiana; dado que la calidad del carbono influye en la composición de las comunidades microbianas, así como en la biomasa microbiana total, por ejemplo, ante la presencia de formas recalcitrantes de carbono,

como la lignina, predominan los hongos (Ali *et al.*, 2018). La resistencia a la mineralización de la lignina se debe a que es una forma de carbono proporciona poca energía a los microorganismos, ya que está protegida por compuestos de celulosa, en la cual los microorganismos emplean más energía en descomponer esta estructura, que la generada en la mineralización (Rinkes *et al.*, 2016).

El análisis de comparación múltiple de medias indica que la interacción Sitios-Concentración de lignina, presenta diferencias estadísticas entre la tasa de mineralización y la mineralización acumulada. (Cuadro 8). Las mayores tasas de mineralización oscilaron entre 33.68 y 30.10 mg/día de CO₂, en las interacciones S5-CL3, S5-CL4, S5-CL2, S4-CL2, que corresponde a los sitios con mayor contenido de nitrógeno con 23.4 mg/kg S y 30.5 mg/kg S, respectivamente, lo que sugiere que el contenido de nitrógeno, tiene una mayor influencia en la tasa de mineralización, que el contenido de lignina. Esta condición es similar en la mineralización acumulada.

Cuadro 8. Comparación múltiple de medias del efecto de la interacción sitio y concentración de lignina sobre la tasa de mineralización de carbono orgánico y mineralización acumulada de carbono orgánico.

Sitios-Concentración de lignina*	Tasa de mineralización (mg/día)	Sitios-Concentración de lignina	Mineralización acumulada (g)
S5-CL3	33.68 a	S5-L3	6.37 a
S5-CL4	32.96 ab	S5-L4	6.32 a
S5-CL2	31.02 abc	S5-L2	5.90 ab
S4-CL2	30.10 abc	S5-L1	5.33 bc
S4-CL3	28.77 bcd	S4-L2	5.31 bc
S5-CL1	28.15 cd	S4-L3	5.13 bc
S4-CL4	27.62 cde	S4-L4	4.97 bcd
S3-CL3	26.56 cdef	S3-L3	4.87 cd
S4-CL1	25.30 def	S4-L1	4.76 cd
S3-CL2	23.35 ef	S3-L2	4.46 cde
S3-CL4	22.72 fg	S3-L4	4.15 def

Sitios-Concentración de lignina*	Tasa de mineralización (mg/día)	Sitios-Concentración de lignina	Mineralización acumulada (g)
S3-CL1	22.71 fg	S3-L1	4.14 def
S1-CL2	18.09 gh	S1-L2	4.07 def
S1-CL3	16.99 h	S1-L3	3.79 efg
S2-CL3	15.55 hi	S1-L4	3.49 fgh
S1-CL4	15.17 hi	S2-L1	3.31 fgh
S1-CL1	14.95 hi	S1-L1	3.02 gh
S2-CL1	14.38 hi	S2-L3	2.98 gh
S2-CL2	13.51 hi	S2-L4	2.77 h
S2-CL4	12.06 i	S2-L2	2.76 h
DMS	4.7427	DMS	0.9669

*S1: Sitio a 3489 MSNM; S2: Sitio a 3360 MSNM; S3: Sitio a 3359 MSNM; S4: Sitio a 3196 MSNM; S5: Sitio a 3093 MSNM; CL1: 0% Lignina; CL2: 10.6% a 12.1% Lignina; CL3: 13.6% a 14.8% Lignina; CL4: 20.2% a 23.3% Lignina. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El análisis de correlación (Cuadro 9), sugiere que existe una relación positiva y altamente significativa entre el nitrógeno total del suelo, el fósforo extractable con la tasa de mineralización y la mineralización acumulada con 0.83, 0.87; 0.86, 0.79, respectivamente; dado que, con niveles altos de nitrógeno en el suelo, se estimula la respiración microbiana (Ma *et al.*, 2020), por otro lado, la movilización y mineralización de los compuestos orgánicos de C, N, y P están altamente correlacionados, es decir, la inmovilización y la mineralización tiene una fuerte relación con la actividad microbiana (Brödlín *et al.*, 2019).

Cuadro 9. Correlación de las características del suelo con la mineralización de la hojarasca.

Correlación	pH	SOC %	CO	MO	CIC meq/100 g S	N mg/kg	P
Tasa de mineralización	0.53	-0.65	-0.47	-0.46	0.32	0.83**	0.87**
Mineralización acumulada	0.42	-0.55	-0.44	-0.42	0.19	0.86**	0.79**

** altamente significativa, $\alpha = 0.01$.

Conclusiones

La mineralización de la lignina presenta una tendencia lineal y positiva con relación a la concentración de lignina adicionada. Las tasas de mineralización y la mineralización acumulada presentan diferencias estadísticas por efecto de la adición de niveles crecientes de lignina al suelo. Los sitios con mayor contenido de nitrógeno total, presentan mayores tasas de mineralización y mineralización acumulada que en los sitios con menor contenido de nitrógeno total. Existen diferencias significativas en la tasa de mineralización y mineralización acumulada en la interacción sitios y concentración de lignina.

Literatura citada

- Ali, R. S., C. Poll, & E. Kandeler. 2018. Dynamics of soil respiration and microbial communities: Interactive controls of temperature and substrate quality. *Soil Biology And Biochemistry/Soil Biology & Biochemistry*. 127: 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.010>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Brödlín, D., K. Kaiser & F. Hagedorn. 2019. Divergent patterns of carbon, nitrogen, and phosphorus mobilization in forest soils. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2:66. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00066>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Cools, N., L. Vesterdal, B. De Vos, E. Vanguelova & K. Hansen. 2014. Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology And Management*. 311: 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.047>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Fujii, K., T. Yamada, C. Hayakawa, A. Nakanishi & S. Funakawa. 2020. Decoupling of protein depolymerization and ammonification in nitrogen mineralization of acidic forest soils. *Applied Soil Ecology*. 153: 103572. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103572>. [consultado el 28 de mayo de 2024].

- Hernández-Mendoza, T. M., E. Salcedo-Pérez, G. Arévalo-Galarza & A. Galvis-Spinola. 2007. Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 13(1): 5-13. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v13n1/2007-4018-rcscfa-13-01-5.pdf>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Huang, J., T. Lin, D. Xiong, Z. Yang, X. Liu, G. Chen, *et al.* 2019. Organic carbon mineralization in soils of a natural forest and a forest plantation of southeastern China. *Geoderma*. 344: 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.012>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Klotzbücher, T., K. Kaiser, G. Guggenberger, C. Gatzek & K. Kalbitz. 2011. A new conceptual model for the fate of lignin in decomposing plant litter. *Ecology*. 92(5): 1052-1062. <https://doi.org/10.1890/10-1307.1>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Krishna, M. P. & M. Mohan. 2017. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology And Environment*. 2(4): 236-249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Li, H., F. Wu, W. Yang, L. Xu, X. Ni, J. He, B. *et al.* 2016. Effects of Forest Gaps on Litter Lignin and Cellulose Dynamics Vary Seasonally in an Alpine Forest. *Forests*, 7(2), 27. <https://doi.org/10.3390/f7020027>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Ma, T.-Y., X.-Y. Liu, S.-Q. Xu, H.-R. Guo, H. Huang, C.-C. Hu, *et al.* 2020. Levels and variations of soil organic carbon and total nitrogen among forests in a hotspot region of high nitrogen deposition. *The Science of the Total Environment*. 713(136620): 136620. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136620>. [consultado el 28 de mayo de 2024].

- Pei, G., J. Liu, B. Peng, D. Gao, C. Wang, W. Dai, *et al.* 2019. Nitrogen, lignin, C/N as important regulators of gross nitrogen release and immobilization during litter decomposition in a temperate forest ecosystem. *Forest Ecology And Management*. 440: 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.001>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Prescott, C. E. & L. Vesterdal. 2021. Decomposition and transformations along the continuum from litter to soil organic matter in forest soils. *Forest Ecology And Management*. 498: 119522. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119522>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Rinkes, Z. L., I. Bertrand, B. A. Z. Amin, A. S. Grandy, K. Wickings & M. N. Weintraub. 2016. Nitrogen alters microbial enzyme dynamics but not lignin chemistry during maize decomposition. *Biogeochemistry*. 128(1-2): 171-186. <https://doi.org/10.1007/s10533-016-0201-0>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Stewart, C. E., P. Moturi, R. F. Follett & A. D. Halvorson. 2015. Lignin biochemistry and soil N determine crop residue decomposition and soil priming. *Biogeochemistry*. 124(1-3): 335-351. <https://doi.org/10.1007/s10533-015-0101-8>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Stutz, K. P., K. Kaiser, J. Wambsganss, F. Santos, A. A. Berhe & F. Lang. 2019. Lignin from white-rotted European beech deadwood and soil functions. *Biogeochemistry*. 145(1-2): 81-105. <https://doi.org/10.1007/s10533-019-00593-2>. [consultado el 28 de mayo de 2024].
- Talbot, J. M. & K. K. Treseder. 2012. Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry–decay relationships. *Ecology*. 93(2): 345-354. <https://doi.org/10.1890/11-0843.1>. [consultado el 28 de mayo de 2024].

Wang, Y., H. Zheng, F. Chen, J. Zeng & Z. Ouyang. 2019. Forest restoration approaches affect soil compositions of lignin, substituted fatty acids, and lignin degradation-associated genes. *Applied Soil Ecology*. 138: 213-219. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.005>. [consultado el 28 de mayo de 2024].

HONGOS EDÁFICOS EN ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA (*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) ABONADOS CON LOMBRICOMPOSTA

Jocelyn Márquez Cervantes^{408*}, Juan Valente Megchún García⁴⁰⁸,
María del Refugio Castañeda Chávez⁴⁰⁸ e Isabel Araceli Amaro Espejo⁴⁰⁸

Resumen

La citricultura en México, principalmente en el estado de Veracruz, es de vital importancia para la economía de las familias de los productores, especialmente con el limón persa como producto destacado en la exportación. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos plantea problemas ambientales y de salud pública. El objetivo fue evaluar la diversidad y abundancia de hongos edáficos en la rizosfera de los árboles de limón persa abonados con diferentes dosis de fertilización con lombricomposta. El trabajo de investigación se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, donde se evaluaron los siguientes tratamientos, T1:0; T2: Nitromax (Productor) 500 g/árbol; T3: Lombricomposta 4 kg/árbol; T4: Lombricomposta 6 kg/árbol; T5: Lombricomposta 8 kg/árbol. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y la variable de estudio fue la población de hongos presente en el suelo, en el área de la rizosfera de los árboles de limón persa, para el análisis estadístico se realizó un ANOVA, y se midieron los índices de biodiversidad y dominancia en cada uno de los tratamientos. Los resultados indican una diferencia significativa en la población de hongos en el "T2", ya que se demostró una disminución en la población de hongos en el mes de octubre correspondiente a 14×10^{-1} UFC y en noviembre fue de 1×10^{-1} UFC. Los tratamientos con lombricomposta "T4" y "T5" mantuvieron poblaciones constantes en ambos meses, posiblemente en respuesta a las fuentes orgánicas, ya que tienen un efecto comparable a las inorgánicas, y al combinarlas no resulta en un efecto inferior. Se concluye que el tratamiento "T3" con la dosis de 4 kg/árbol de lombricomposta aumentó las poblaciones de hongos en la rizosfera de los árboles de limón persa.

Palabras clave: cítricos, fertilizantes, organismos, suelo, ambiente

Introducción

En México, la citricultura es una actividad agrícola económica, representada con una superficie cosechada de 574,000 ha, las principales especies cultivadas son: naranjas, limas, limones,

⁴⁰⁸ TecNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: m22990056@g.bdelrio.tecnm.mx, megchj@gmail.com

tangerinas, mandarinas y toronjas. Para el caso de lima persa (*Citrus latifolia* Tan.), se reportan 90 000 ha con 1 246 219 t cosechadas y un costo de producción de \$ 5 242 834 919.00 MNX. Veracruz es el principal estado productor nacional de cítricos, aporta 65% del volumen total de limón 'persa' anual y recibe 136 millones de dólares anuales por la exportación de este producto (SIAP, 2016). La exportación de cítricos es una de las actividades económicas más importantes de México. Los cítricos son una fruta de alto consumo nacional y una de las principales frutas de exportación para el sector agrícola; uno de los mayores importadores de exportación es EE.UU., seguido de Japón (Torres *et al.*, 2019). El problema principal relacionado con el uso de los fertilizantes de origen sintético en la producción de limón es la contaminación ambiental, los riesgos a la salud pública y el impacto negativo a la biodiversidad de los suelos agrícolas (Ramos *et al.*, 2019). El uso excesivo o inadecuado de los pesticidas y fertilizantes químicos, puede contaminar el suelo y las fuentes de agua superficial y subterráneas, afectando negativamente la calidad del agua para uso agrícola y para el consumo humano y los diferentes cuerpos de agua (SEGOB, 2018). El impacto a la salud humana más común es envenenamiento, efectos crónicos a largo plazo y enfermedades como el cáncer, esterilidad, y mal formaciones, incluyendo intoxicaciones agudas y crónicas, daños al sistema nervioso, problemas endocrinos (López *et al.*, 2001). Para evaluar y conservar la salud del suelo en cultivos de limón, se analizan diversas variables físicas, químicas y biológicas, incluyendo el uso del suelo, la mineralización de nitrógeno, la biomasa microbiana, la abundancia de lombrices, la fauna del suelo, el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de carbono y nitrógeno, la textura del suelo y la materia orgánica. Estos indicadores proporcionan información clave sobre la fertilidad, estructura y la actividad biológica del suelo, permitiendo diseñar estrategias de conservación adaptadas a las necesidades específicas del cultivo de limón y su entorno (Alcudia *et al.*, 2023). Los agroquímicos sintéticos, a pesar de su eficacia en la mejora de la producción agrícola, presentan diversos efectos adversos que impactan negativamente el medio ambiente. Estos compuestos pueden causar acidificación del suelo, un fenómeno en el que los fertilizantes ricos en nitrógeno se descomponen en ácidos, alterando el pH del suelo y comprometiendo su capacidad para retener nutrientes (Hernández y Quiroga, 2012). Esta alteración no solo afecta la fertilidad del suelo, sino que también puede llevar a la degradación de su estructura, reduciendo su capacidad para retener agua y nutrientes y aumentando el riesgo de erosión (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011). El uso

excesivo de fertilizantes sintéticos contribuye a la reducción de la biodiversidad microbiana en el suelo. La alteración del equilibrio microbiano puede afectar la salud general del suelo y su capacidad para descomponer materia orgánica, esencial para el mantenimiento de la fertilidad y la estructura del suelo (Pla, 2006). Por otra parte, la contaminación de cuerpos de agua por escorrentía de estos fertilizantes resulta en eutrofización, un proceso que fomenta el crecimiento desmedido de algas y plantas acuáticas, reduciendo el oxígeno en el agua y afectando la vida acuática (Aboutalebi, 2013). Estos efectos adversos destacan la necesidad de buscar alternativas más sostenibles para mejorar la producción de los cultivos, en este caso los cítricos. La lombricomposta, por ejemplo, ofrece una opción más ecológica, promoviendo la salud del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Al enriquecer el suelo con microorganismos beneficiosos y nutrientes esenciales, la lombricomposta contribuye a una mejor calidad del suelo y una mayor estabilidad ambiental, minimizando los impactos negativos asociados con los agroquímicos sintéticos (Sridevi *et al.*, 2016; Zambrano *et al.*, 2022). La agricultura orgánica y agroecológica va más allá de simplemente usar abonos orgánicos para fertilizar el suelo; implica un cambio de mentalidad y un proceso con múltiples pasos. La lombricomposta, producida por lombrices, es un fertilizante orgánico rico en nutrientes esenciales para las plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio, micronutrientes, materia orgánica, hormonas, vitaminas, sal y minerales. La lombricomposta mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y aireación. Además, promueve la actividad microbiana beneficiosa en el suelo y reduce la cantidad de residuos orgánicos. Su aplicación beneficia el crecimiento de las plantas en la agricultura urbana, familiar y en los cultivos agrícolas, siendo una alternativa sostenible y efectiva para mejorar la fertilidad del suelo y la salud de las plantas (Rodríguez y García, 2012). Los hongos en el suelo pueden ser beneficiosos o perjudiciales para los árboles de limón. Algunos, como las micorrizas, ayudan a absorber nutrientes, promoviendo el crecimiento. El manejo agronómico en la parcela incluye rotación de cultivos, técnicas integradas de control de plagas y enfermedades, y el uso de fungicidas específicos cuando sea necesario (Herrán *et al.*, 2008). En la región de Cotaxtla, Veracruz, se encuentran sembrada una superficie de 1 643.59 has de limón y se producen 27 048.44 toneladas (SIAP, 2024); las cuales se nutren principalmente con fertilizantes químicos. Sin embargo, dado que los mercados actuales demandan productos con menos insumos químicos, surge la necesidad de buscar alternativas de nutrición a base de abonos orgánicos.

Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar la diversidad y abundancia de hongos edáficos en la rizosfera de los árboles de limón persa abonados con diferentes dosis de fertilización con lombricomposta.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, en las coordenadas 18° 50' de latitud norte y 96° 24' de longitud oeste, a una altitud de 50 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante en la zona es cálido, seco y regular, con una temperatura promedio de 26°C y una precipitación pluvial media anual de alrededor de 1,900 mm, con una población de 18,821 habitantes y un total de 202 localidades (UV, 2012).



Fig. 1 Ubicación del municipio de Cotaxtla, Veracruz. Fuente: INEGI (2022) modificación propia.

El experimento se estableció el 2 de agosto de 2023 en una superficie de 450 m². Se utilizaron árboles de *Citrus latifolia* Tan., con una edad de cuatro años. El sistema de plantación de los

árboles es en marco real con una distancia entre árboles de 4 x 4 m y altura promedio de 5 m y un diámetro de copa de 3.5 m, y cuenta con un sistema de riego por microaspersión.

Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados (Cuadro 1) consistieron en un T1: testigo, el tratamiento T2: Productor con el manejo de Nitromax+ 4 kg KCl, y la aplicación de lombricomposta como fertilizante orgánico en los tratamientos T3, T4 y T5 con dosis por árbol tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en árboles de 4 años/árboles en producción.

Tratamiento	Fuente	Dosis de fertilización al suelo dos aplicaciones/seis meses
T1	0	0
T2	Nitromax (Productor)	500 g/árbol+ 4 kg KCl
T3	Lombricomposta	4 kg/árbol
T4	Lombricomposta	6 kg/árbol
T5	Lombricomposta	8 kg/árbol

Diseño experimental

Para el establecimiento del experimento, se consideró un diseño experimental en bloques completos al azar, y a cada tratamiento se le designó 4 repeticiones, y la unidad experimental fue un árbol de limón persa.

Fertilización con lombricomposta

Para la selección de los árboles, se tomó en cuenta el tamaño de la copa y la altura de la copa. Se tomó una muestra de suelo de 1 kg de la parcela del productor y se determinó pH y textura del suelo con base a la NOM 021 RECNAT 2000 AS-09. Se realizaron dos aplicaciones de lombricomposta en la fecha 2 de agosto y 10 de octubre de 2023, la primera fertilización se realizó en forma de medialuna del lado oeste entre las hileras de los árboles de limón en el

mes de agosto y la segunda fertilización se realizó en forma de medialuna del lado este (lado contrario) en el mes de octubre.

Método de cuantificación de hongos

Para estudiar los hongos, se realizaron muestreos de suelo en cada tratamiento de fertilización, al lado del árbol se excavo una cepa de 50 cm de profundidad y 30 cm de diámetro, se colectaron 500 g de suelo por tratamiento y se depositaron en una bolsa hermética a una temperatura de 18°C, para la preservación de la muestra se monitoreo la temperatura que no fuera superior a 30°C ni inferior a 0°C, las bolsas herméticas con las muestras de suelo fueron transportadas con una hielera al laboratorio LIRA (Laboratorio de Investigación de Recursos Acuícolas) del Instituto de Boca del Río, Veracruz. El procesamiento de las muestras se realizó con base a la metodología del laboratorio de la Universidad Francisco Santander de Paula Oacaña (2023), para la cuantificación de los hongos se utilizó el agar patata dextrosa y se cultivó en cajas Petri en la campana de flujo laminar HealForce, y se dejaron reposar a 37°C en la incubadora Memmert INP400, el conteo de hongos se realizó 24 h después de la siembra.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se realizó un análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) utilizando el paquete estadístico MINITAB versión 18 y para el análisis de la dominancia y biodiversidad de las especies, se utilizó el programa Past, midiendo el índice de dominancia, Shannon, Simpson y Margalef.

Resultados y discusión

En la Figura 2, se evidencian diferencias significativas para el tratamiento T3, que utilizó lombricomposta a una dosis de 4 kg/árbol en agosto. Este tratamiento mostró una mejora notable en la fertilización en comparación con los resultados del establecimiento inicial y dos meses después de la segunda aplicación de lombricomposta. Estudios demuestran que la aplicación de lombricomposta en árboles frutales, en dosis adecuadas mejora la salud del suelo y la productividad del cultivo; Arbeu *et al.*, (2019), en Martínez de la Torre, Veracruz,

encontraron que una mayor dosis de lombricomposta aumentó el rendimiento del cultivo, favoreció la presencia de organismos beneficiosos en el suelo y mejoró su calidad. El uso de la lombricomposta enriquece el suelo con microorganismos y nutrientes, mejora la retención de agua y nutrientes, y reduce la necesidad de fertilizantes adicionales, minimizando el impacto ambiental negativo. El manejo de la lombricomposta en la nutrición de los árboles frutales es una alternativa más sostenible frente a la dependencia de los fertilizantes sintéticos, ya que reduce en un 85% el impacto ambiental (Arbeu *et al.*, 2019).

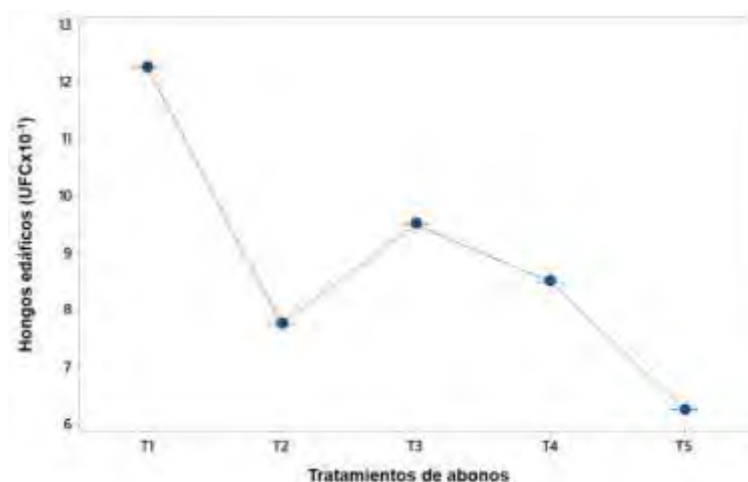


Figura 2. Hongos edáficos en el mes de agosto de la zona radicular de árbol de limón persa.

En la Figura 3, se observa una diferencia estadísticamente significativa en la población de hongos entre los tratamientos. El tratamiento T2, que consistió en árboles de limón persa fertilizados sintéticamente, presentó una menor población de hongos en comparación con los árboles fertilizados con el tratamiento T5, lombricomposta de 8 kg/árbol. Durante el mes de agosto, el tratamiento "T5" lombricomposta mostró una mayor abundancia de hongos, lo que resalta el impacto positivo de la lombricomposta en la biodiversidad microbiana del suelo.

Este hallazgo es concuerda con el estudio de Aboutalebi (2013), que destacó cómo las altas concentraciones de fertilizantes sintéticos pueden tener efectos adversos en el crecimiento de los frutos y en la salud general del suelo. Aboutalebi encontró que, aunque el manejo del nitrógeno en dosis correctas no afectó negativamente a los organismos del suelo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos puede reducir la biodiversidad microbiana y, por ende, la

salud del suelo. En contraste, la lombricomposta, al introducir microorganismos beneficiosos, mejora la estructura y la funcionalidad del suelo (Sridevi *et al.*, 2016). Además, Gutiérrez-Miceli *et al.*, (2011) indican que la lombricomposta ayuda a ajustar el pH del suelo a niveles óptimos, favoreciendo así un ambiente más propicio para la actividad microbiana.

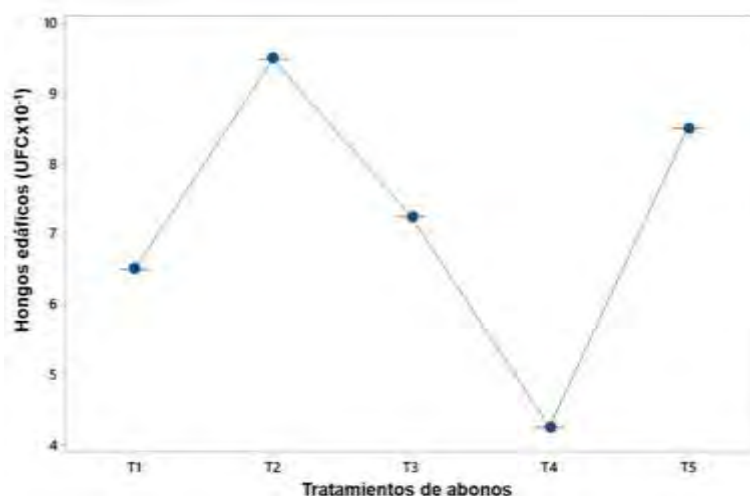


Figura 3. Hongos edáficos en el mes de septiembre de la zona radicular de árbol de limón persa.

En las Figuras 4 y 5, se observan diferencias significativas en la población de hongos según el tipo de fertilización, el tratamiento con fertilizante sintético “T2” mostró una notable disminución en la población de hongos, de 14×10^{-1} UFC en octubre a 1×10^{-1} UFC en noviembre, posiblemente influenciado por factores externos como el cambio climático que afecta la dinámica microbiana del suelo (Atiyeh *et al.*, 2000). En contraste, los tratamientos con lombricomposta (T4 y T5) mantuvieron una población estable de hongos durante ambos meses. El tratamiento T5, con la dosis de 8 kg/árbol, presentó la mayor población de hongos (16×10^{-1} UFC), indicando que la lombricomposta favorece una mayor estabilidad y salud microbiana (Sridevi *et al.*, 2016).

Estos hallazgos coinciden con Hernández y Quiroga (2012), quienes observaron que los abonos orgánicos pueden tener efectos similares a los inorgánicos, y que combinar abonos orgánicos con nitrógeno inorgánico no resulta en menor eficacia. López *et al.* (2001) también sugieren que los abonos orgánicos como la lombricomposta pueden ser una alternativa

efectiva y sostenible frente a los fertilizantes sintéticos, mejorando la sostenibilidad y salud del suelo.

El uso de lombricomposta mejora la conversión de nutrientes y puede mitigar el impacto negativo del cambio climático sobre la salud del suelo, fortaleciendo la resiliencia del ecosistema microbiano (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011; Zambrano *et al.*, 2022). La capacidad de la lombricomposta para mantener una población estable de hongos destaca su eficacia en promover un entorno microbiano robusto y equilibrado, esencial para la sostenibilidad agrícola.

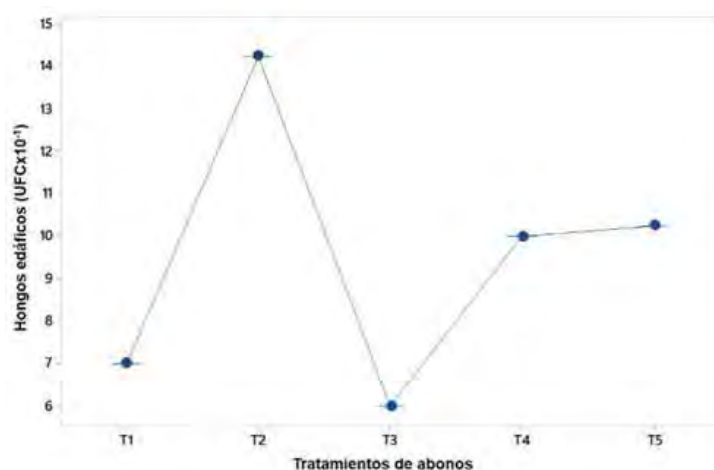


Figura 4. Hongos edáficos en el mes de octubre de la zona radicular de árbol de limón persa.

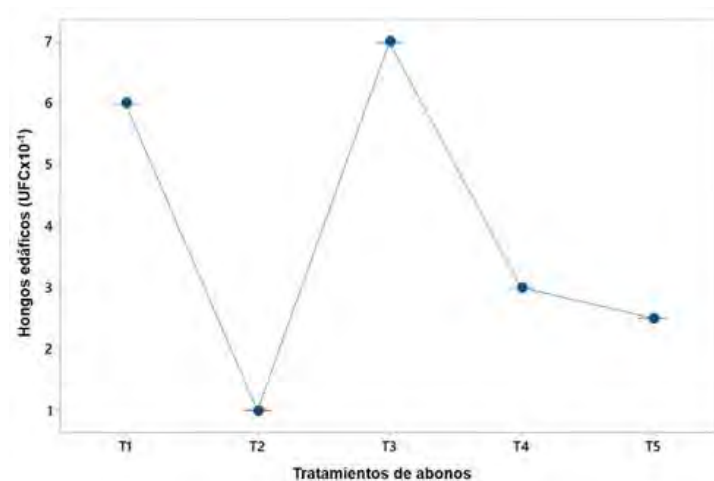


Figura 5. Hongos edáficos en el mes de noviembre de la zona radicular de árbol de limón persa.

En la Figura 6, se observa que el tratamiento T5, mostró una superioridad significativa respecto a los demás tratamientos, con un valor de 16×10^{-1} UFC en la población de hongos. Este resultado sugiere que un aumento en la dosis de lombricomposta tiene una tendencia positiva en el incremento de las poblaciones de hongos en el suelo. La lombricomposta, al ser aplicada en dosis más altas, introduce una mayor cantidad de microorganismos benéficos en el suelo, que son fundamentales para la salud y fertilidad del suelo. Estos microorganismos desempeñan un papel crucial en la conversión de macroelementos del suelo en formas asimilables por las plantas, facilitando así una mejor absorción de nutrientes esenciales (Sridevi *et al.*, 2016).

Además, la eficacia de la lombricomposta en el incremento de las poblaciones de hongos se ve reforzada por el hecho de que el pH del suelo influye significativamente en la fijación y disponibilidad de los compuestos orgánicos presentes en la lombricomposta. Los estudios han demostrado que la lombricomposta tiene un efecto positivo en el suelo, particularmente cuando el pH se mantiene en un rango óptimo de 5.5 a 6. Este rango de pH es crucial ya que determina las formas iónicas de los nutrientes, influyendo en su disponibilidad para las plantas (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011). Un pH adecuado facilita la solubilización de nutrientes, lo que permite una mejor asimilación y un crecimiento vegetal más robusto.

Los hallazgos de Atiyeh *et al.* (2000) también corroboran estos efectos, ya que su estudio evidenció que diferentes tipos de compostaje, incluida la lombricomposta, pueden tener efectos positivos en el crecimiento de las plantas y el mejoramiento del suelo cuando se aplican en condiciones adecuadas de pH. La lombricomposta, al enriquecer el suelo con microorganismos y nutrientes, ayuda a restaurar y mantener un equilibrio saludable en el ecosistema del suelo, favoreciendo la actividad microbiana y la estructura del suelo.

En términos de beneficios específicos, el tratamiento “T5” demostró no solo un incremento en la población de hongos, si no también pudiera tener un efecto en la mejora de la estructura y fertilidad del suelo, lo cual es vital para el cultivo de limón persa. El uso de lombricomposta en dosis adecuadas, como la empleada en el tratamiento “T5”, muestra un impacto positivo considerable en el microbiota del suelo y en la salud general del mismo. Esta tendencia hacia un mayor crecimiento de las poblaciones de hongos y la mejora en la disponibilidad de nutrientes destacan la lombricomposta como una alternativa efectiva y beneficiosa frente a los

fertilizantes sintéticos, alineándose con prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

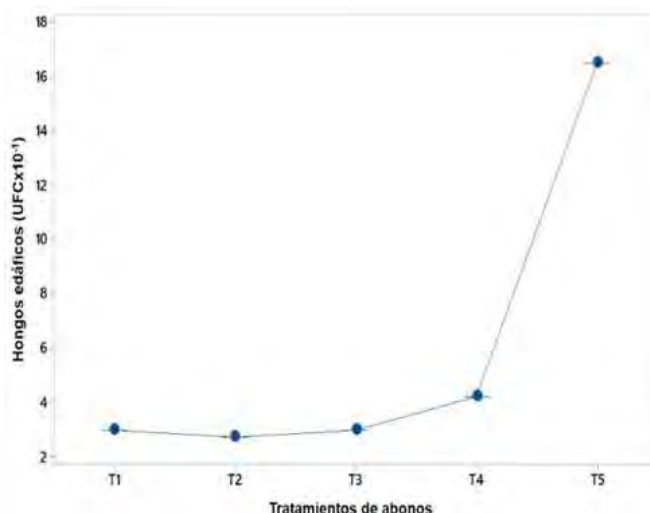


Figura 6. Hongos edáficos en el mes de noviembre de la zona radicular de árbol de limón persa.

Los datos obtenidos a lo largo del estudio sobre la aplicación de lombricomposta en árboles de limón persa evidencian una serie de resultados significativos en términos de diversidad y dominancia de la microflora del suelo. Al analizar la microflora en el suelo, se observaron diferencias notables entre los tratamientos con lombricomposta y los fertilizantes sintéticos. Los tratamientos con lombricomposta (T3, T4 y T5) mostraron una menor dominancia en comparación con el tratamiento de fertilización sintética “T2”. Este fenómeno indica una mayor equidad en la distribución de especies en el suelo tratado con lombricomposta. En particular, el tratamiento T5 presentó el valor más bajo de dominancia (0.2594) al final del estudio, sugiriendo que la lombricomposta puede promover una distribución más equilibrada de las especies microbianas (Pla, 2006).

El índice de Shannon, que mide la diversidad de especies, también mostró resultados positivos con el uso de lombricomposta. Aunque todos los tratamientos tuvieron valores menores a los reportados en la literatura como óptimos para alta diversidad (superiores a 3) (Pla, 2006), el tratamiento T5 alcanzó el valor más alto (1.369) al final del estudio, indicando una ligera mejora en la diversidad de especies en comparación con los tratamientos iniciales. Esto sugiere que

la lombricomposta puede ser eficaz en promover una mayor diversidad microbiana en el suelo (Zambrano *et al.*, 2022).

El índice de Simpson refleja la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, al analizar los datos de los diferentes tratamientos, mostró una tendencia a mejorar con el uso de lombricomposta. El tratamiento “T5”, al final del estudio, presentó el valor más alto con un valor de 0.7406, lo que sugiere un incremento en la diversidad relativa de especies en comparación con los valores iniciales (Hernández y Quiroga, 2012).

En relación con el índice de Margalef, que mide la riqueza de especies, los resultados mostraron que los tratamientos con lombricomposta mantuvieron valores relativamente constantes. Aunque los valores de Margalef indicaron una riqueza de especies baja en todos los tratamientos, el tratamiento “T5” mostró el valor más alto con 0.6116, esto indica una ligera mejora en la riqueza de especies en el suelo con lombricomposta (López *et al.*, 2001).

El análisis de los tratamientos iniciales y finales reveló que la fertilización con lombricomposta tiene un impacto positivo en la microflora del suelo en comparación con los fertilizantes sintéticos. La lombricomposta mejoró a incrementar una mayor diversidad de hongos, sino que también ayudó a mitigar los efectos negativos asociados con el uso excesivo de fertilizantes sintéticos, como la acidificación del suelo y la degradación de su estructura. El tratamiento “T3”, con una dosis de 4 kg por árbol, mostró un aumento del 25% en la población de hongos en la rizosfera durante el período de muestreo, destacándose por su efectividad en el fomento de microorganismos beneficiosos en el suelo (Sridevi *et al.*, 2016; Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011). Es crucial considerar que las variaciones en los resultados pueden estar influenciadas por factores externos, como el cambio climático y las fechas de muestreo. Estas variables podrían haber afectado la microflora edáfica de manera diferente a lo largo del estudio (Atiyeh *et al.*, 2000). La aplicación de lombricomposta, especialmente en dosis adecuadas, demuestra ser una alternativa efectiva a los fertilizantes sintéticos, no solo en términos de producción de limón persa, sino también en la mejora de la salud y diversidad del suelo. Estos resultados sugieren que la lombricomposta puede ofrecer beneficios significativos tanto ambientales como agrícolas, haciendo que su uso sea una opción valiosa para la fertilización sostenible.

Cuadro 4. Diversidad y dominancia de la microflora inicial del suelo en árboles de limón persa.

Tratamientos	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.2803	1.322	0.7197	0.7708
T2	0.3923	1.072	0.6077	0.8736
T3	0.3061	1.259	0.6939	0.8247
T4	0.2855	1.312	0.7145	0.8507
T5	0.7792	0.4988	0.2208	0.932

Cuadro 5. Diversidad y dominancia de la microflora total del suelo en árboles de limón persa.

Tratamientos	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.2654	1.357	0.7346	0.608
T2	0.2623	1.362	0.7377	0.5822
T3	0.3187	1.229	0.6813	0.6154
T4	0.2937	1.306	0.7063	0.6266
T5	0.2594	1.369	0.7406	0.6116

Conclusiones

El manejo de la fertilización con el uso de la lombricomposta presento resultados similares a la fertilización sintética, por lo que podría ser una alternativa para nutrir y reducir el uso de los abonos sintéticos durante la fase de crecimiento y desarrollo de los árboles de limón persa. El tratamiento “T3” y el “T5” con la dosis de 4 y 8 kg/árbol de lombricomposta, logró incrementar dominancia y diversidad de las poblaciones de los hongos edáficos en la zona de la rizosfera de los árboles de limón persa, en las diferentes fechas de muestreo comprendido en los meses de agosto a enero. Pero se recomienda realizar aplicaciones de 4 kg/árbol de lombricomposta (T3) en árboles de limón persa. Se propone dar continuidad a futuras evaluaciones sobre el

manejo de la lombricomposta en árboles de limón a diferentes edades del cultivo, y determinar un estudio sobre el beneficio costo.

Agradecimientos

Al CONAHCYT, por el apoyo otorgado para la realización de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, del TecNM/Itboca. y al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado con las instalaciones para la realización del trabajo de investigación.

Literatura citada

- Aboutalebi, A. 2013. Effects of nitrogen and iron on sweet lime (*Citrus limmetta*) fruit quantity and quality in calcareous soils. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(4): 211-213.
- Alcudia-Pérez, J., Fraire-Cordero, S., Rosales-Martínez, V., & Quej-Chí, V. H. 2023. Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias del Suelo*.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., & Edwards, C. A. 2000. Effects of different types of compost on plant growth and soil improvement. *Compost Science & Utilization*, 8(4):10-16.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., & Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5): 579-590.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Hernández, R. G., & Velázquez, A. J. 2011. El impacto del pH del suelo en la fijación de compuestos de lombricomposta. *Soil Science Review*, 39(3): 77-85.

- Gutiérrez-Miceli, F. A., Oliva Llaven, M. A., Mendoza Nazar, P., Ruíz Sesma, B., Álvarez-Solís, J. D., & Dendooven, L. (2011). Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition*, 34(11): 1642-1653.
- Hernández, M. E., & Quiroga, E. C. 2012. Comparación entre abonos orgánicos e inorgánicos en la mejora de la fertilidad del suelo. *Agricultural Science Journal*, 28(3): 235-245.
- Herrán, J. A. F., Torres, R. R. S., Martínez, G. E. R., Ruiz, R. M., & Portugal, V. O. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai: Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 4(1): 57-68.
- López, M. J., Díaz, E. A., Martínez, R. E., & Valdez, C. R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19(4): 239-299.
- López, R., Martínez, F., & Ortega, P. 2001. Alternativas para la fertilización nitrogenada en cultivos de cítricos: Abonos orgánicos frente a fertilizantes sintéticos. *Journal of Citrus Research*, 9(1): 15-30.
- Pla, J. 2006. Diversidad microbiana en suelos agrícolas y su impacto en la salud del suelo. Editorial Universitaria.
- Ramos Oseguera, C. A., Castro Ramírez, A. E., León Martínez, N. S., Álvarez Solís, J. D., & Huerta Lwanga, E. 2019. Vermicompost to recover the fertility of sandy loam soil and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4): 972-984.
- Rebolledo Martínez, L., Megchún García, J. V., Rebolledo Martínez, A., & Orozco Corona, D. M. 2019. Asociación de frutales de limón persa (*Citrus latifolia*) y palma de coco (*Cocos nucifera* L.) con el aporte de materia seca por cultivos anuales. *Revista de Ciencias Agrícolas*.

- Rodríguez, H. G., & García, R. L. 2012. Factores que influyen en el desarrollo del emprendimiento: Una revisión de literatura. *Contaduría y Administración*, 57(1): 63-87.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Producción agrícola. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/.
- Sridevi, S., Prabu, M., & Tamilselvi, N. G. 2016. Bioconversion of water hyacinth into enriched vermicompost and its effect on growth and yield of peanut. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(7): 675-681.
- Torres, F. J. G., García, J. C. J., & Andrade, M. G. C. 2019. Importancia del transporte terrestre en el comercio exterior de cítricos de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 43(4): 921-929. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342019000400921&script=sci_artext.
- UV. 2012. El municipio de Cotaxtla. *Biología y gestión de riesgo*. Universidad Veracruzana. Recuperado de https://www.uv.mx/apps/biologia/gestionriesgo/Contexto/Entradas/2012/11/9_El_municipio.html.
- Zambrano, J. A., Rojas, C., & Pérez, V. 2022. Diferencias en la macrofauna edáfica por profundidad de muestreo en cultivos de limón. *Journal of Agricultural Ecology*, 50(1): 45-58.

MACROFAUNA EDÁFICA EN ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA ABONADOS CON LOMBRICOMPOSTA

Beatriz Adriana Santiago Domínguez^{409*}, Juan Valente Megchún García^{409, 410},
María del Refugio Castañeda Chávez⁴⁰⁹ y Gaby Carmen Navarrete Rodríguez⁴⁰⁹

Resumen

El limón persa es un fruto de trascendencia a nivel mundial, donde México ha ocupado el segundo lugar como generador mundial de limón. Los productores están habituados al incremento de la productividad agrícola mediante el uso de fertilizantes químicos que generan un impacto ambiental al suelo y a la macrofauna. En este contexto, el objetivo de la investigación fue evaluar el uso de lombricomposta y fertilización mineral en las poblaciones de macrofauna de árboles de limón persa, en una parcela del municipio de Cotaxtla, Veracruz (Zona centro del Estado) México, donde se evaluaron cinco tratamientos de fertilización por árbol; T₁: 0 kg/árbol, T₂: Nitromax 0.5 kg/árbol, T₃: 4 kg/árbol de lombricomposta, T₄: 6 kg/árbol de lombricomposta, T₅: 8 kg/árbol de lombricomposta. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los muestreos se realizaron durante un periodo de seis meses, de agosto 2023 a enero 2024. La macrofauna edáfica fue recolectada según la metodología propuesta por el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales. Se evaluó riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la macrofauna del suelo, en el análisis de los datos se usaron pruebas paramétricas y no paramétricas. Los mayores valores de riqueza, densidad y biomasa de macrofauna se obtuvieron en T₃, T₄ y T₅ donde se aplicó lombricomposta y los menores valores se dieron en T₂ donde se aplicó fertilizante sintético. Cyndinae, Glossoscolecidae, Tenebrionidae y Scolopendridae fueron familias taxonómicas de la macrofauna dominante en densidad y biomasa. La riqueza taxonómica, valorada a nivel de familias identificadas son: Cyndinae, Glossoscolecidae, Subulinidae, Melolonthidae, Scutigerellidae, Tenebrionidae, Trigoniulidae, Scolopendridae, Helicinidae, Smemmiulidae y Geophilidae. Se estimaron los parámetros ecológicos de dominancia (D_i), y los índices de Riqueza de Margalef (D_{Mg}), Shannon-Wiener (H'), Simpson (λ_{Simp}). Los tratamientos con lombricomposta en árboles de limón persa presentaron mayor contenido de individuos que los de fertilizantes sintéticos. El tratamiento T₃ presentó diferencia estadística significativa con respecto al tratamiento químico T₂. Los árboles abonados con lombricomposta tienen la tendencia de incrementar la riqueza y dominancia de los organismos del suelo, e incrementar el número de individuos y la biomasa en el área de las raíces.

Palabras clave: citricultura, bioindicadores, abono orgánico, organismos, suelo

⁴⁰⁹ Instituto Tecnológico de Boca del Río. Beatriz Adriana Santiago Domínguez *Autor de correspondencia: estrella-bellatrix@hotmail.com

⁴¹⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias/Campo Experimental Ixtacuaco.

Introducción

El limón persa (*Citrus Latifolia* Tanaka) también, lo podemos encontrar como limón Tahití, limón pérsico o limón sin semilla, se ha convertido en un cultivo representativo de México, donde sus óptimos contenidos de ácidos, su falta de semilla y su mayor volumen comparado con el limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) han favorecido su demanda en el mercado nacional y mundial. La producción invernal tiene los mejores precios en México, pero se puede encontrar la menor carga de frutos en el árbol (Almaguer *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2011; Arias y Suárez, 2016; SIAP, 2017, López *et al.*, 2020). A pesar de la importancia económica del cultivo del limón en México, la información sobre su fertilización es limitada y aún más en suelos con presencia de CaCO_3 , donde se afecta la disponibilidad de N, P, K Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. El suelo es un recurso natural fundamental con influencia sobre el ambiente y la economía local, regional y mundial; de él dependen, en gran medida, la supervivencia y el bienestar de la población actual y de las generaciones futuras. Conservar sus propiedades es una prioridad en los sistemas del medio ambiente. La nutrición tiene relevancia ya que es un factor controlable e influye en la calidad y el rendimiento de los cultivos. Los estudios de fertilización en *Citrus latifolia* Tanaka, reportan el efecto de esta práctica en el rendimiento y la calidad de fruta (Aburto-González *et al.*, 2012).

Los biofertilizantes son medidas amigables con el ambiente y una forma sostenible dentro de la seguridad alimentaria. Actualmente, la fertilidad de los suelos está en juego por el uso de agroquímicos, los cuales causan esterilización, erosión y pérdida de la fauna asociada al recurso edáfico. Sin embargo, nuevas formas de subsanar dichos daños están surgiendo en la actualidad, por ejemplo, el uso e implementación de biofertilizantes que garantizan cierto equilibrio del recurso suelo y evitan daños sistémicos, así como disminuyen el compromiso de la seguridad alimentaria (Ocaña, 2021; Ayala y Castro, 2018). En la agricultura orgánica existen diversas fuentes de abonos orgánicos, como fermentados, harina de roca, bocashi, estiércol, abonos verdes, compostas, lombricompostas, lixiviados, entre otros. Estos productos mejoran la estructura del suelo, retienen humedad, aportan nutrientes y son fuente de carbono para los microorganismos del suelo (Félix-Herrán *et al.*, 2008). Tradicionalmente se emplean fertilizantes sintéticos, pero existen alternativas que mejoran las características físicas y químicas del suelo (Lehmann *et al.*, 1999). Patel *et al.* (2012), al estudiar el efecto de estiércol

y fertilizantes sintéticos en *Citrus aurantifolia* 'Kagzi' determinaron que las aplicaciones al suelo con N-P-K 900-750-500 g/árbol respectivamente + 50 kg de estiércol por árbol registraron un rendimiento por hectárea de 7,110 kg/ha. Este fue menor a 3,915 kg/ha con aplicaciones de N-P-K 400-200-300 g/árbol + 50 kg de estiércol por árbol.

La macrofauna del suelo es responsable de una serie de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos únicos, que incluye la descomposición de la materia orgánica, el secuestro del carbono orgánico, el ciclo de nutrientes, el mantenimiento de la estructura del suelo y la infiltración del agua en el suelo (Ruiz, *et al.*, 2008; Gholami *et al.*, 2016). Por la importancia de estas funciones vitales para los ecosistemas, la macrofauna del suelo ha recibido mucha atención en medio de un contexto de cambio global (Coyle *et al.*, 2017). A nivel global, el cambio climático se ha convertido en un tema principal para estudiar la ecología del suelo, dado que se ha demostrado que las funciones proporcionadas por la macrofauna del suelo dependen del clima. En particular, la temperatura desempeña un papel muy importante a lo largo del gradiente altitudinal y afecta la dinámica de la macrofauna del suelo.

Los macroinvertebrados edáficos viven y se alimentan en el suelo, facilitando los procesos de descomposición, humificación y mineralización de la materia orgánica; también son parte importante para la descompactación del suelo (Blanchart *et al.*, 1999), pues contribuyen a mejorar su infiltración, estructura y porosidad, e incorporan la materia orgánica y reducen las pérdidas de nitrógeno (Nichols *et al.*, 2008). Además, contribuyen en la desintegración de la hojarasca e influyen en la aireación del suelo (de Bruyn, 1999). Por su importancia funcional y alta diversificación, la macrofauna edáfica puede ser utilizada como indicador de las condiciones del suelo (Pelosi *et al.*, 2014). Una revisión reciente sobre las causas de la disminución de los insectos indica que después de la conversión del hábitat para nuevos usos del suelo, el daño del uso de fertilizantes sintéticos es la segunda amenaza para la persistencia de entomofauna (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). Una opción para la evaluación de los suelos restaurados es el desarrollo de protocolos basados en la calidad biológica del suelo a partir de bioindicadores, para lograrlo es necesario conocer la relación que existe entre la cantidad, composición y grado de afectación sobre los organismos vivos (Al-Mutairi *et al.*, 2008).

El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de la lombricomposta y la fertilización mineral en las poblaciones de macrofauna de árboles de limón persa, en una parcela del municipio de

Cotaxtla, Veracruz (zona centro del estado) México. Los resultados permitirán promover el uso de lombricomposta en la elaboración de abonos orgánicos para reducir el uso de los fertilizantes químicos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en una zona productiva de limón persa, en los terrenos del señor Roberto Matías Martínez Lucas, en el ejido Mata Tambor, ubicado en las coordenadas 18°50'03" N 96°23'50" O , a una altura de 50 msnm, en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, México (zona centro costera del estado, en la región llamada Sotavento.). El clima de esta región se clasifica como Aw por el sistema Köpper-Geiger, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26°C, y un rango de precipitación entre 1100 y 1300 mm. El suelo que predomina es de origen aluvial.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se evaluó el cultivo de limón persa (*Citrus Latifolia* Tanaka) de cuatro años de edad. Los puntos de muestreo fueron el área de copa del árbol a favor de la pendiente del terreno, en condiciones de cielo abierto. Se realizaron dos aplicaciones de lombricomposta en los meses de agosto y octubre; la primera fertilización se aplicó el 03 de agosto de 2023, en forma de medialuna del lado oeste entre las hileras de los árboles de limón, la segunda se llevó a cabo el 10 de octubre de 2023, en forma de medialuna del lado oeste (lado contrario de la primera aplicación).

Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos de fertilización en árboles de limón persa, además del testigo, sin fertilizar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización en árboles de cuatro años de edad/árboles en producción.

Tratamiento	Fuente	Dosis de fertilización*
1	0	0
2	Nitromax (Productor)	500 g/árbol
3	Lombricomposta	4 kg/árbol
4	Lombricomposta	6 kg/árbol
5	Lombricomposta	8 kg/árbol

*se realizaron dos dosis de fertilización en seis meses.

Muestreos

Se realizaron cinco muestreos de la fauna edáfica, uno por mes (03 de agosto, 14 de septiembre, 10 de octubre y 16 noviembre de 2023 y uno más, el 16 enero de 2024). Se seleccionaron los árboles con los mismos factores de inclinación de suelo, sombra y crecimiento.

Unidad experimental y diseño estadístico

Se evaluaron cinco tratamientos de nutrición con cuatro repeticiones dando un total de 20 unidades experimentales, mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglos de tratamientos, el cual se realizó en PAST y Statistica versión 7.0 mediante análisis de varianza por una vía para evaluar la significancia estadística ($P \leq 0.05$).

Variables evaluadas

La colecta de la macrofauna edáfica se realizó utilizando el método del monolito, propuesto por el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF); la macrofauna recolectada se depositó en frascos con alcohol al 70% para su conservación y posterior identificación a nivel familia, género y especie (Decaëns *et al.*, 1994). Para la toma de muestras de suelo, se colocó un monolito de 25 x 25 cm a una profundidad de 30 cm, de donde se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg de peso sin la hojarasca. El monolito se desmoronó manualmente y se colectaron todos los organismos pertenecientes a la macrofauna, los cuales se colocaron en alcohol al 70% en frascos sellados y debidamente etiquetados. Las muestras de

macrofauna se procesaron en el laboratorio de Lira del Instituto Tecnológico de Boca del Río (Tecnológico Nacional de México) y se identificaron a nivel de familia, género y especie mediante las claves de Tripehorn y Johnson. Posteriormente, se contó y pesó el total de organismos para determinar la densidad (número de organismos/m²) y biomasa de macrofauna (g/m²). El pesado se realizó en balanza analítica con precisión de 0.01 g. Los datos se concentraron en Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corp.). Así mismo, se calculó la abundancia de los organismos con el número de individuos presentes por muestra en familias, géneros y especies. Se realizaron los cálculos para los índices de riqueza de especies tales como el índice de Margalef, el índice de Shannon-Wiener y el índice de Simpson, además de obtener la dominancia (Samo *et al.*, 2008; Jiménez-Pérez, *et al.*, 2009). Se utilizó un análisis de efectos para la relación entre las variables individuales (abundancia, riqueza y diversidad) y dosis de fertilización con lombricoposta y fertilizantes sintéticos; biomasa y fertilización con lombricoposta y fertilizantes sintéticos.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los valores de riqueza inicial, el índice $D_{Mg}=0.7976$ para T5, la diversidad α con el índice $H'=1.298$ y 0.7085 para el índice Simpson y Dominancia= 0.5796 . El resultado para el índice Simpson revela que se tiene una macrofauna con una diversidad baja ya que estos valores se encuentran contemplados de 0 a 1 en donde entre más cercano al 1 la diversidad será mayor. Por lo tanto, T5 es mejor con respecto al testigo productor T2. El índice H' nos indica que existe una baja diversidad en la macrofauna, pero con respecto a T5 es preferible en relación con T2. Para índice D_{Mg} T5 muestra mejor resultado con relación al testigo absoluto, la Dominancia se muestra favorable para T1.

El Cuadro 2, muestra un aumento de la diversidad α de la macrofauna en el índice de Simpson, con respecto a T2 y T5 alcanzando los mayores valores con respecto al testigo (T1). Aun así, T5 tiene el valor de alta diversidad con la efectividad de la aplicación de lombricomposta, por consiguiente, la lombricomposta puede suplir como abono en los árboles de limón persa.

Cuadro 2. Índices de diversidad inicial de los organismos de suelo abonado con lombricomposta en árboles de limón persa.

Inicial Tratamiento	Organismo g/m ² (03 agosto 2023)			
	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.5796	0.8099	0.4204	0.6827
T2	0.3438	1.082	0.6563	0.5422
T3	0.3647	1.048	0.6353	0.5386
T4	0.3724	1.033	0.6276	0.5224
T5	0.2915	1.298	0.7085	0.7976

El área evaluada mostró los siguientes valores de riqueza total (Cuadro 3) para el índice de $D_{Mg}=0.8736$ para T3, la diversidad α con el índice $H'=1.375$ y 0.7451 para el índice de Simpson y Dominancia=1. El resultado para el índice de Simpson revela que se tiene una macrofauna con una diversidad alta ya que estos valores se encuentran contemplados de 0 a 1 en donde entre más cercano al 1 la diversidad será mayor. Por lo tanto, T3, T4 y T5 son mejores con respecto al testigo productor T2. El índice H' nos indica que existe una baja diversidad en la macrofauna, pero con respecto T3, T4 y T5 son preferible en relación con T2. Para índice D_{Mg} el T3 muestra mejor resultado con relación al testigo absoluto. La Dominancia se muestra favorable para T2.

Cuadro 3. Índices de diversidad total de los organismos de suelo abonado con lombricomposta en árboles de limón persa.

Total Tratamiento	Organismo g/m ² (03 agosto 2023)			
	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.4825	0.886	0.5175	0.5254
T2	1	0	0	0
T3	0.2549	1.375	0.7451	0.8736
T4	0.3782	1.022	0.6218	0.4969
T5	0.3782	1.022	0.6218	0.4969

En cuanto a los resultados de biomasa, con respecto a la diversidad inicial con suelo abonado con lombricomposta, el índice $D_{Mg}=2.427$ para T4, la diversidad α con el índice $H'=1.023$ y 0.6131 para el índice Simpson y Dominancia= 0.9726 .

El resultado para el índice Simpson revela que T3 es mejor con respecto al testigo productor T2. El índice H' nos indica que existe una baja diversidad en la macrofauna, pero con respecto a T3 es preferible en relación con T2. Para índice D_{Mg} el T4 muestra mejor resultado con relación al testigo productor, la Dominancia se muestra favorable para T4 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índices de diversidad inicial sobre biomasa de suelo abonado con lombricomposta en árboles de limón persa.

Inicial Tratamiento	Biomasa g/m ² (03 agosto 2023)			
	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.9489	0.1406	0.05111	1.659
T2	0.4656	0.8435	0.5344	3.66
T3	0.3869	1.023	0.6131	0
T4	0.9726	0.07327	0.02743	2.427
T5	0.8937	0.2482	0.1063	2.102

En el Cuadro 5 se muestran resultados de biomasa total con respecto a la diversidad inicial con suelo abonado con lombricomposta, para el índice $D_{Mg}=13.95$ para T5, la diversidad α con el índice $H'=1.046$ y 0.634 para el índice de Simpson y Dominancia= 0.9726 . El resultado para el índice de Simpson revela que T4 y T5 son mejores con respecto al testigo absoluto T1. El índice H' nos indica que existe una baja diversidad en la macrofauna, pero con respecto a T3, T4 y T5 es preferible en relación con T1. Para índice D_{Mg} T5 muestra mejor resultado con relación a T2 y la Dominancia se muestra favorable para T2.

Cuadro 5. Índices de diversidad sobre biomasa total del suelo abonado con lombricomposta en árboles de limón persa.

Total Tratamiento	Biomasa g/m ² (03 agosto 2023)			
	Dominancia	Shannon	Simpson	Margalef
T1	0.5304	0.6636	0.4696	0
T2	0.9726	0.07329	0.0274	1.706
T3	0.6234	0.7641	0.3766	0
T4	0.366	1.046	0.634	0
T5	0.4749	0.8025	0.5251	13.95

En la Figura 1 se puede observar que el tratamiento T3 presentó diferencia estadística significativa con respecto a T2, los tratamientos de abonado con lombricomposta en árboles de limón persa presentaron mayor número de individuos que los abonados con fertilizantes sintéticos. En la Figura 2, se muestra la biomasa total de macrofauna en el suelo fertilizado con lombricomposta.

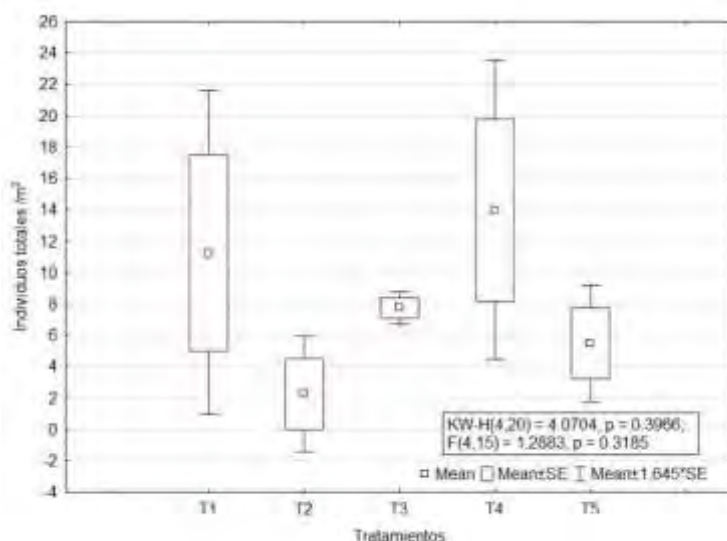


Figura 1. Individuos totales de la macrofauna edáfica en árboles de limón persa fertilizados con lombricomposta.

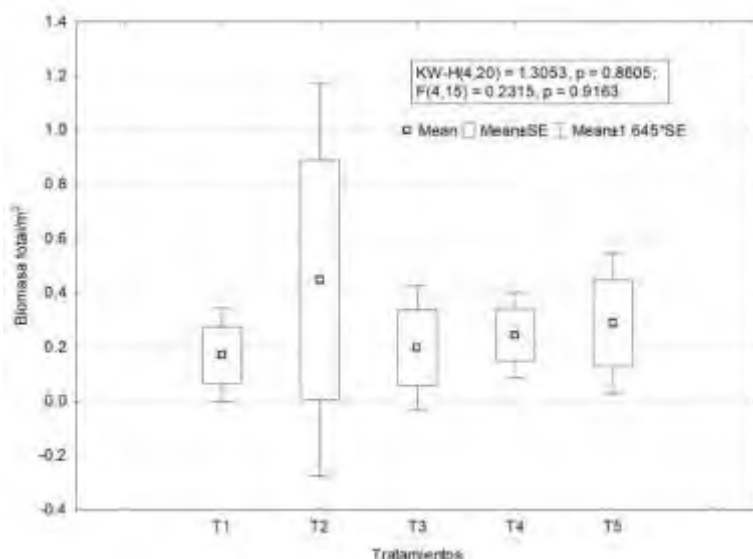


Figura 2. Biomasa total de macrofauna edáfica en árboles de limón persa fertilizados con lombricomposta.

La época de lluvias benefició la abundancia de la macrofauna en el suelo, mientras que en la temporada de seca se encontró una baja diversidad. La abundancia, riqueza y diversidad de organismos encontrados en cada una de las muestras obtenidas del suelo permitió evaluar que el uso de suelo afecta de forma significativa la macrofauna edáfica.

En otros estudios, el análisis de la dominancia de determinados grupos de la macrofauna evidenció que el orden Haplotaxida no desempeña un papel preponderante en el uso de pastizales, debido a la influencia de las lombrices de tierra, de amplia distribución y de gran talla. Tanto el mayor valor de riqueza de familias como el de exclusividad alcanzados en los bosques secundarios, evidenciaron la importancia de la variabilidad florística y de la heterogeneidad de los recursos en el suministro de las fuentes de alimento y refugio necesarias para conservar la diversidad de las comunidades edáficas (Fragoso y Lavelle, 1992). Jiménez-Pérez, *et al.* (2009) evaluaron una comunidad regenerada post agrícola del MET, donde registraron 11 familias y 19 especies leñosas.

Conclusiones

La riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna del suelo indicaron el nivel de perturbación del medio edáfico debido a la intensidad del uso de la tierra. Se encontró que los cambios en la abundancia de macrofauna del suelo en los árboles de limón persa están asociados en gran parte a la humedad o condiciones climáticas basados en las amplias diferencias. Podemos concluir que la fertilización con lombricomposta es óptima para la nutrición de los árboles de limón persa y favorece a la macrofauna edáfica.

Literatura citada

- Aburto-González, C. A., Castillo-González, A. M., Alejo-Santiago, G., López-Bueno, B. A., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G., *et al.* 2021. Nutrición de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) mediante el enfoque del método racional. *Inter ciencia*, 46(1): 37-42.
- Almaguer, V. G., Espinoza, E. J. R. y Quirós, G. J. L. 2011. Desfasamiento de cosecha de limón persa. *Revista Chapingo, serie hortícola*, 17(3): 197-205.
- Al-Mutairi, N., Bufarsan, A. y Al-Rukaibi, F. 2008. Evaluación de eco riesgo y potencial de tratabilidad de suelos contaminados con combustibles a base de hidrocarburos de petróleo. *Quimiosfera*, 74(1), 142-148.
- Arias, F. y Suárez, E. 2016. Comportamiento de las exportaciones de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) al mercado de los Estados Unidos. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 5(2): 22-33.
- Ayala, L. M., y Castro, J. C. 2018. Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. p.415-419. *In: Anales Científicos* 79 (2). Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Alegre, J.; Duboisset, A.; Gilot, C.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. y Brussaard, L. 1999. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. p. 149-172. In: P. Lavelle L., P. Brussaard, and F. Hendrix (eds). *Earthworms Management in Tropical Agro-Ecosystems*. CAB International. Wallingford, United Kindom.
- Coyle, DR, Nagendra, UJ, Taylor, MK, Campbell, JH, Cunard, CE, Joslin, AH, y Callaham Jr, MA. 2017. Respuestas de la fauna del suelo a las perturbaciones naturales, las especies invasoras y el cambio climático global: estado actual de la ciencia y un llamado a la acción. *Biología y Bioquímica del suelo*, 110:116-133.
- De Bruyn, LL. 1999. Las hormigas como bioindicadores del funcionamiento del suelo en ambientes rurales. En *La biodiversidad de invertebrados como bioindicadores de paisajes sostenibles* 425-441.
- Decaëns, T., Lavelle, PM, Jiménez Jaén, JJ, Escobar, G. y Rippstein, G. 1994. Impacto del manejo del suelo en la macrofauna del suelo en los Llanos Orientales de Colombia.
- Félix-Herrán JA, Sañudo-Torres RR, Rojo-Martínez GE, Martínez-Ruiz R. y Olalde-Portugal V. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai* 4(1): 57-67.
- Fragoso, C. y Lavelle, P. 1992. Earthworms communities of tropical rain forest. *Soil Biol. Biochem.* 24 (12):1397
- Gholami, S., Sayad, E., Gebbers, R., Schirrmann, M., Joschko, M., y Timmer, J. 2016. Spatial analysis of riparian forest soil macrofauna and its relation to abiotic soil properties. *Pedobiologia*, 59(1-2): 27-36.
- Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó., Pando-Moreno, M., y González-Tagle, M. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y bosques*, 15(3): 5-20.

- Lehmann J, da Silva JP, Trujillo L y Uguen K. 1999. Legume cover crops and nutrient cycling in tropical fruit tree production. *Acta Horticulturae* 531: 65-72. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.531.8>
- López, H. W. A., Garza, B. L. E., Cruz, G. B. y Nieto, A. R. 2020. Competitividad del limón persa en la región del Papaloapan, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10 (4): 921-934.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S. y Favila. M.E. 2008. Ecological functions and ecosystems services provided by scarabaeinae dung beetles. *Biological conservation*. 141: 1461-1474.
- Ocaña, A. B. 2021. Tecnologías y capacidades endógenas como elementos de desarrollo para el campo mexicano: el papel de los biofertilizantes en los sistemas agroalimentarios localizados (SIAL). *Economía teoría y práctica*, (55): 59-86.
- Patel KM, Patel HC, Patel KA, Chauhan V.B. y Patel JS. 2012. Effect of manures and fertilizers on growth and fruit yield of acid lime cv. Kagzi (*Citrus aurentifolia* Swingle). *The Asian Journal of Horticulture* 7(2): 481-483.
- Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M. y Vandenbulcke, F. 2014. Pesticidas y lombrices de tierra. Una revisión. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*, 34: 199-228.
- Ruiz, N., Lavelle, P. y Jiménez, J. 2008. Effect of land-use and management practices on soil macrofauna. *Soil Macrofauna Field Manual—Technical Level*; *FAO: Rome, Italy*, 29-36.
- Samo, A., Garmendia, A. y Delgado, J. 2008. Introducción práctica a la ecología. España: Pearson Educación SIA. 190-192.

- Sánchez, T. Y., Matus, G. J. A., García, S. J. A. y Martínez, D. M. A. 2011. Estimación de la demanda de importaciones de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Estados Unidos procedentes de México (1994-2008). Tropical and subtropical agroecosystems, 14(3): 819-827.
- Sánchez-Bayo, F., y Wyckhuys, K. A. 2019. Response to" Global insect decline: Comments on Sánchez-Bayo and Wyckhuys (2019)". Biological Conservation 233: 334-335.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Limón: casi 2.44 millones de toneladas en 2016. http://infosiap.siap.gob.mx:8080-agricola_siap_gob_mx_ResumenProducto.do

ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS, UTILIZADOS COMO LABORATORIOS SOCIALES

Yennis Ramos Pérez^{411*} y José Luis Marín Muñiz⁴¹¹

Resumen

Los humedales construidos son sistemas ecológicos para limpiar las aguas residuales, son celdas rellenas de un medio granular donde crece vegetación que en conjunto limpian las aguas residuales, éstos se convierten en ecosistemas bio-ingenieriles que depuran el agua, pero que, también proveen biodiversidad de flora y fauna y paisajes idóneos de recreación, por lo cual son sitios que se pueden aprovechar como laboratorios sociales, pero poco se sabe sobre dicho uso. Por lo cual, la presente investigación tuvo como objetivo analizar la información existente al respecto, mediante una revisión documental sobre la utilización de los humedales construidos, como laboratorios sociales. Se realizó una búsqueda mediante el Google académico y se utilizaron palabras claves que delimitaron los alcances de la exploración según los intereses de dicha investigación. Los documentos y casos de estudios analizados mostraron que existe poca evidencia de acciones educativas que involucren a las comunidades en procesos educativos con humedales construidos, dado que en muchos casos existe un desconocimiento y una resistencia por parte de las comunidades para vincularse a estos proyectos comunitarios. La importancia de usar a los humedales construidos como laboratorios sociales radica en que aparte de aprender cómo funcionan para limpiar el agua, en ellos se puede aprender cómo se hace un monitoreo de agua y cómo ésta se analiza, así como detectar la vegetación característica de estos ambientes y la fauna que aprovecha dichos ecosistemas (libélulas, mariposas, lagartijas, colibrís, etc.). Se considera de gran importancia que se estreche el vínculo de los centros educativos con los ecosistemas aledaños debido a la influencia positiva que tienen los estudiantes en las localidades y de igual forma es favorable diseñar e implementar estrategias de educación ambiental que favorezcan la participación de toda la comunidad mediante actividades cíclicas en los propios lugares donde existen las problemáticas ambientales. Otras actividades recomendables en estos sitios son la pintura, tomando al ecosistema bio-ingenieril como modelo, así como las sesiones fotográficas que acoplen el paisaje natural con la expresión humana.

Palabras clave: ecosistemas, experiencia vivencial, estrategias educativas, educación ambiental, ecotecnologías

⁴¹¹ El Colegio de Veracruz, Xalapa – Veracruz. *Autor de correspondencia: yennisir094@gmail.com

Introducción

Los humedales naturales son definidos como ecosistemas de transición entre los ambientes acuáticos y terrestres, que se caracterizan por tener suelo inundado total o parcialmente la mayor parte del tiempo y que mantienen comunidades de vegetación adaptada a la inundación o saturación de agua en sus raíces (Lewis, 1995; Mitsch y Gosselink, 2015). Tales ecosistemas gozan de un rol protagónico en el planeta para la supervivencia de las especies vivas y de él mismo, pues estos sitios brindan múltiples servicios ambientales, que son aquellos bienes o servicios, parte de los procesos naturales que surgen del entorno de un ecosistema, y que satisfacen de manera directa o indirectamente muchas de las necesidades del ser humano (Mitsch y Gosselink, 2015). La situación desfavorable en la que se encuentran estos sitios en la actualidad es responsabilidad en gran medida de la relación hombre-naturaleza y la carencia de conciencia, sensibilidad y conocimiento de los seres humanos sobre la importancia de estos ecosistemas, lo cual ha conllevado a las transformaciones y hasta desaparición de estos sitios. En este sentido, el ser humano ha desarrollado la iniciativa de reproducir artificialmente los procesos que de forma natural ofrece el medio ambiente, como solución para amortiguar los impactos socio-ecológicos negativos (Ortiz *et al.*, 2015), y son precisamente los humedales construidos, los cuales, se han convertido en una alternativa eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de las comunidades donde se ha implementado este tipo de ecotecnología, y que además de limpiar el agua proveen otros beneficios o servicios ambientales, al ser espacios de rica biodiversidad de flora y fauna, así como de procesos físicos, químicos y biológicos que permiten depurar el agua y crear ecosistemas y paisajes naturales (Marín-Muñiz, 2017). Para ello las intervenciones educativas en las comunidades rurales sobre las problemáticas ambientales y los posibles riesgos que pueden sufrir sus pobladores, son las acciones que despiertan y construyen el conocimiento respecto al tema. Sin embargo se considera de gran importancia desarrollar actividades de educación ambiental basadas en la experiencia vivida y permeada de protagonismo local, lo cual permitirá el aprendizaje mientras desarrollan actividades de manera vivencial (Baena, 2019) en los propios humedales construidos, es decir, utilizados como laboratorios sociales (Ruiz *et al.*, 2015) para enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje en cada etapa diseñada y mediante la interacción directa del hombre y la naturaleza.

Aunque la importancia de los humedales construidos se ha detallado, poca ha sido la interacción que se ha hecho entre estos ambientes y la sociedad por el desconocimiento de los mismos, por ello este estudio se propuso como objetivo, indagar el uso de los humedales construidos como laboratorios sociales y la importancia de generar estrategias educativas en éstos.

Materiales y métodos

La metodología se basó en la técnica de observación complementaria como es la investigación documental, y derivado de ésta se realizó un análisis documental (Casasempere-Satorres *et al.*, 2020). Para este estudio se comenzó con la selección del buscador y en este caso se utilizó el buscador Google académico. Como primer paso se realizó una selección de palabras directamente relacionadas con el tema para filtrar la búsqueda según los tópicos que se vinculaban, pero, además, para establecer los límites de interés. A partir de esto se organizaron de forma básica los estudios y materiales encontrados. Luego de compilar todos los documentos seleccionados se realizó la lectura y análisis de los textos para descubrir las evidencias sobre lo publicado acerca de la utilización de los humedales construidos utilizados como laboratorios sociales en favor de fortalecer el sentido de pertenencia de estos ecosistemas con las comunidades a través de las estrategias educativas pero basadas en sus propias experiencias. Los datos obtenidos fueron extraídos para su análisis, se utilizó como instrumentos dispositivos digitales y bases de almacenamiento.

Resultados y discusión

A partir de la revisión documental se detectó que, si bien las acciones de reconocimiento sobre la importancia del medio ambiente aumentan gradualmente, el ritmo al que están desapareciendo los ecosistemas de humedales es más veloz que las medidas para evitarlo (Hernández, 2022). Con lo obtenido a través de este estudio se comprobó además que aún existen pocos estudios en los que se involucren a todos los segmentos de población en

actividades educativas con ecosistemas propios de sus localidades y menos aún mediante actividades participativas basadas en estrategias educativas con enfoques lúdicos; tampoco procesos que de manera sistemática permitan a las personas convivir y vivir las experiencias en los propios ecosistemas. Aunado a esto Portillo-Peralta *et al.* (2022) expresan también que en muchos casos las comunidades no muestran iniciativas de cooperación inicial con los proyectos que proponen la instalación de estos ecosistemas artificiales y es precisamente por el desconocimiento de sus beneficios socioambientales.

De igual forma, los centros educativos en las comunidades no pueden verse alejados de los proyectos comunitarios, según expresa Cieza (2010). Debe existir una participación activa por parte de las instituciones escolares que vincule a los estudiantes de todas las edades con estas iniciativas para lograr la generación de conocimiento y el profundo involucramiento en estos temas. De esta forma se podrá entender la relevancia de los proyectos con impacto socioambiental desde un análisis crítico y proyecciones conservacionistas (Gimeno, 2009) con respecto al medio ambiente.

Ruiz *et al.* (2015) exponen que los humedales construidos se conciben como un aula ambiental, una gran sala de clases al aire libre donde los alumnos aprenden las dinámicas particulares de un ecosistema, se genera conciencia respecto de la contaminación y al cuidado del medio ambiente, contenidos que contribuirán a la valoración de estos espacios (Figura 1). Basado en los casos de estudio con resultados sobre el tema, se considera de gran importancia estrechar el nexo entre las poblaciones aledañas y estos ecosistemas, en especial a las escuelas, dada la capacidad que tienen los estudiantes para compartir y extender los conocimientos adquiridos de forma positiva; en ese sentido, Callejas-Restrepo *et al.* (2018) expresan que a través de actividades con alumnos de diferentes niveles educativos y en distintas comunidades, se ha logrado deconstruir y construir nuevos conocimientos al respecto.



Figura 1. Proyectos de humedales construidos en el estado de Veracruz, donde ha estado vinculada la población aledaña.

En este sentido se puede mencionar que mediante la implementación de métodos experienciales a través de actividades más vivenciales en los propios sitios de estudio se han logrado resultados satisfactorios, ya que según Schön (1998), permean más allá de la efervescencia del momento en que se realizan las intervenciones educativas y favorecen al aprendizaje permanente (“lifelong learning”). De acuerdo con lo anterior, los humedales construidos, utilizados como laboratorios sociales (Cid, 2003), se convierten en escenarios ideales para la generación de conocimiento sobre su importancia, procesos, manejo y conservación precisamente por ser áreas donde confluyen una gran diversidad de elementos y una fuerte interrelación entre el hombre y la naturaleza.

En los humedales construidos se puede aprender sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que en ellos ocurre para lograr la limpieza de agua, así como conocer las especies de fauna (colibrís, mariposas, libélulas, lagartijas, etc.) y flora (*Typha*, *Canna*, *Alpina*, *Zingiber*, *Pontederia*, *Heliconia*, etc.) que en ellos habita (Figura 2).



Figura 2. Especies de flora y fauna que podemos encontrar en los humedales.

Así mismo, aprovechar la naturaleza de los humedales para hacer actividades de pintura, dinámicas de juego, fotografía, etc.

Conclusiones

El desapego que existe entre las poblaciones con problemáticas ambientales, en especial, humedales se ha convertido en un problema creciente de carácter local, pero con efectos globales y es precisamente el desconocimiento de la importancia de estos ecosistemas, la causa por la cual desaparecen gradualmente. En este sentido, se hace necesario establecer estrategias educativas atractivas y mediante experiencias vivenciales para fomentar la educación ambiental con todos los segmentos población. El trabajo con las escuelas mediante

metodologías didácticas basadas en estrategias lúdicas, se considera una opción viable para fomentar el sentido de pertenencia y el acercamiento de los estudiantes con las problemáticas de su entorno inmediato. De manera especial, son los humedales naturales los escenarios ideales para fomentar la educación ambiental, en especial los humedales construidos, debido al necesario vínculo con la comunidad que se requiere exista entre ambos. Los humedales construidos, utilizados como laboratorios sociales pueden favorecer el acercamiento de las localidades aledañas a estos ecosistemas y fomentar el sentido de pertenencia y el empoderamiento de los pobladores y esta ecotecnología.

Literatura citada

- Baena, G. V. (ed.). 2019. El aprendizaje experiencial como metodología docente. Buenas prácticas. <https://www.perlego.com/book/2046424/el-aprendizaje-experiencial-como-metodologia-docente-buenas-prcticas-pdf> [consultado el 1 de octubre de 2024].
- Casasempere-Satorres, A., y M. L. Vercher-Ferrándiz. 2020. Análisis documental bibliográfico. Obteniendo el máximo rendimiento a la revisión de la literatura en investigaciones cualitativas. NTQR 4:247-257.
- Callejas-Restrepo, M. M., O. Sáenz-Zapata, Á. M. Plata-Rangel, M. T. Holguín-Aguirre y W. M. Mora-Penagos. 2018. El compromiso ambiental de instituciones de educación superior en Colombia. Praxis & Saber 9(21):197-220.
- Cid, Ó. 2003. Zonas húmedas, espacios educativos. Primera parte: de la educación ambiental en los humedales a la educación ambiental para el uso racional de los humedales. CICLOS 12:5-8.
- Cieza, G. J. A. 2010. El compromiso y la participación comunitaria de los centros escolares. Un nuevo espacio-tiempo de intervención socioeducativa. PSRI 7:123-136.

- Gimeno, S. J. 2009. La educación obligatoria: su sentido educativo y social. Ediciones Morata, S. L. Madrid, España. 128 p.
- Hernández, M. E. 2022. Diagnóstico socio-hidrológico de tres humedales urbanos de Xalapa, Ver., México. Amb. Techn. Sci. Mex. 2(10):189-205.
- Lewis, W. 1995. Wetlands: Characteristics and boundaries. National Academies Press. Washington, DC, USA. 328 p.
- Marín-Muñiz, J. L. 2017. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reuso del agua. Agro Productividad 10(5):90-95.
- Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink. 2015. Wetlands. 5th ed. John Wiley & Sons Inc. Nueva York, USA. Hoboken, NJ, USA. 736 p.
- Ortiz, M. J. A., S. L. Malagón G. y O. R. Masera C. 2015. Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el Sur global. Inter Disciplina 3(7):193-215.
- Portillo-Peralta, J. I., J. L. Marín-Muñiz, M. C. Celis P. y S. A. Zamora-Castro. 2022. Diagnóstico sobre el funcionamiento y la apropiación social de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en Pastorías, Actopan, Veracruz, México. J. Basic Sci. 8(23):162-169.
- Ruiz, S., M. Vázquez, P. Díez y J. A. Manolucos. 2015. Experiencia didáctica en un humedal de la ciudad de Río Gallegos como laboratorio social. Cardinalis 3(4):215-229.
- Schön, D. A. 1998. El profesional reflexivo. Como piensan los profesionales cuando actúan. Temas de Educación. Paidós. Barcelona, España. 319 p.

MORFOMETRÍA DE VAINA Y SEMILLA DE UN RODAL SEMILLERO DE *Cajanus cajan*

Manuel Villarruel Fuentes⁴¹², Ignacio Garay Peralta^{412*}, Rómulo Chávez Morales⁴¹²
y Roberto Eder Pimienta Díaz⁴¹³

Resumen

La constante erosión genética presente en las regiones tropicales amenaza la supervivencia de distintas especies nativas, muchas de ellas de interés agroecológico, tal como el *Cajanus cajan*. Dicha condición abre la posibilidad de generar estrategias para la conservación y aprovechamiento de estas especies, evaluando su respuesta biológica bajo condiciones edafoclimáticas específicas. Con este objetivo se realizó un estudio exploratorio dentro de un rodal semillero de *C. cajan*, localizado en un clima Aw₂, el cual consideró la evaluación morfométrica de 300 vainas secas y semillas. Las variables incluyeron longitud de vaina, diámetro de vaina, peso de vaina con semilla, peso de vaina sin semilla, número de semillas por vaina, peso de las semillas por vaina, peso individual de semilla por vaina. Los resultados mostraron un adecuado desarrollo y producción de vaina y semillas en el rodal, acorde con lo reportado por la literatura, así como una correlación que muestra cómo el peso de la vaina con semilla explica en un 45.96% el peso promedio individual de la semilla, así como que el número de semillas por vaina explica en un 72.42% el peso de las semillas por vaina, ambas asociaciones importantes al momento de seleccionar vainas y semillas para el establecimiento de rodales de *C. cajan*. Se concluye en la factibilidad de rescatar ecotipos regionales de *C. cajan* con fines agroproductivos.

Palabras clave: frijol de árbol, agroecosistema, ecotipo, conservación, trópico

Introducción

La diversidad biológica que todavía existe en las regiones tropicales representa un potencial que debe ser aprovechado, antes de que la erosión genética merme por completo su presencia dentro de selvas, bosques y acahuales. Muñoz (2015) lo señala con puntualidad cuando indica

⁴¹² Profesor-Investigador del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Carretera Cardel-Chachalacas km 4.5. Colonia campestre en Úrsulo Galván, Veracruz, México. Autor por correspondencia: dr.villarruel.fuentes@gmail.com

⁴¹³ Estudiante del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Carretera Cardel-Chachalacas km 4.5. Colonia campestre en Úrsulo Galván, Veracruz, México.

que la erosión genética de las variedades locales se ve agravada por la desaparición de especies y formas silvestres de las plantas cultivadas, derivado de los procesos de deforestación masiva o la degradación y contaminación de los hábitats naturales, que no son sino el resultado de la explotación abusiva de los recursos del planeta. Al respecto, existen especies que al ser domesticadas han podido sobrevivir y adaptarse a las nuevas condiciones edafoclimáticas presentes en cada zona o región, ya sea a través de plantaciones artificiales o superviviendo en condiciones naturales. Estas últimas han mostrado un alto índice de rusticidad, resistiendo entornos agrestes, bajo condiciones de estrés hídrico y calórico, así como adaptándose a la competencia con la flora local. Una de estas especies es el *Cajanus cajan* (guandú, frijol de palo, guisante de paloma, gandul o quinchoncho), árbol multipropósito que de acuerdo con la FAO es una leguminosa que posee un alto valor nutritivo, y que se cultiva en países de Asia, África, Islas del caribe y el sur de América. Se cultiva de manera intensiva y en forma asociada con otros cultivos —policultivos— en pequeñas superficies, comercializándose los granos secos todo el año. Constituyen una rica fuente de proteínas, almidones, fibra y fitonutrientes, útiles para satisfacer las demandas nutrimentales de las personas. Pueden usarse las semillas enteras, descortezadas o en harina, también como forraje y abono verde en la agricultura y ganadería; su potencial se debe a que es un cultivo económico y de alto valor proteico (Navarro *et al.*, 2014).

C. cajan pertenece al Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Fabales, Familia Fabaceae, Género *Cajanus* y Especie *Cajanus cajan* (Robledo, 2010). El problema principal del *C. cajan* para su desarrollo en campo lo representa la existencia de muchas líneas y accesiones, las cuales son en su mayoría de floración indeterminada o semideterminada, con un subsistema de reproducción de 60% autógamo y una probabilidad de cruce por medios naturales de 40% (Young *et al.*, 2003; Cannon *et al.*, 2009). Esta situación condiciona la expresión biológica de las especies de *Cajanus*, mostrándose diferentes en cuanto a sus características fenológicas y productivas, lo que en términos agrícolas exige una constante evaluación de los materiales presentes en cada zona y condición edafoclimática, sobre todo de los ecotipos localizados dentro de los estratos arbóreos y acahuales que ahí subsisten. Con base en ello, se realizó una evaluación morfométrica de vainas y semillas de *C. cajan*, cosechadas dentro de un rodal semillero, establecido en condiciones de sitio, en un suelo marginal. Esta plantación es derivada de la colecta de semilla de un ecotipo regional.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica y clima

El estudio se realizó en el Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., México, dentro del área denominada “Unidad Productora de Germoplasma Forestal”, la cual se define como un área establecida con rodales, plantaciones o viveros, “con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo y/o fenotipo que posee bien identificada su procedencia, usada para la producción de frutos, semillas o material vegetativo” (CONAFOR, 2015). Esta área se localiza a 19° 24' 42.8" N y 96° 21' 28.0" W, a 8 m de altitud, tiene una precipitación media anual de 1,017.7 mm y una temperatura media anual de 25.8°C, con un clima Aw₂.

Características del rodal semillero

El arreglo topológico incluyó 28 plantas sembradas en tres líneas, a una distancia de 1 m entre planta y planta y de 1.5 m entre líneas, con una densidad de siembra de 6,667 plantas/ha. El suelo se identificó como arcillo-arenoso, con 1.4% de materia orgánica y un pH de 7.0.

Colecta de vainas y semillas

Se realizaron tres colectas de vainas: una al inicio de la producción (12 meses posteriores a la siembra en sitio), y dos más con intervalos de 20 días. En total se cosecharon 1,300 vainas con semilla (Figura 1).



Figura 1. Colecta de vainas de *C. cajan* en rodal semillero establecido en la Unidad Productora de Germoplasma Vegetal del TecNM/ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Población y tipo de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio simple dentro del rodal, cosechándose las vainas directamente del árbol. Del total cosechado se seleccionaron al azar 300 vainas ($\alpha = 0.05$), asegurándose que estuvieran sanas y secas. La extracción de la semilla se realizó manualmente (Figura 2).



Figura 2. Vainas de *C. cajan* colectadas en rodal semillero establecido en la Unidad Productora de Germoplasma Vegetal del TecNM/ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Variables medidas

Longitud de vaina (mm). Se estimó a partir de la distancia entre la inserción del pedículo (base) al ápice. Se empleó para ello un calibrador vernier manual marca Heayzoki®. Diámetro de vaina (mm). Se midió el diámetro ecuatorial de la vaina, mediante un calibrador vernier marca Heayzoki®. Peso de vaina con semilla (g). Se pesó cada una de las vainas con semilla, empleando una balanza granataria Premium Junior, Marca Ohaus®. Peso de vaina sin semilla (g). Se extrajo la semilla de la vaina y se pesó cada una de ellas con una balanza granataria Premium Junior, Marca Ohaus®. Peso de semillas por vaina (g). Se calculó el peso de la semilla de cada vaina, mediante la diferencia entre el peso de la vaina con y sin semilla. Número de semillas por vaina. Se contó manualmente el número de semillas presentes en

cada vaina. Peso promedio individual de semilla por vaina. Se calculó el peso promedio de la semilla de cada vaina dividiendo el peso total de la semilla entre el número de éstas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron a través de software SPSS, versión 20.0, determinando medidas de tendencia central, dispersión y correlación lineal simple.

Resultados y discusión

Las medidas de tendencia central (Cuadro 1) mostraron una longitud de vaina consistente en todo el periodo de cosecha, con un coeficiente de variación (CV) de 9.96%. Dicho comportamiento biológico se confirma al observar que la variabilidad para el diámetro de vaina se expresó en términos aceptables (CV = 20.75%). La homogeneidad en el desarrollo de la vaina a lo largo de la etapa productiva es indicativa de una estabilidad en términos de su respuesta a las condiciones edafoclimáticas en las que se encontraron las plantas.

Cuadro 1. Medidas de tendencia central y dispersión encontrados en vainas y semillas provenientes de un rodal semillero de *C. cajan*.

		Longitud de vaina	Diámetro de vaina	Peso de vaina con semilla	Peso de vaina sin semilla	Peso de semillas por vaina	Número de semilla por vaina	Peso promedio individual de semilla por vaina
N	Valores	300	300	300	300	300	300	300
	Missing	0	0	0	0	0	0	0
Media		59.8966	6.9007	1.0856	.3682	.6758	3.9567	.1724
Mediana		60.0150	7.3000	1.0624	.3692	.7042	4.0000	.1757
Moda		58.10 ^a	7.30	.94	.40	.64 ^a	4.00	.18
Desviación estándar		5.96826	1.43207	.73729	.07274	.18853	.96153	.03398
Varianza		35.620	2.051	.544	.005	.036	.925	.001

		Longitud de vaina	Diámetro de vaina	Peso de vaina con semilla	Peso de vaina sin semilla	Peso de semillas por vaina	Número de semilla por vaina	Peso promedio individual de semilla por vaina
Rango		41.98	8.60	13.00	.38	1.37	5.00	.60
	25	56.0450	6.4000	.8913	.3176	.5546	3.0000	.1636
Percentiles	50	60.0150	7.3000	1.0624	.3692	.7042	4.0000	.1757
	75	64.0275	7.8000	1.2062	.4222	.7905	5.0000	.1830

a. Múltiples modas existentes. Se muestra el valor más pequeño.

En estrecha relación con el desarrollo de la vaina se encuentra su peso con y sin semilla, la cual manifestó una alta variabilidad (CV = 67.91%) en presencia de las semillas, atribuible en primera instancia al peso individual de éstas, ya que las medidas de tendencia central para el número de semillas por vaina mantuvieron consistencia para media (3.956), mediana (4.0) y moda (4.0) (CV = 24.30%), inferencia que se respalda al observar una menor variación (CV = 19.75%) para el peso de las vainas sin semilla. Para esta última variable el peso promedio encontrado (0.368 g) fue superior al 0.3 g encontrado por Mendoza-Pedroza *et al.* (2023).

Al respecto, el peso promedio de las vainas con semilla encontrado en este estudio ($\bar{X} = 1.08$ g) fue superior a lo reportado por Mendoza-Pedroza *et al.* (2023), quienes encontraron promedios de 0.6 g, con un número promedio de semillas por vaina de 3.8, similar al encontrado en este estudio (3.9). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sarmiento *et al.* (2021) quienes evaluaron diversos genotipos de *C. cajan* encontrando promedios inferiores a 4.10 cm, mientras que Higuera *et al.* (1999) indicaron la presencia de entre tres y cinco semillas por vaina.

Finalmente, el peso de las semillas por vaina evidenció una variación importante (CV = 27.89%), condición que debe considerarse al momento de seleccionar semilla para la siembra de *C. cajan*, ya que en este estudio la semilla representó el 34.09% del peso total de la vaina, inferior al 59% encontrado por Mendoza-Pedroza *et al.* (2023). Al respecto, la variabilidad expresada tanto en el peso como el número de semillas por vaina puede deberse a un flujo limitado de nutrientes de la planta madre hacia el grano (Ambika *et al.*, 2014), lo que se explicaría a partir de las condiciones propias del suelo donde se cultivó *C. cajan*. La variabilidad

mostrada en el presente estudio se atribuye a la expresión genética de las variedades o ecotipos, ya que el tamaño, longitud y color de las vainas varía de acuerdo con ello (Higuera *et al.*, 1999).

Respecto a las asociaciones entre variables (Cuadro 2), se observa que éstas, aunque fueron significativas y altamente significativas ($\alpha = 0.01$ y 0.05), sólo en algunos casos sobrepasaron el 60% de correlación, relevantes para Longitud de vaina y Peso de vaina sin semilla ($r = 0.660^{**}$), Peso de vaina con semilla y Peso promedio individual de semilla por vaina ($r = 0.678^{**}$), Peso de semillas por vaina y Peso de vaina sin semilla ($r = 0.665^{**}$) y Número de semillas por vaina ($r = 0.851^{**}$), y de Numero de semillas por vaina y Peso de vaina sin semilla ($r = 0.634^{**}$). Estos resultados permiten inferir que el peso de la vaina con semilla explica en un 45.96% el peso promedio individual de la semilla, así como que el número de semillas por vaina explica en un 72.42% el peso de las semillas por vaina, ambas asociaciones son importantes al momento de seleccionar vainas y semillas para el establecimiento de rodales de *C. cajan*.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal (r) encontrados en vainas y semillas de *C. cajan*.

	Longitud de vaina (mm)	Diámetro de vaina (mm)	Peso de vaina con semilla (g)	Peso de vaina sin semilla (g)	Peso de semillas por vaina (g)	Número de semilla por vaina	Peso promedio individual de semilla por vaina (g)
Longitud de vaina (mm)	1	.218 ^{**}	.237 ^{**}	.660 ^{**}	.528 ^{**}	.522 ^{**}	.142 [*]
		.000	.000	.000	.000	.000	.014
Diámetro de vaina (mm)	.218 ^{**}	1	.192 ^{**}	.450 ^{**}	.438 ^{**}	.411 ^{**}	.127 [*]
	.000		.001	.000	.000	.000	.028
Peso de vaina con semilla (g)	.237 ^{**}	.192 ^{**}	1	.317 ^{**}	.317 ^{**}	.339 ^{**}	.678 ^{**}
	.000	.001		.000	.000	.000	.000

	Longitud de vaina (mm)	Diámetro de vaina (mm)	Peso de vainas con semilla (g)	Peso de vainas sin semilla (g)	Peso de semillas por vaina (g)	Número de semilla por vainas	Peso promedio individual de semilla por vainas (g)
Peso de vaina sin semilla (g)	.660** .000	.450** .000	.317** .000	1	.665** .000	.634** .000	.184** .001
Peso de semillas por vaina (g)	.528** .000	.438** .000	.317** .000	.665** .000	1	.851** .000	.334** .000
Número de semilla por vaina	.522** .000	.411** .000	.339** .000	.634** .000	.851** .000	1	-.017 .772
Peso promedio individual de semilla por vaina (g)	.142* .014	.127* .028	.678** .000	.184** .001	.334** .000	-.017 .772	1

*Correlación es significativa en el nivel de 0.05 (2-colas). **Correlación es significativa en el nivel de 0.01 (2-colas).

Conclusiones

1. Se confirma la viabilidad de establecer rodales artificiales de *C. cajan* mediante bancos de germoplasma nativo, aprovechando el material genético disponible en los estratos vegetales de las regiones tropicales subhúmedas. 2. La respuesta biológica de *C. cajan*, particularmente en su producción de vaina y semilla, confirma su adaptabilidad en condiciones de alta densidad de siembra y con mínimo manejo agronómico.

Literatura citada

- Ambika, S., V. Manonmani and G. Somasundaram. 2014. Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Res. J. Seed Sci.* 7:31-38.
- Cannon, S.B., G.D. May and S. A. Jackson. 2009. Three sequenced legume genomes and many crop species: rich opportunities for translational genomics. *J. Plant Physiol.* 151(3):970-977.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2015. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. https://www.gob.mx/cms/uploads/docs/Manual_para_el_establecimiento_de_unidades_productoras_de_Germoplasma_Forestal.pdf [consultado el 1 de octubre de 2024].
- Higuera, A., A. Chacín, J. Semprún y B. Bracho. 1999. Momento óptimo para la cosecha de granos verdes en cinco variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. con fines agroindustriales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16(Supl. 1):134-145.
- Mendoza-Pedroza, S. I., E. Méndez-Gaona, K. U. Pérez-Cruz, A. Hernández-Livera, J. A. S. Escalante-Estrada y O. A. Domínguez-Martínez. 2023. Tamaño de semilla y su efecto sobre el crecimiento de plántulas de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Rev. Fitotec. Mex.* 46(4-A):497-504.
- Muñoz, R. C. 2015. Semillas patrimonio de la humanidad. p. 30-39. *In*: González, J. G. E. y N. Choque L. (comps.). *Experiencias en producción agroecológica en el trópico*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Vicerrectoría Regional Llanos. Villavicencio, Colombia.
- Navarro, V. C. L., D. Restrepo M. y J. Pérez M. 2014. El guandul (*Cajanus cajan*) una alternativa en la industria de los alimentos. *Rev. Bio. Agro.* 12(2):197-206.

- Robledo, L. C. 2010. Gandul *Cajanus cajan* (L.) Mill. Leguminosea. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Área Tecnológica de Pastos y Forrajes. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 25 p.
- Sarmiento, L., D. M. Viteri, A. M. Linares-Ramírez y K. González. 2021. Evaluación agronómica de 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] en Isabela y Lajas, Puerto Rico. J. Agric. Univ. P.R. 105(2):179-202.
- Young, N. D., J. Mudge and T. H. N. Ellis. 2003. Legume genomes: More than peas in a pod. Curr. Opin. Plant Biol. 6(2):199-204.

MODELO DE RECUPERACIÓN DE ÁREAS FORESTALES AFECTADAS POR INCENDIOS A PARTIR DE COMUNIDADES BIÓTICAS DEL SUELO

Daniel Alejandro Cadena Zamudio^{414*}, Jorge David Cadena Zamudio⁴¹⁵,
José Germán Flores Garnica⁴¹⁶, José Luis Arispe Vázquez⁴¹⁷, Sergio Ayvar Serna⁴¹⁸,
José Francisco Díaz Nájera⁴¹⁸ y Ana Graciela Flores Rodríguez⁴¹⁶

Resumen

Los incendios forestales ocurren con mayor intensidad y sus efectos representan limitantes a la recuperación de áreas rurales. Se han desarrollado indicadores para determinar la recuperación de áreas incendiadas; sin embargo, la mayoría se han centrado en factores meteorológico-humanos sin considerar agentes naturales como la vegetación, organismos del suelo y los artrópodos terrestres que tienen funciones ecológicas clave como la descomposición de la materia orgánica y reciclado de nutrientes post incendio. Para determinar un modelo de indicadores de recuperación postincendio, se evaluó la abundancia, riqueza y diversidad de la comunidad de artrópodos terrestres en dos niveles de severidad (moderada y alta) en un bosque templado afectado por un incendio a través de muestreos de campo y análisis en el laboratorio. A dos años, la diversidad de artrópodos terrestres incrementó respecto a valores previos al fuego. Los sitios con severidad moderada aumentaron en abundancia de especies saprófagas. La severidad moderada registró abundancia de nuevos artrópodos, en cambio la severidad alta, la biodiversidad se recuperó más lento. Los artrópodos terrestres generan efectos de recuperación de otros componentes ecológicos, por lo que son buen modelo para determinar daño-recuperación por fuego en diferentes niveles, lo que sugiere la capacidad de resiliencia del ecosistema forestal a corto y mediano plazo.

Palabras clave: invertebrados, mesofauna, fuego, perturbación

Introducción

Los incendios forestales son perturbaciones naturales que influyen en la estructura, dinámica, funcionamiento, composición y diversidad de especies. En la última década los regímenes de

⁴¹⁴ GISEM, Texcoco, Estado de México. *Autor de correspondencia: cadenzamudio@gmail.com

⁴¹⁵ INIFAP – Centro Nacional de Recursos Genéticos, Jalisco, México.

⁴¹⁶ INIFAP– Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, México.

⁴¹⁷ INIFAP – Campo Experimental Iguala, Guerrero, México.

⁴¹⁸ CSAEGRO– Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

incendios se han incrementado debido a la combinación de las condiciones climáticas actuales y las actividades humanas (He *et al.*, 2019). Si bien el efecto de la frecuencia de los incendios ha sido bien estudiado en la estructura de las comunidades (Hart *et al.*, 2019), poco se sabe sobre el efecto de la severidad (Koltz *et al.*, 2018), y es predecible que la severidad afecte de manera diferencial las propiedades del suelo (color, textura, temperatura, pH), así como los componentes bióticos del suelo (Buckingham *et al.*, 2019).

Los artrópodos terrestres contribuyen en procesos ecológicos fundamentales en los ecosistemas forestales; actualmente constituyen 15% de la biodiversidad (1.050 millones de especies aproximadamente) (Storck, 2018). Son responsables del 13% de la descomposición de la materia orgánica y el reciclado de nutrientes (Menta y Remelli, 2020). Contribuyen en los procesos de mineralización del fósforo y nitrógeno, así como en el mantenimiento de la estructura y textura del suelo. Estudios previos han mostrado que son resilientes a las perturbaciones como los incendios forestales (Yekwayo *et al.*, 2018). Los incendios no sólo provocan la muerte de las poblaciones, sino también causan efectos indirectos a través de los cambios en la vegetación al modificar la disponibilidad de recursos y refugios disponibles.

El entendimiento de los procesos que determinan la resiliencia de los bosques y las comunidades bióticas es uno de los principales temas de la ecología contemporánea. En general, se han utilizado diversos indicadores de riesgo que han integrado componentes de ignición, vulnerabilidad, ocurrencia histórica y combustibles de los incendios para evaluar el daño y la resiliencia del mismo (Shoemaker *et al.*, 2020). En general, la mayoría de estos indicadores se han centrado en factores meteorológicos como de origen humano sin tomar en cuenta los agentes naturales, como la vegetación y los organismos que habitan en el suelo, como los artrópodos terrestres (Myers y Hamrs, 2011). Por lo tanto, entender como las perturbaciones ecológicas (incendios) interactúan con los componentes bióticos de los ecosistemas terrestres ayudará a comprender cómo se modifican los procesos de ensamblaje y resiliencia en las comunidades del suelo.

Las comunidades de artrópodos terrestres son un buen modelo de estudio para evaluar los efectos de perturbaciones ecológicas debido a su capacidad de dispersión y su sensibilidad a los disturbios, lo que permite explorar los cambios en la diversidad y riqueza de la comunidad a corto y mediano plazo (Murphy *et al.*, 2020). En este estudio se determinó la abundancia, riqueza, diversidad de la comunidad de los artrópodos terrestres en dos niveles de severidad

de un incendio en un bosque templado neotropical de México. Se realizó un experimento natural a partir de un incendio forestal en un bosque para probar las siguientes preguntas: 1. ¿La diversidad de artrópodos terrestres se correlaciona positivamente con el tiempo posterior al incendio forestal? y 2. ¿La diversidad de artrópodos terrestres se correlaciona negativamente con la severidad del fuego? La hipótesis es que la diversidad de la comunidad de artrópodos terrestres aumentará con el tiempo después del incendio, y el ritmo de recuperación de la comunidad de artrópodos terrestres se correlacionará negativamente con la severidad del incendio forestal. Dicho lo anterior, se propone un modelo de identificación de daños por incendios forestales a partir de la biota del suelo para ser sugeridas como sitios para una gestión forestal favorable.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la reserva para la recreación y educación ambiental San Juan del Monte, que se localiza en la vertiente norte del volcán del Cofre de Perote en Las Vigas de Ramírez, Veracruz, México (19° 37' 53.4", N, 97° 7' 0.1" O). Cuenta con una extensión de 609.62 ha, en las que la altitud oscila de 2,300 a 2,700 m, con una topografía muy heterogénea, que va de terrenos abruptos difíciles de transitar, hasta llanuras que cuentan con la presencia de rocas conocidas como "malpaís" (SEDEMA, 2002). El clima es templado subhúmedo C(w1) con nublados frecuentes y heladas ocasionales. La temperatura promedio anual va de 12 a 18°C, con precipitación media de 200 a 1800 mm (García, 2004). La vegetación de la zona corresponde a bosque de coníferas de clima templado con suelos ácidos de tipo volcánico. En el área se distinguen dos tipos de bosque: bosque de pino dominado por *Pinus teocote* Schltdl. & Cham y el bosque mixto, con dominancia de *Pinus pseudoestrobis* Endl, y *Quercus* spp. (SEDEMA, 2002).

Clasificación de la severidad del incendio

La severidad del incendio forestal se clasificó de la siguiente manera: se descargaron imágenes satelitales de la zona del satélite Sentinel 2-A de la Agencia Espacial Europea (ESA,

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Se utilizaron las bandas RGB 2, 3 y 4 para identificar los elementos en las imágenes (agua, vegetación, presencia de incendios). Posteriormente se tomaron fotografías aéreas de los sitios con un dron (Mavic Pro) a una altura de vuelo de 50 m, las cuales se utilizaron como puntos de control para generar una firma espectral el software ArcMap 10.5, y con ésta se realizó una clasificación supervisada con el método de Máxima Verosimilitud (MaxLike) del cual se obtuvo un mapa con una clasificación de las dos severidades del incendio forestal. Debido a que la severidad del incendio fue heterogénea, se hicieron recorridos de campo para corroborar que los sitios coincidieran con la severidad determinada por las imágenes satelitales de acuerdo a la clasificación propuesta por Keeley (2009) donde se caracterizaron los sitios sin quemar, como el bosque no quemado el cual no presentó ningún daño por el fuego, los sitios de severidad moderada correspondieron a sitios con árboles con pequeñas fracciones de copas con agujas verdes- amarillas, con los tallos quemados pero la capa orgánica del suelo en gran parte intacta, mientras que los sitios de alta severidad presentaron áreas totalmente destruidas en los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, con depósitos de ceniza blanca y materia orgánica carbonizada a varios centímetros de profundidad (Figura 1).

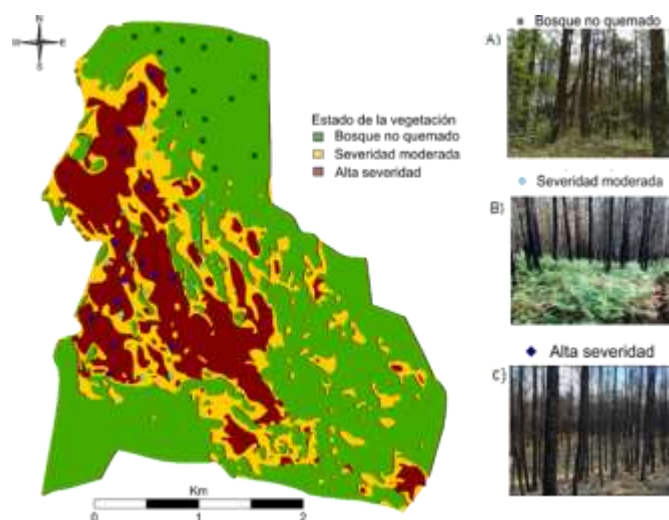


Figura 1. Distribución espacial de la severidad del incendio forestal del Área Protegida San Juan del Monte. A) bosque no quemado sin ningún daño por el incendio forestal, B) severidad moderada se caracterizó porque el fuego se limitó al estrato bajo (pastos, herbáceas y arbustos pequeños) y C) severidad alta, los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo fueron quemados totalmente.

Diseño experimental y muestreo de artrópodos

Se seleccionaron 45 sitios de los cuales 15 fueron no quemados, 15 de severidad moderada y 15 de severidad alta. Todos los sitios se ubicaron desde 2,300 a 2,500 m de altitud. Cada sitio tuvo un área de 400 m² con una distancia entre sí de 230 m para evitar la replicación (Woodcock, 2005). El muestreo tuvo lugar de marzo de 2019 a marzo de 2020 (temporada cálida-seca y húmeda).

Las muestras de artrópodos terrestres se colectaron utilizando trampas de caída. En cada sitio se colocaron cinco trampas, de las cuales, una se colocó en el centro del sitio y las cuatro restantes en las esquinas de éste a 10 m de distancia, formando un cuadro de 400 m² (45/5, n = 225). Las trampas consistieron en vasos de unicel de 13 cm de altura con 10 cm de diámetro empotradas a una profundidad en el suelo de 13 cm. Para reducir la captura de hojarasca y pequeños vertebrados a cada trampa se le montó un plato de plástico en la parte superior para mayor protección. Cada trampa contenía 200 mL de jabón comercial. Las trampas se mantuvieron en el campo por tres días consecutivos (Skvarla *et al.*, 2014), y se evaluaron cada tres meses durante un año posterior al incendio. Todos los especímenes capturados se almacenaron en tubos Falcon con alcohol etílico al 70% y se identificaron a nivel de familia, orden y suborden cuando fue posible.

Análisis estadístico

Se realizó un el análisis permutacional de la varianza (PERMANOVA) con la matriz de abundancia de gremios tróficos y morfoespecies para evaluar los efectos del tiempo después del incendio y la severidad del incendio en la comunidad de artrópodos terrestres (Anderson, 2001). Para describir las diferencias en la abundancia de gremios tróficos entre la severidad del incendio y los sitios no quemados de bosque en cada intervalo de tiempo, se utilizó la prueba de chi-cuadrado en las tablas de contingencia (Cochran, 1952). Se usaron curvas de rarefacción para el bosque no quemado, así como para los sitios de severidad moderada y alta del incendio para comparar y describir cambios en la diversidad alfa de los taxones. Todos los datos fueron estandarizados con base en el número real de trampas incluidas en la condición del bosque. Las diferencias entre las curvas de acumulación de morfoespecies se establecieron mediante inspección visual al 95% de intervalos confianza (Chao *et al.*, 2015). Todos los análisis se realizaron en el software R 4.3.2 (R Core Team, 2024).

Resultados y discusión

Abundancia de gremios tróficos

En general, se encontraron 5,187 individuos de 106 taxones que representan 11 gremios tróficos. Los gremios más frecuentes fueron los de fitófagos (27%), saprófagos (17%), depredadores (15%), parasitoides (13%) y micetófagos (9%); los gremios más abundantes fueron saprófagos (2,953), omnívoros (715) y depredadores (212). Estos gremios, junto con los ácaros representaron el 90% de todos los individuos recolectados.

La abundancia de gremios tróficos difirió entre las condiciones del bosque y cambió con el tiempo. La prueba PERMANOVA mostró efectos significativos del tiempo después del incendio ($F = 12.8$, d.f. = 3, 130, $P = 0.001$, $R^2 = 0.20$), severidad del incendio ($F = 3.74$, d.f. = 2, 130, $P = 0.002$, $R^2 = 0.04$). Tres meses después del incendio, al final de la estación seca (Figura 2a), se registró sólo el 9% ($n = 444$) de todos los individuos, y el 64% eran omnívoros. Los saprófagos y los fitófagos representaron proporciones iguales (11%), y los depredadores representaron sólo el 7%. En general, el 51% de los artrópodos recolectados tres meses después de ocurrido el incendio en el bosque no quemado. En comparación, el 24% y el 25% ocurrieron en niveles de severidad moderados y altos, respectivamente. Los taxones saprófagos estuvieron sobrerrepresentados en el bosque no quemado ($z = 3.65$, $P < 0.001$). Además, los taxones de fitófagos y micetófagos estaban sobrerrepresentados en severidades moderadas y altas ($z = 2.82$, $P = 0.005$ y $z = 5.9$, $P < 0.001$, respectivamente).

Seis meses después del incendio, se registró más del doble de la cantidad de artrópodos recolectados en junio, lo que representa el 19% (946) de los registros generales (Figura 2b). Observamos que el 71% de todas las recolecciones se realizaron en sitios con severidad moderada, y sólo el 24% se recolectó del bosque no quemado. Algunas frecuencias diferían significativamente de la expectativa aleatoria ($\chi^2 = 608.06$, d.f. = 18, $P < 0.001$). Los saprófagos fueron el principal gremio trófico y estuvieron sobrerrepresentados en las áreas de severidad moderada del incendio ($z = 5.22$, $P < 0.001$). En el bosque no quemado, los omnívoros y depredadores tuvieron una abundancia desproporcionadamente mayor ($z = 16.87$, $P < 0.001$ y $z = 3.36$, $P < 0.001$, respectivamente) de lo pronosticado por casualidad, mientras que los fitófagos y parasitoides tuvieron una abundancia mayor de lo esperado en el bosque no

quemado que en las áreas afectadas por el fuego ($z = 5.68$, $P < 0.001$ y $z = 5.51$, $P < 0.001$, respectivamente).

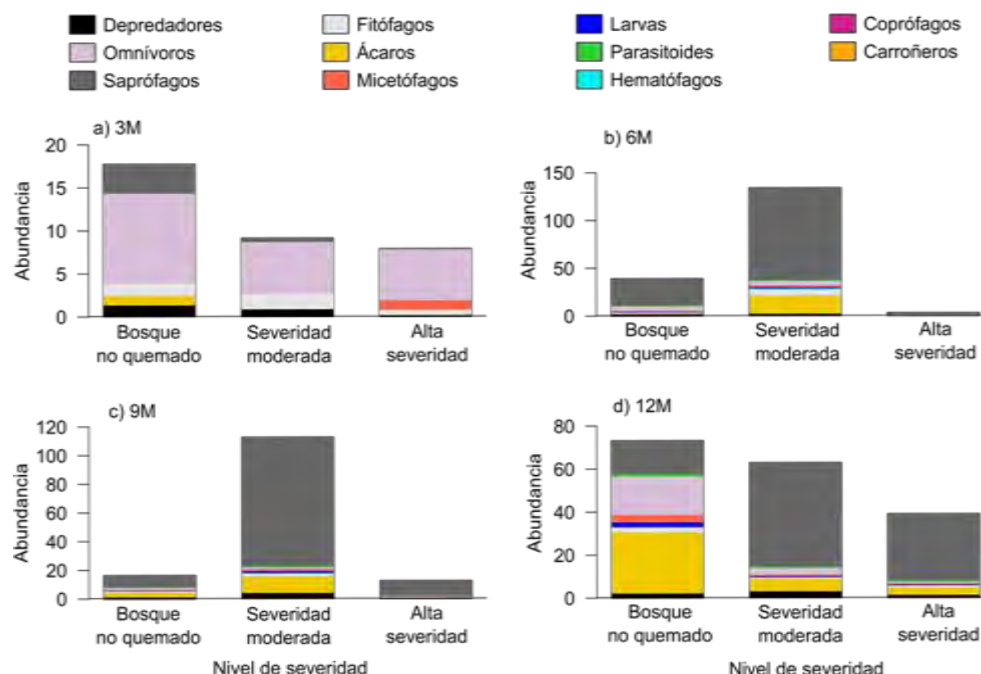


Figura 2. Abundancia relativa de gremios tróficos de artrópodos terrestres en el bosque no quemado y los dos niveles de severidad de incendios forestales después del incendio de marzo de 2019 en el Área Protegida San Juan del Monte, Las Vigas, Veracruz, México.

Uno de cada cuatro individuos muestreados fue recolectado nueve meses después del incendio, en diciembre de 2019 y hubo desviaciones significativas de la expectativa aleatoria ($\chi^2 = 174.23$, d.f. = 20, $P < 0.001$). El 70% de todas las capturas ocurrieron en áreas de severidad moderada, donde predominaron los saprófagos ($z = 1.92$, $P = 0.055$; ver Figura 2c). En el bosque no quemado, al igual que tres meses antes, los omnívoros y depredadores tuvieron abundancias ($z = 7.17$, $P < 0.001$ y $z = 3.4$, $P < 0.001$, respectivamente).

Doce meses después del incendio, a principios de marzo de 2020, se observó la mayor abundancia de artrópodos terrestres (Figura 2d). Las muestras recolectadas representaron el 41% del total; el 51% de la recolección provino del bosque no quemado y hubo algunas desviaciones significativas de la expectativa aleatoria ($\chi^2 = 937.1$, d.f. = 16, $P < 0.001$). En el

bosque no quemado, los omnívoros y los ácaros (no asignados a gremios tróficos) tuvieron abundancias ($z = 11.57$, $P < 0.001$ y $z = 12.2$, $P < 0.001$, respectivamente).

En los sitios de severidad moderada, los taxones saprófagos estuvieron sobrerrepresentados con el tiempo y los taxones saprófagos, principalmente Collembola, predominaron en los sitios quemados en San Juan del Monte. Esta observación concuerda con otros estudios realizados en bosques templados. Tres meses después del incendio, los taxones fitófagos y micetófagos estaban sobrerrepresentados en ambas severidades del incendio, y los omnívoros y depredadores abundaban en el bosque no quemado. Es probable que los cambios en la abundancia de artrópodos terrestres se deban a cambios en el medio ambiente causados por incendios forestales (Wermelinger *et al.*, 2017) y por la disponibilidad de recursos alimentarios, como el carbono y la materia orgánica. Tres meses después del incendio en San Juan del Monte, con la llegada de lluvias esporádicas, el suelo quemado, rico en nutrientes minerales y materia orgánica, era probablemente un campo fértil donde podían florecer plantas de sucesión temprana y hongos saprotróficos (Certini *et al.*, 2021). Tal dinámica de sucesión es probablemente la razón por la que los fitófagos y los fungívoros proliferan entre los artrópodos terrestres. Aunque los omnívoros (principalmente Formicidae) estuvieron bien representados en los sitios de bosques no quemados, su abundancia fue baja en los sitios de severidad moderada y alta. Este hallazgo concuerda con estudios previos en los que se informaron disminuciones en la abundancia de Formicidae después de incendios forestales (Vasconcelos *et al.*, 2017). Presuntamente, el principal impulsor de la disminución de Formicidae después de los incendios forestales fue la reducción de presas en la capa de hojarasca del suelo, lo que puso en peligro la continuidad de los nidos de hormigas.

Los patrones observados de altas abundancias de algunos gremios tróficos en sitios con severidad moderada y alta indican que la abundancia y diversidad de toda la comunidad de artrópodos terrestres presentaron una recuperación más rápida de la comunidad de artrópodos terrestres que en sitios con severidad alta. Presuntamente, las condiciones subterráneas provocadas por incendios de bajo impacto (por ejemplo, la temperatura, la humedad del suelo, el contenido de materia orgánica del suelo y el pH del suelo) son favorables para la proliferación de algunos gremios de artrópodos del suelo (Auclerc *et al.*, 2019). No obstante, la estacionalidad y la dinámica sucesional son los impulsores predominantes de la comunidad de artrópodos terrestres; durante la temporada de lluvias, la descomposición de la materia

orgánica por hongos y bacterias se ve facilitada por la proliferación de raíces finas y por la humedad sostenida del suelo que libera nutrientes al medio ambiente del suelo. Estas condiciones parecen promover muchas poblaciones de artrópodos terrestres.

Diversidad alfa

En general, se distinguieron 88 combinaciones de órdenes y familias o morfotaxones. Al igual que el análisis sobre gremios tróficos, la prueba PERMANOVA sobre la abundancia de morfoespecies mostró un efecto significativo del tiempo después del incendio ($F = 11,89$, $gl = 3$, 130 , $P < 0,001$, $R^2 = 0,19$), la severidad del incendio ($F = 2,96$, $gl = 2$, 130 , $P < 0,001$, $R^2 = 0,03$).

Tres meses después del incendio, los sitios de alta severidad tenían la mayor diversidad, como lo revelan las curvas de rarefacción que crecieron más rápido según los individuos de la muestra. Sin embargo, los sitios de alta severidad tuvieron la menor riqueza de morfotaxones (Figura 3a).

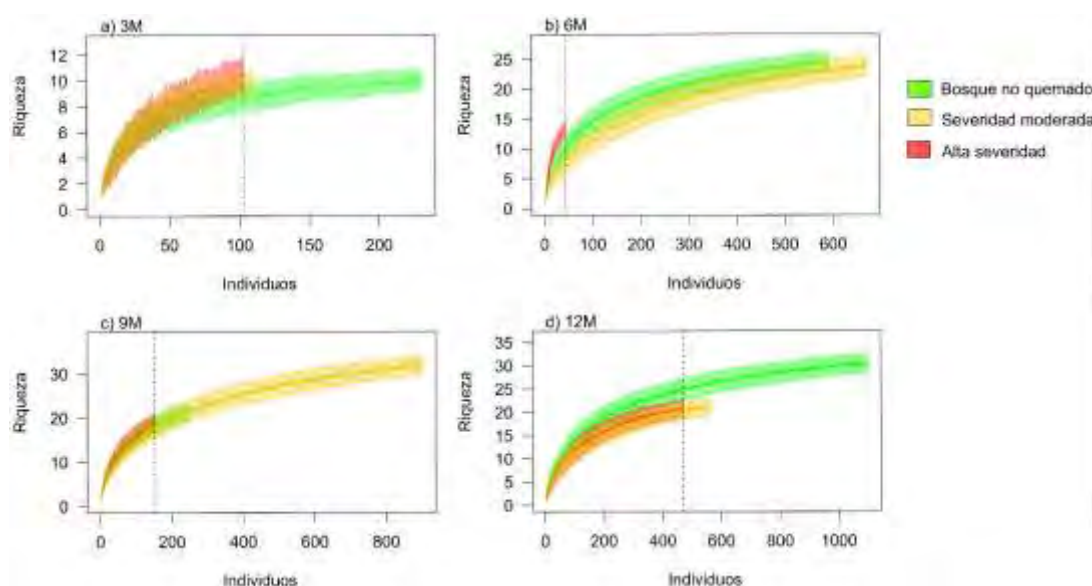


Figura 3. Curvas de rarefacción de taxones de artrópodos en bosques no quemados y los dos niveles de severidad del incendio forestal después del incendio forestal de marzo de 2019 en el Área Protegida San Juan del Monte, Las Vigas, Veracruz, México. La línea vertical punteada representa en el número real de trampas incluidas en cada condición del bosque.

El bosque no quemado, que tuvo la mayor abundancia, tuvo una diversidad similar a la de los sitios de severidad moderados. Seis meses después del incendio, las curvas de rarefacción fueron similares entre los sitios de bosques no quemados y los sitios de severidad moderada. Su diversidad fue mayor que en los sitios de baja abundancia y alta severidad (Figura 3b). Nueve meses después del incendio, los sitios con severidad moderada tenían mayor abundancia y diversidad que los bosques no quemados y los sitios con alta severidad. A pesar de la abundancia de invertebrados en el bosque no quemado, la diversidad fue comparable a las áreas de alta severidad (Figura 3c). Un año después del incendio, en el pico de abundancia de artrópodos terrestres en el sitio de estudio, el bosque no quemado fue el ambiente con mayor abundancia y diversidad. Al mismo tiempo, no hubo diferencias en la abundancia o diversidad entre las severidades de los incendios (Figura 3d).

Los cambios a lo largo del tiempo en la diversidad alfa y el predominio del recambio de taxones en la diversidad beta en las áreas de alta severidad de incendios mostraron una comunidad dinámica de artrópodos terrestres que evolucionó después del evento de incendio. No está claro si tal dinamismo refleja una comunidad resiliente o la evolución de la comunidad hacia un estado alternativo. Por ejemplo, los sitios de bosques no quemados tenían una mayor abundancia y diversidad en general en comparación con los sitios quemados. Sin embargo, los cambios a lo largo del tiempo en la abundancia y diversidad de la comunidad de artrópodos terrestres en áreas afectadas por incendios sugieren complejas respuestas de los artrópodos terrestres a eventos catastróficos, como un incendio (New, 2014). Además, estas respuestas pueden depender de la topografía, las condiciones microclimáticas y la estacionalidad de la región (López *et al.*, 2016).

Modelo de identificación de daños por incendios

De acuerdo con De Vicente (2012), un modelo de identificación de daños por incendios forestales debe de pasar por un proceso de chequeo, evaluación y validación estadísticamente robusta, donde las variables del mismo sean significativas en relación al fenómeno analizado. En este estudio se realizó un análisis exploratorio mediante histogramas de frecuencia de las variables, posteriormente se realizó el contraste de hipótesis y finalmente un análisis permutacional de la varianza (PERMANOVA) para evaluar las variables de respuesta como las diferencias en la abundancia de gremios tróficos y comparar los cambios en la diversidad

alfa y riqueza de las morfoespecies en función del tiempo después del incendio y la severidad del incendio en los artrópodos terrestres. Dicho lo anterior y teniendo el proceso completo de validación se propuso el siguiente modelo conceptual que representa el impacto e identificación de daño de la severidad de un incendio forestal sobre la abundancia y diversidad de la comunidad de artrópodos terrestres en un bosque templado (Figura 4).

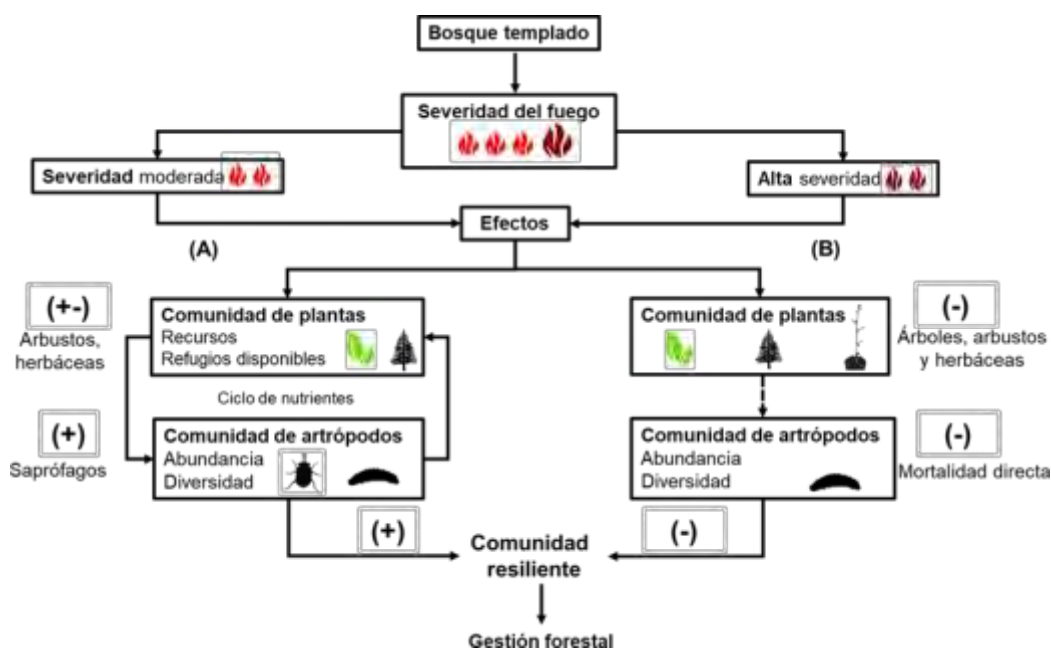


Figura 4. Modelo conceptual de la severidad de un incendio forestal sobre la abundancia y diversidad de la comunidad de artrópodos terrestres en un bosque templado. A) severidad moderada y B) severidad alta. Los signos positivos y negativos representan los efectos que puede causar la severidad del incendio forestal. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4A, muestra una severidad moderada, en donde la comunidad vegetal se ve afectada pero no en gran medida, ya que la mayoría de las herbáceas y arbustos persisten generando mayores recursos y refugios disponibles que favorecen que la abundancia y diversidad de la comunidad de artrópodos, en particular del gremio de los saprófagos los cuales se alimentan de materia orgánica en descomposición permitiendo realizar el ciclo de nutrientes. Tal dinamismo refleja una comunidad resiliente a esta perturbación, útil en la gestión forestal. En la Figura 4B se observa una severidad alta en que los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo

se afectan negativamente, lo que disminuye la abundancia y diversidad de los artrópodos terrestres por mortalidad directa, con una resiliencia de la biodiversidad considerablemente más lenta.

En síntesis, el reingreso a las áreas afectadas por el incendio puede ser sugerida cuando la biodiversidad de artrópodos ha incrementado en las severidades moderadas del incendio forestal a partir la prevalencia de sotobosque (arbustos y herbáceas), y ello es cuando han ocurrido al menos 12 meses desde el evento de fuego, ya que la abundancia de especies saprófagas aumenta, lo que permite realizar el ciclo de nutrientes y la resiliencia del ecosistema.

Conclusiones

1. La comunidad de artrópodos terrestres mostró una dinámica de recuperación compleja después del incendio, combinada con cambios estacionales regulares en la abundancia y diversidad de taxones y gremios tróficos. 2. Un año después del incendio, la diversidad y abundancia de los sitios afectados por el fuego era menor que la de los bosques no quemados. 3. Los artrópodos terrestres son buen modelo para determinar daño-recuperación por fuego en diferentes niveles, lo que sugiere la capacidad de resiliencia del ecosistema forestal a corto y mediano plazo.

Literatura citada

- Anderson, M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26(1):32-46.
- Auclerc, A., J. M. Le Moine, P. J. Hatton, J. A. Bird and K. J. Nadelhoffer. 2019. Decadal post-fire succession of soil invertebrate communities is dependent on the soil surface properties in a northern temperate forest. *Sci. Total Environ.* 647:1058-1068.

- Buckingham, S., N. Murphy and H. Gibb. 2019. Effects of fire severity on the composition and functional traits of litter-dwelling macroinvertebrates in a temperate forest. *For. Ecol. Manag.* 434:279-288.
- Certini, G., D. Moya, M. E. Lucas-Borja and G. Mastrolonardo. 2021. The impact of fire on soil-dwelling biota: A review. *For. Ecol. Manag.* 488:118989.
- Chao, A., C. H. Chiu, T. C. Hsieh, T. Davis, D. A. Nipperess and D. P. Faith. 2015. Rarefaction and extrapolation of phylogenetic diversity. *Methods Ecol. Evol.* 6(4):380-388.
- Cochran, W. G. 1952. The χ^2 test of goodness of fit. *Ann. Math. Stat.* 23:315-345.
- De Vicente, F. J. 2012. Diseño de un modelo de riesgo integral de incendios forestales mediante técnicas de multicriterio y automatización de sistemas de información geográfica. Una aplicación en la comunidad Valenciana. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 180 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. Serie Libros Núm. 6. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México D. F. 90 p.
- Hart, S. J., J. Henkelman, P. D. McLoughlin, S. E. Nielsen, A. Truchon-Savard and J. F. Johnstone. 2019. Examining forest resilience to changing fire frequency in a fire-prone region of boreal forest. *Glob. Chang. Biol.* 25(3):869-884.
- He, T., B. B. Lamont and J. G. Pausas. 2019. Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biol. Rev.* 94(6):1983-2010.
- Keeley, J. E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire* 18:116-126.

- Koltz, A. M., L. A. Burkle, Y. Pressler, J. E. Dell, M. C. Vidal, L. A. Richards *et al.* (2018). Global change and the importance of fire for the ecology and evolution of insects. *Curr. Opin. Insect Sci.* 29:110-116.
- López, B., K. Burgio, M. Carlucci, K. Palmquist, A. Parada and V. Weinberger. 2016. A new framework for inferring community assembly processes using phylogenetic information, relevant traits and environmental gradients. *One Ecosyst.* 1.e9501.
- Menta, C. and S. Remelli. 2020. Soil health and arthropods: From complex system to worthwhile investigation. *Insects* 11(1):54.
- Murphy, S. M., L. A. Richards and G. M. Wimp (eds.). 2020. Arthropod interactions and responses to disturbance in a changing world. *Frontiers Media SA.* Lausanne, Switzerland. 237 p.
- Myers, J. A. and K. E. Harms. 2011. Seed arrival and ecological filters interact to assemble high-diversity plant communities. *Ecology* 92:676-686.
- New, T. R. 2014. *Insects, fire and conservation.* Springer Cham. Heidelberg, NY, USA. 208 p.
- R Core Team. 2020. *R: a language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente del estado de Veracruz). 2002. Área Verde Reservada para la Educación Ecológica el Predio Rústico San Juan del Monte. Secretaría de Medio Ambiente del estado de Veracruz. Xalapa, Ver., México. 299 p.
- Shoemaker, L. G., L. L. Sullivan, I. Donohue, J. S. Cabral, R. J. Williams, M. M. Mayfield *et al.* 2020. Integrating the underlying structure of stochasticity into community ecology. *Ecology* 101(2) e02922.

- Skvarla, M. J., J. L. Larson and A. P. G. Dowling. 2014. Pitfalls and preservatives: A review. *J. Entomol. Soc. Ont.* 145.
- Stork, N. E. 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annu. Rev. Entomol.* 63(1):31-45.
- Vasconcelos, H. L., J. B. Maravalhas and T. Cornelissen. 2017. Effects of fire disturbance on ant abundance and diversity: A global meta-analysis. *Biodivers. Conserv.* 26:177-188.
- Wermelinger, B., M. Moretti, P. Duelli., T. Lachat, G. B. Pezzatti and M. K. Obrist. 2017. Impact of windthrow and salvage-logging on taxonomic and functional diversity of forest arthropods. *Forest Ecol. Manag.* 391:9-18.
- Woodcock, B. A. 2005. Pitfall trapping in ecological studies. p. 37-57. *In*: Leather, S. R. (ed.) *Insect sampling in forest ecosystems*. Blackwell Science Ltd. Malden, MA, USA. 303 p.
- Yekwayo, I., J. S. Pryke, R. Gaigher and M. J. Samways. 2018. Only multi-taxon studies show the full range of arthropod responses to fire. *PloS One* 13(4):e0195414.

TENDENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE INCENDIOS FORESTALES EN MÉXICO: UNA PERSPECTIVA BIBLIOMÉTRICA

Daniel Alejandro Cadena Zamudio^{419*}, Jorge David Cadena Zamudio⁴²⁰,
José Germán Flores Garnica⁴²¹, José Luis Arispe Vázquez⁴²², Sergio Ayvar Serna⁴²³
y José Francisco Díaz Nájera⁴²³

Resumen

En las últimas dos décadas se han registrado cambios sin precedentes en la frecuencia y severidad de los incendios forestales. Si bien se cuenta con estudios que han descrito los efectos del fuego en diversas temáticas con aportes teóricos significativos, se requiere una revisión integral de la evolución de la investigación sobre los incendios para comprender aquellos países donde la actividad incendiaria está en aumento, tal es el caso de México. El objetivo de este estudio fue analizar las publicaciones científicas sobre incendios forestales en México de las últimas cuatro décadas. Para este fin se usó la base de datos Web of Science, se emplearon herramientas bibliométricas y se utilizaron las palabras clave TI= Forest fire* OR TI= Wildfire* para extraer todas las publicaciones posibles que tuvieran relación con incendios forestales. Se registraron 118 publicaciones relacionadas a incendios de la cobertura vegetal con un notorio aumento en la frecuencia de estudios en la década previa. Los estudios en el país han sido primordialmente descriptivos sobre la relación cuantitativa entre el tamaño de área afectada y el número de ocurrencias en el paisaje. Dentro de las variables ecológicas analizadas con mayor frecuencia a nivel de la comunidad destacan la regeneración de la vegetación. Los bosques templados fueron el bioma donde se han realizado la mayoría de los estudios sobre incendios forestales con 81 publicaciones. Finalmente, se encontró un vacío en la investigación científica para México relacionada con las interacciones bióticas y el fuego. Se sugiere elaborar un marco de referencia de incendios forestales a nivel nacional.

Palabras clave: calentamiento global, severidad, frecuencia, actividades antropogénicas

⁴¹⁹ GISEM, Texcoco, Estado de México. *Autor de correspondencia: cadenzamudio@gmail.com

⁴²⁰ INIFAP – Centro Nacional de Recursos Genéticos, Jalisco, México.

⁴²¹ INIFAP– Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, México.

⁴²² INIFAP – Campo Experimental Iguala, Guerrero, México.

⁴²³ CSAEGRO– Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

Introducción

El fuego es considerado un factor determinante en los regímenes climáticos en tiempo geológico y como factor de diversificación de las plantas desde que estas colonizaron los ambientes terrestres aproximadamente 350-410 millones de años en el pasado del periodo Devónico-Silúrico (Scott, 2018). En el contexto ecológico, el fuego juega un papel relevante en el mantenimiento de la biodiversidad y en las dinámicas de regeneración de sabanas, matorrales, bosques templados (donde predominan encinos, pinos) y boreales (diversas coníferas) entre otros ambientes. Sin embargo, el aumento en la frecuencia y severidad de los incendios en las últimas décadas ha conducido a que este fenómeno natural sea considerado como una perturbación destructiva (Fidelis, 2020).

En las últimas dos décadas se han registrado cambios sin precedentes en los regímenes de incendios como resultado del cambio climático. El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre contribuye al incremento de la temperatura global, que se ubica en promedio $0.85 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ superior a la registrada para el siglo XX (Gen-Suo, 2020). Si bien, este incremento parece marginal, a escala global se reportan olas de calor y sequías prolongadas que, asociadas a una carga abundante de combustible seco en sistemas naturales y antropogénicos, originan más incendios (Attri *et al.*, 2020). Actualmente, la duración media anual de la temporada de incendios forestales en el mundo ha aumentado 20% en comparación con lo observado hace diez años, lo cual ha provocado un aumento en la extensión de los incendios (Jones *et al.*, 2020).

A escala planetaria este aumento en temperatura intensifica las oscilaciones atmosféricas en todo el mundo. En específico, la oscilación del pacífico sur conocida como El Niño/La Niña, genera periodos de mucha precipitación que favorecen una alta productividad primaria intercalados con periodos de sequía prolongada en los que se da una rápida acumulación de material inflamable, que puede incendiarse espontáneamente; sin embargo, la mayoría de los incendios están relacionados con actividades antrópicas como la deforestación, agricultura y ganadería y quemas intencional/accidental (Juárez-Orozco *et al.*, 2018).

En México el número de incendios también se ha incrementado en la última década, siendo los años 2011 (12,113 incendios), 2013 (10,406), 2016 (8,422), 2017 (8,896), 2019 (7410) y el 2021 (7337) en los que han ocurrido el mayor número de eventos, siendo solamente inferiores

a lo ocurrido en el año 1998 cuando hubo un registro récord de 14,315 siniestros (SEMARNAT, 2022). La severidad de los incendios forestales en México también ha ido en aumento, de severidad baja y moderada, ahora se ha alcanzado la categoría de muy alta en algunas zonas del centro y norte del país (SEMARNAT, 2022). En general, la frecuencia y severidad de los incendios forestales se ha intensificado en concordancia con el aumento global de las temperaturas (cambio climático global).

Ante este escenario, la comunidad nacional ha desarrollado investigación sobre el fuego y su severidad, impulsando el desarrollo de investigación encaminada a entender aspectos fundamentales, tales como los combustibles forestales, la distribución, el comportamiento y su modelación en diversos ecosistemas (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2011). Además, dado el efecto negativo de los incendios tanto en los ecosistemas como para las comunidades humanas es prioritario realizar más investigaciones sobre las tendencias de los incendios forestales y sus consecuencias a nivel nacional (Robinne *et al.*, 2018). Aunado a esto, la ausencia de sistematización y análisis de conocimiento de los incendios forestales en México contrasta con lo hecho en otros países y regiones (Estados Unidos, Australia, África Central, la Amazonia y Europa mediterránea) en los que existe una tradición científica asociada a los incendios forestales (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2018). Por lo tanto, un punto de partida para detectar patrones generales y diseñar futuras investigaciones es a través de la revisión de los trabajos publicados.

En este contexto, se realizó una revisión de las investigaciones relacionadas con los incendios forestales en los últimos 40 años con énfasis en México. Con este trabajo se busca comprender los patrones espacio temporales del estudio de los incendios forestales y las temáticas abordadas. Se utilizó un enfoque bibliométrico que comprende un conjunto de métodos cuantitativos para analizar la literatura publicada con el fin de identificar tendencias en el desarrollo de investigaciones (Zhang *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2021). A través de esta metodología planteamos responder las siguientes preguntas: *i)* ¿Cómo es la distribución temporal y espacial de los estudios sobre incendios forestales?, *ii)* ¿Qué temas son los más abordados en el contexto de los incendios forestales?, *iii)* ¿Cuáles son las variables ecológicas más evaluadas en los estudios sobre incendios forestales?, *iv)* ¿En qué ecosistemas se han realizado la mayoría de los estudios?, y *v)* ¿Cuál es el estatus de los estudios de las interacciones bióticas y los incendios forestales?

Materiales y métodos

Base bibliográfica

Se realizó una investigación con un enfoque bibliométrico y de minería de datos que incluyó la elección de la base de datos, así como la identificación de términos y filtros de búsqueda. Posteriormente, con el subconjunto de datos seleccionados se procedió a su análisis detallado de la información.

Se realizó una búsqueda avanzada de las publicaciones relacionadas con incendios forestales en la base de datos Web of Science de los últimos 40 años (1980-2020). Se utilizaron los operadores lógicos $TI = Forest\ fire^* OR TI = Wildfire^*$ para extraer todas las publicaciones posibles que tuvieran relación con incendios forestales, donde la $TI =$, nos restringen a aquellos estudios cuyo título incluye alguna de las variantes de las palabras clave. Todos los artículos resultantes se exportaron en formato BibTeX con su registro completo y referencias citadas. La información se clasificó de acuerdo con su ID, autor, año, título, revista, resumen y palabras clave. Se utilizó el software R 4.3.2 (R Core Team, 2024) para crear una base de datos con los siguientes campos: a) año de publicación, b) tópicos, c) variables ecológicas, d) ecosistemas y e) interacciones bióticas. Cada registro fue revisado cuidadosamente para excluir aquellos ítems que no estaban de acuerdo con el objetivo del trabajo. Para ser incluidos en la revisión, los estudios tenían que cumplir con los siguientes criterios: (1) que fueran artículos publicados en inglés o español y (2) los artículos pertenecieran a disciplinas ambientales (ambiental, agronómica, geográfica y ecológica, etc.). No se consideraron reseñas, capítulos de libros y actas de congresos ya que estos pueden ser publicados más de una vez en diferentes medios y ser subconjuntos de fuentes primarias (Vasconcelos *et al.*, 2020).

Resultados y discusión

Tendencias temporales en las publicaciones

En total se encontraron 118 artículos relacionados con incendios forestales en el periodo de 1980 a 2020. Destaca el rezago en las publicaciones en los años 1980-1997 con una publicación (Figura 1). A partir del año 1998 el número de publicaciones aumentó con un patrón

errático; sin embargo, del 2006 al 2015 se observó un crecimiento sostenido en el número de publicaciones 78 (66.1%), siendo el 2015 el año con más publicaciones 13 (11%) (Figura 1).

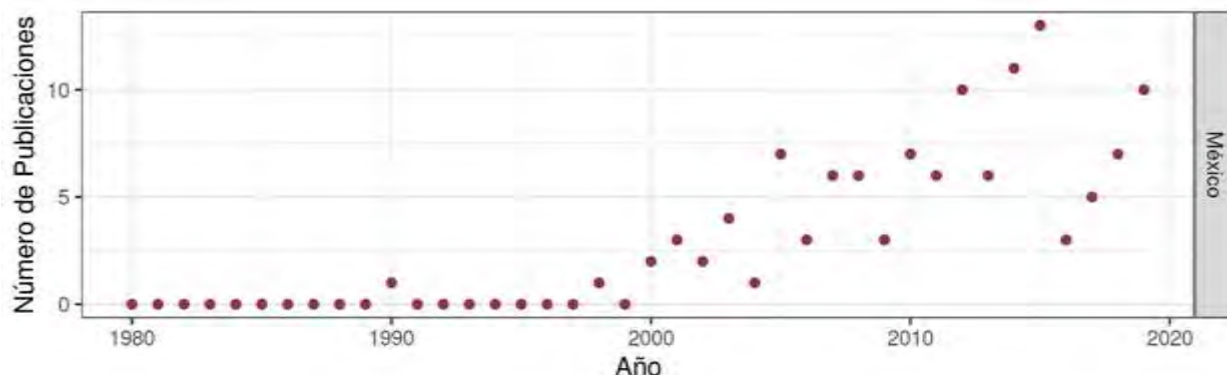


Figura 1. Variación temporal del número de publicaciones sobre incendios forestales en México (n=118). Los puntos indican el número de publicaciones por año.

En México, los eventos climáticos extremos asociados al cambio climático global también han tenido un importante incremento en la última década (Bautista, 2015). Las variaciones en el clima de año con año han estado influenciadas en gran medida por el fenómeno de EL Niño (Oscilación del Sur, ENSO por sus siglas en inglés) (Pompa-García y Sensibaugh, 2014). En particular, se sabe que este fenómeno tiene una fuerte relación con los incendios forestales al favorecer altas temperaturas y sequía (Juárez-Orozco *et al.*, 2018). En este estudio se identificó un aumento del número de estudios sobre incendios forestales en México a partir de los años 2000 lo cual muy probablemente responde al año récord en el número de incendios forestales observados en 1998 (Jiménez y Mendoza, 2019). Previo al año 2000, se observó un rezago en la producción científica referente a los incendios forestales; solo se detectó una publicación en el periodo. Esto podría estar relacionado a que antes del año 2000 la información relacionada con incendios o quemas prescritas no se documentaban en artículos indexados, solo en informes técnicos (Flores-Garnica, 2021). Sin embargo, la temporada de incendios de 1998 visibilizó el impacto de los incendios forestales en México y trajo consigo cambios en las políticas y prácticas de manejo de incendios (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2011). Para el año 2000, agencias gubernamentales, universidades e institutos como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT), Comisión

Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas (INIFAP), Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y Colegio de postgraduados (CP) comenzaron a sentar las bases para la investigación y práctica de la ecología del fuego, el manejo integral comunitario en zonas rurales, así como con la prevención y el combate de incendios (Domínguez y Rodríguez-Trejo, 2008).

Principales temas reportados

En México los principales tópicos fueron la distribución espacial de los incendios forestales (24) lo que representa el 20.3% de los estudios registrados para México, seguido por el estudio de perturbación antrópicas asociadas a los incendios (21) y regeneración de la vegetación (20) representando 17% cada uno de estos temas (Figura 2).

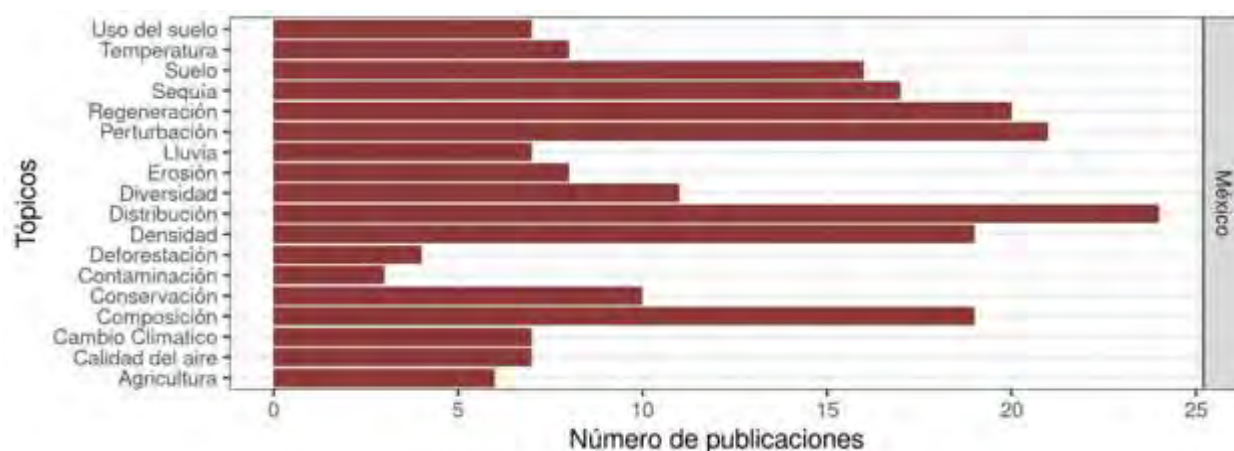


Figura 2. Número de publicaciones que evaluaron diferentes temas relacionados con incendios forestales en México.

Pese a conocerse que las actividades de cambio de uso de suelo y la transformación de bosques a sistemas productivos agrícolas está estrechamente relacionada con el aumento en la frecuencia de incendios forestales (SEMARNAT, 2006), en México estos temas han sido raramente abordados en la literatura. El tópico más estudiado en México relativo a incendios forestales fue la distribución de los incendios. En particular, la distribución del tamaño de los incendios, es decir, la relación cuantitativa entre el tamaño del fuego y el número de ocurrencias en un paisaje forestal o región durante un período determinado (Cui y Perera,

2008). El interés de los investigadores en la distribución del tamaño de los incendios se ha extendido no solo en la gestión forestal, sino también se ha buscado entender los factores que influyen en la distribución de los incendios (Cruz-Espíndola *et al.*, 2017). Por ejemplo, se ha hecho énfasis en las consecuencias de los fuegos considerando la heterogeneidad espacial del hábitat (Flores-Garnica y Omi, 2003) y el análisis espaciotemporal (Cruz-López *et al.*, 2019).

Variables ecológicas post-incendio

En México 69 publicaciones estuvieron relacionadas con estudios ecológicos, principalmente sobre regeneración de la vegetación y densidad poblacional de las especies en los ecosistemas con 20 y 19 publicaciones respectivamente (Figura 3).

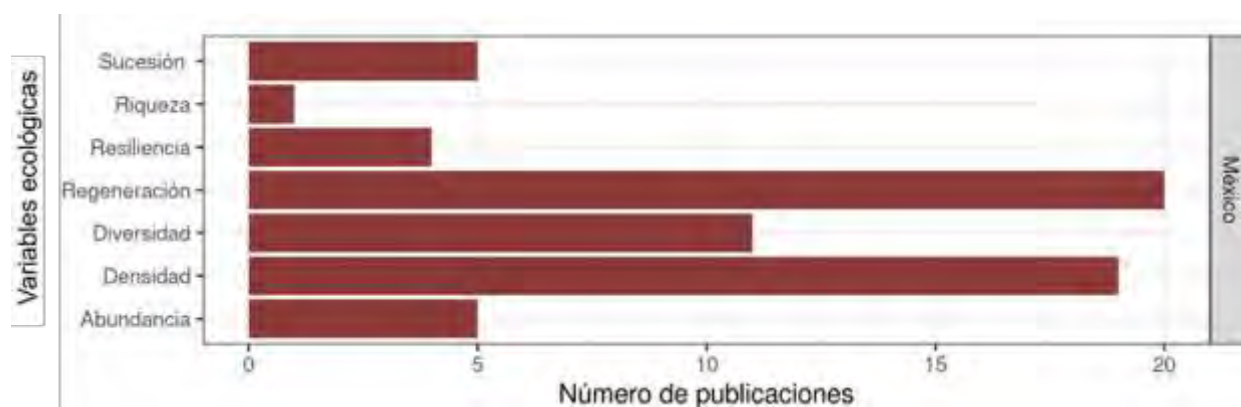


Figura 3. Número de publicaciones que reportan investigación en variables ecológicas en México (n=69).

El área de mayor interés fue los cambios en las comunidades de plantas, animales y el suelo después de uno o varios incendios forestales. En particular, se evaluaron variables ecológicas en términos de diversidad, densidad y regeneración, principalmente en la vegetación para México (Certini *et al.*, 2021).

Es conocido que la severidad e intensidad de un incendio forestal modifica las propiedades físicas y químicas del suelo. Por ejemplo, el suelo mantiene su capacidad de retención de agua, hay baja erosión y se mantienen los almacenes de nutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) facilitando la recuperación de la vegetación por medio de la regeneración de rebrotes

(Clarke *et al.*, 2015). Estos procesos pueden influir en la diversidad de plantas en las primeras etapas post-incendio donde aumenta el número de especies herbáceas y arbustivas (Pressler *et al.*, 2019). Mientras que, para especies arbóreas los cambios en la diversidad pueden llevarse en más años (Randrianarison *et al.*, 2015). En el caso de los organismos que habitan en el suelo, se ha demostrado que, después de un incendio, la riqueza y abundancia de las especies aumenta cuando la severidad es moderada, mientras que, en la severidad alta, la recuperación es considerablemente más lenta (Cadena-Zamudio *et al.*, 2022). Estos efectos, alteran también la dinámica de la red alimentaria del suelo y la resiliencia de comunidades de los ecosistemas con implicaciones a corto, mediano y largo plazo en su funcionamiento (Certini *et al.*, 2021).

Ecosistemas con más impactos por incendios forestales

En México el 71.2% equivalente a 81 estudios se han realizado en los bosques templados, principalmente en bosques de pino con 21 (25%) y otras coníferas con 13 trabajos (15%) (Figura 4).

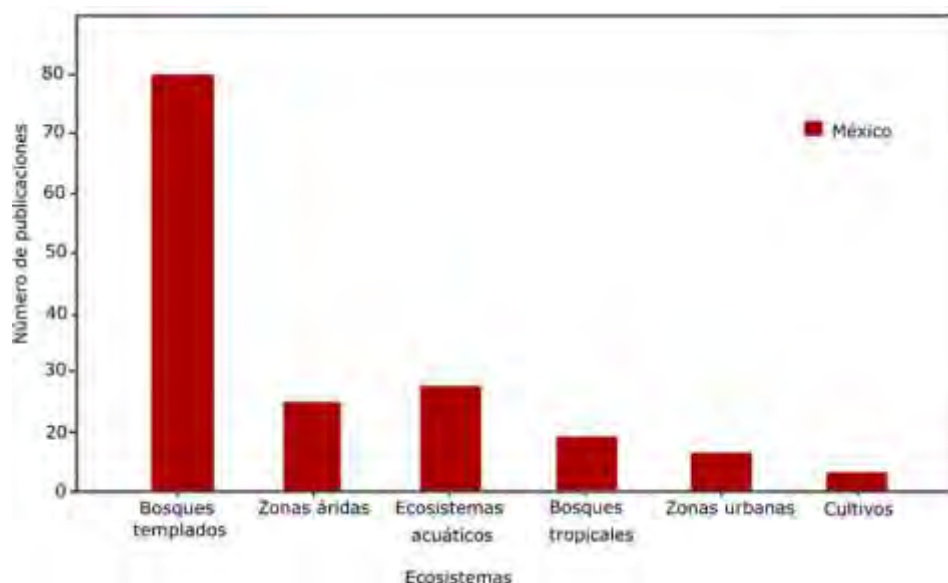


Figura 4. Número de publicaciones en los diferentes biomas de México.

En México al igual que para la tendencia mundial, los bosques templados fueron el bioma con mayor número de estudios sobre incendios, principalmente los bosques de pino y de otras

coníferas. A nivel nacional, los bosques templados representan 17.4% de la superficie total de país y son considerados centro de diversidad de pinos 50% (50 especies) y de encinos con 33% (200 especies) del total a nivel mundial (Challenger y Soberón, 2009). El fuego es un componente clave de la dinámica ecológica de estos ecosistemas. Por ejemplo, para las especies del género *Pinus* spp. tales como *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl y *Pinus devoniana* Lindl, el fuego es un elemento que garantiza su supervivencia, mientras que para *Pinus greggii* Engelm. ex Parl, *Pinus attenuata* Lemmon y *Pinus patula* Schltdl. & Cham, el fuego promueve la apertura de los conos serótinicos para la liberación de las semillas, lo que propicia la regeneración natural (Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). Es importante señalar que en México las actividades con fines agrícolas y las quemadas prescritas originan el 90% de los incendios a nivel nacional, por lo que gran parte de los estudios han sido a partir de estas actividades (Flores-Garnica, 2009).

Interacciones bióticas post-incendio

En México solo se encontraron dos estudios que evaluaron los efectos de los incendios sobre micorrizas y líquenes en 40 años de investigación. Esto resalta el poco interés en el tema sobre los impactos de los incendios en la biodiversidad y la dinámica en la resiliencia de los grupos bióticos (Koltz *et al.*, 2018). En particular, acentúa la brecha de información que existe sobre los efectos de los incendios en las interacciones bióticas como la competencia, facilitación, herbivoría, polinización, dispersión de semillas por animales frugívoros y granívoros, interacción entre hongos y plantas y su funcionamiento en los ecosistemas (Pausas y Parr, 2018).

En general, los estudios de incendios en México se han centrado en otros aspectos. Específicamente se ha desarrollado información relacionada con la evaluación y caracterización de los combustibles forestales y a la estimación del comportamiento del fuego (Flores-Garnica, 2021), el humo generado por los incendios forestales en el centro de México (Jardel-Pelaez *et al.*, 2009), la modelación de combustibles forestales mediante sistemas de información geográfica (Flores-Garnica y Omi, 2003), así como el efecto del fuego en la reducción de la diversidad de especies arbóreas y su papel en las características morfológicas, fenológicas de árboles y bosques (Rodríguez-Trejo y Myers, 2010). Por lo tanto, la inclusión

de nuevos enfoques ecológicos como fauna, suelo, insectos, hidrología y las interacciones bióticas permitirá generar una perspectiva distinta en la ecología del fuego.

Reflexiones finales

Se prevé que el calentamiento climático provocará más incendios en muchas regiones del mundo siendo cada vez más frecuentes y extremos poniendo en riesgo la vida, las economías y los ecosistemas (Jones *et al.*, 2020). Por lo anterior, entender los regímenes de incendios es prioritario para la mitigación de situaciones de riesgo en zonas propensas a estos a corto y mediano y largo plazo. Con esto se avanzará hacia un mejor entendimiento entre el fuego y las sociedades humanas reconsiderándolo como un agente ecológico natural que es fundamental en muchos ecosistemas y no una perturbación destructiva. Por lo tanto, la observación de incendios por teledetección, la caracterización de patrones temporales y espaciales y la simulación del riesgo de incendios forestales permitirá una alerta temprana para la prevención previa al incendio. Se sugiere elaborar un marco de referencia de los incendios y el cambio climático que incluya un diagnóstico de aquellas regiones que requieren de una respuesta inmediata.

Conclusiones

1. En total se encontraron 118 artículos relacionados con incendios forestales en el periodo de 1980 a 2020 en México. 2. Del total de publicaciones, el 20.3% estuvieron vinculadas al estudio la distribución del tamaño de los incendios forestales. 3. Las variables ecológicas registradas en mayor frecuencia fueron la diversidad de especies y la regeneración de la vegetación. 4, Los bosques templados fueron el bioma donde se han realizado la mayoría de los estudios sobre incendios forestales a nivel nacional. 5. Se encontró un vacío en la investigación científica relacionada con las interacciones bióticas y los incendios forestales.

Literatura citada

- Attri, V., R. Dhiman. y S. Sarvade. 2020. A review on status, implications and recent trends of forest fire management. Archives of Agriculture and Environmental Science, 5(4): 592-602.
- Bautista, V. F. S. 2015. Emisiones totales anuales de CO₂ por incendios forestales en el periodo 1999 2010 en México y estimación de índice de riesgo. [Spanish.]
- Cadena-Zamudio, D.A., B. Ruiz-Guerra., M.L. Castillo., J.G. Flores-Garnica. y R. Guevara. 2022. Prevalence of stochastic processes in the fire-mediated reassemble of the soil arthropod community of a pine forest. Acta Oecologica, (115):103834.
- Certini, G., D. Moya., M. E. Lucas-Borja y G. Mastrolonardo. 2021. The impact of fire on soil dwelling biota: A review. Forest Ecology and Management, 488, 118989.
- Challenger, A., y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. In CONABIO (Ed.), Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio (vol. II, pp. 37–73). Mexico: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Clarke, P.J., M.J. Lawes., B.P. Murphy., J. Russell-Smith., C.E. Nano., R. Bradstock. et al. 2015. A synthesis of postfire recovery traits of woody plants in Australian ecosystems. Science of the Total Environment, 534: 31-42.
- Cruz-Espíndola, M. Á., T. D. A. Rodríguez., M.A. Villanueva. y P. J. Santillán. 2017. Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo. Revista mexicana de ciencias forestales, 8(41): 139-163.

- Cruz-López, M. I., D. L. D. L., Manzo., G. R. Aguirre., E. Chuvieco. y J. A. Equihua. 2019. Spatial distribution of forest fire emissions: a case study in three Mexican ecoregions. *Remote Sensing*, 11(10): 1185.
- Cui, W. y A. H. Perera. 2008. What do we know about forest fire size distribution, and why is this knowledge useful for forest management? *International Journal of Wildland Fire*, 17(2): 234-244.
- Domínguez, R. M. y D. A. Rodríguez-Trejo. 2008. Los Incendios Forestales en México y América Central¹. In *Memorias del Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra Incendios Forestales: Una visión global*, Albany, California.
- Fidelis, A. 2020. Is fire always the “bad guy”? *Flora*, 268: 151611.
- Flores Rodríguez, A. G., J. G. Flores Garnica., D. R. González Eguiarte., A. Gallegos Rodríguez., P. Zarazúa Villaseñor., S. Mena Munguía. et al. 2021. Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65).
- Flores-Garnica, J. G. 2021. Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, (Especial-1).
- Flores-Garnica, J.G. 2009. Impacto ambiental de incendios forestales. 1era edición, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Mundi Prensa S. A de C.V. México, D.F. [In Spanish.]
- Flores-Garnica, J.G. y P. Omi. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia*, 37: 65-72.

- Gen-Suo, J. I. A. 2020. New understanding of land-climate interactions from IPCC special report on climate change and land. *Advances in Climate Change Research* 16(1): 9.
- Jardel-Pelaez, E., E. Alvarado., J. E. Morfín-Ríos., F. Castillo-Navarro. y J.G. Flores. 2009. Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. p. 73-00 *In*: J.G. Flores-Garnica (coordinador). Impacto ambiental de incendios forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Mundi Prensa. México, D.F., México. [In Spanish.]
- Jiménez, A. R. E. y L. G. Mendoza. 2019. Incendios forestales y el fenómeno de sequía: el caso de San Luis Potosí, México. *Tlalli. Revista de Investigación en Geografía*, (1), 13-24.
- Jones, M. W., A. Smith., R. Betts., J. G. Canadell., I. C. Prentice. y C. Le Quéré. 2020. Climate change increases the risk of wildfires. *ScienceBrief Review*, 116, 117.
- Juárez-Orozco, S. M., C. Siebe. y D. Fernández- Fernández. 2017. Causes and effects of forest fires in tropical rainforests: a bibliometric approach. *Tropical Conservation Science*, 10, 1940082917737207.
- Koltz, A. M., L. A. Burkle., Y. Pressler., J. E. Dell., M. C. Vidal., L. A. Richards. et al. 2018. Global change and the importance of fire for the ecology and evolution of insects. *Current Opinion in Insect Science*, 29: 110-116.
- Pausas, J.G. y C.L. Parr. 2018. Towards an understanding of the evolutionary role of fire in animals. *Evolution Ecology*, 32: 113-125.
- Pompa-García, M. y M. Sensibaugh. 2014. Forest fires occurrences and their teleconnection with ENSO phenomena. *CienciaUAT*, 8(2): 6-10.

- Pressler, Y., J. C. Moore. y & M. F. Cotrufo. 2019. Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. *Oikos*, 128(3): 309-327.
- R Core Team. 2024. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Viena.
- Randrianarison, A., R. Schlaepfer., R. Mills., D. Hervé., S. Razanaka., V. Rakotoarimanana. et al. 2015. Linking historical land use to present vegetation and soil characteristics under slash-and-burn cultivation in Madagascar. *Applied Vegetation Science*, 19: 40–52.
- Robinne, F. N., J. Burns., P. Kant., M. Flannigan., M. Kleine., B. de Groot. et al. 2018. Global fire challenges in a warming world. *IUFRO*.
- Rodríguez-Trejo, D. A., P. A. Martínez-Hernández., H. Ortiz-Contla., M. R. Chavarría-Sánchez. Y F. Hernández-Santiago. 2011. The present status of fire ecology, traditional use of fire, and fire management in Mexico and Central America. *Fire Ecology*, 7(1): 40-56.
- Rodríguez-Trejo, D.A. y R.L. Myers. 2010. Using characteristics of oaks as guides to restoring fire regimes in Mexican pine-oak and oak forests. *Ecological Restoration*, 28(3): 304–323.
- San-Miguel-Ayanz, J., T. Durrant., R. Boca., G. Libertà., A. Branco., D. de Rigo. et al. 2018. *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa*.
- Santos, S. M. B. D., A. Bento-Gonçalves. y A. Vieira. 2021. Research on Wildfires and Remote Sensing in the Last Three Decades: A Bibliometric Analysis. *Forests*, 12(5): 604.
- Scott, A. C. 2018. *Burning planet: the story of fire through time*. Oxford University Press.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). [consultado en enero 2022]: Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx>

Vasconcelos, R. N., A. T. C. Lima., C. A. Lentini., G. V. Miranda., L. F. Mendonça., M. A. Silva. et al. 2020. Oil spill detection and mapping: A 50-year bibliometric analysis. Remote Sensing, 12(21), 3647.

Zhang, X., R.C. Estoque., H. Xie., Y. Murayama. y M. Ranagalage. 2019. Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. PLoS ONE, 14, e0210707.

USO DE BAGAZO DE CAFETERÍA Y PERCOLADORA COMO SUSTRATO PARA EL CRECIMIENTO DE *Pleurotus* spp.

Tania Carina Hernández Flores^{424*}, Minerva Rosas Morales⁴²⁴ y Ada María Ríos Cortés⁴²⁴

Resumen

El bagazo de café es un subproducto común en hogares y cafeterías; este residuo presenta un desafío ambiental significativo debido a su alta producción y gestión inadecuada. En percoladoras caseras, cada taza de café produce alrededor de 10 g de residuo, generando una cantidad considerable de éste al año por cada hogar. En cafeterías, el volumen diario es aún mayor. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la viabilidad del uso del bagazo de café generado a partir de cafeterías y percoladora casera como sustrato nutritivo para el cultivo de hongos comestibles, específicamente *Pleurotus ostreatus*, presentando una solución ecológica y de valorización. Se utilizaron frascos de vidrio con 30 g de bagazo de cafetería o percoladora según el caso; estos se humectaron con 30 mL de agua. Los frascos preparados se esterilizaron en autoclave durante 1 h. Se emplearon cuatro cepas de hongos pertenecientes al género *Pleurotus*: *P. djamor* ("ostra flamenco") es un hongo de color rosa característico, *P. citrinopileatus* ("ostra dorada") se distingue por su color amarillo y *P. ostreatus* ("hongo ostra") presenta variaciones de color blanco y gris; este es rico en nutrientes, con un contenido que oscila entre 57 y el 61% de carbohidratos, 26% de proteínas y 11.9% de fibra (peso seco). La inoculación de los bagazos se realizó con micelio del hongo crecido previamente en placas de PDA utilizando cortes de 1 cm; éstos se incubaron a 30°C durante 20 días, monitoreándolos diariamente. Los resultados del estudio indican variaciones en el crecimiento según el tipo de bagazo utilizado. En el caso del bagazo de percoladora, las cepas amarilla, gris y blanca mostraron un rápido crecimiento a partir del tercer día. Sin embargo, en el bagazo de cafetería, el crecimiento fue más lento, siendo visible a los cinco días; la cepa rosa mostró un crecimiento exclusivamente en este sustrato. La cepa gris mostró los mejores resultados en ambos tipos de bagazo, invadiendo completamente los frascos a los 13 días.

Palabras clave: hongos comestibles, residuos de café, bagazo

⁴²⁴ Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Unidad Tlaxcala *Autor de correspondencia: thernandezf2300@alumno.ipn.mx

Introducción

El bagazo de café es un subproducto común en hogares y cafeterías que presenta un desafío ambiental significativo debido a su alta producción y gestión inadecuada (Mantilla, 2019). De tal manera que, las cafeterías comerciales han tenido que buscar alguna alternativa para desechar los bagazos que produce al preparar la bebida de café; por otro lado, las percoladoras caseras tienen el mismo problema, ya que cada taza de café produce alrededor de 10 g de bagazo. En cafeterías, el volumen diario es aún mayor, por lo que se producen grandes cantidades al año (Fernández *et al.*, 2020). La acumulación de residuos, como los provenientes del café, no sólo plantea problemas de disposición final, sino que también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes (Neira, 2020). Estos desechos tienen potencial para volverse subproductos con un valor agregado, el cual se les puede dar mediante el empleo de hongos capaces de degradar estos desechos; la mejor opción son especies de hongos del género *Pleurotus*, que pueden crecer en maderas podridas y bagazos de diversas materias primas (Mendoza, 2020).

La biotransformación de residuos mediante el cultivo de hongos se presenta como un método ecológico y de valorización para aprovechar estos desechos y transformarlos en alimentos nutritivos, como las setas (García, 2008). Este enfoque no sólo tiene el potencial de generar productos comercializables, sino también de reducir el impacto ambiental asociado con la gestión de residuos sólidos. El trabajo se centró en el uso de bagazo proveniente de cafetería y percoladora casera como soporte para la proliferación de hongos comestibles, con énfasis especial en diversas especies de *Pleurotus*.

Los hongos del género *Pleurotus* tienen la capacidad para degradar una variedad de sustratos orgánicos, convirtiéndolos en biomasa fúngica comestible, rica en nutrientes (Salmones, 2017). Esta capacidad transformadora puede aprovecharse para la obtención de alimentos nutritivos a partir de residuos agrícolas, al tiempo que se reduce la carga ambiental asociada con la gestión de desechos. Además, el cultivo de *Pleurotus* spp. puede generar subproductos útiles, como enzimas, polisacáridos y compuestos bioactivos, que tienen aplicaciones potenciales en la industria alimentaria y farmacéutica.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN) en Tlaxcala, México. El sitio se ubica en las coordenadas 19.28145230672618 y -98.36560632562845” a una altitud de 2,240 m.

Obtención de la materia prima

La materia prima se adquirió mediante dos modalidades: recolección de bagazo de café en establecimientos de cafeterías y percoladora de casa, en ambos casos después de la infusión del café molido.

Características del bagazo de café

El bagazo de café, un residuo orgánico compuesto por el grano procesado y utilizado para la extracción de café puede emitir olores desagradables si no se maneja adecuadamente por períodos prolongados. Estos olores provienen de la descomposición de numerosos compuestos, convirtiéndose en un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos y plagas (González, 2023).

El residuo final, resultante de la torrefacción del grano de café suele incinerarse para la obtención de energía para algunas industrias o dispuesto en rellenos sanitarios y empleado minoritariamente como fertilizante orgánico y enmienda de suelos, teniendo los siguientes usos 13% en calderas de industrias. 27% en incineración indefinida y 60% en rellenos sanitarios.

La composición química del bagazo de café puede variar de acuerdo a la fuente del café y el método de preparación. Además, muchos de estos componentes pueden estar presentes en concentraciones bajas (Cuadro 1).

Cuadro 1.Composición química del bagazo de café (Mendoza, 2020).

Componente	Concentración (%)
Agua	92.20
Materia seca	7.80
Cenizas	9.50
Grasas	1.00
Proteínas brutas	39.00
Fibra	7.50
Fibra cruda	1.40
Nitrógeno	2.40
Calcio	33 mg/100 g
Fósforo	1.34 mg/100 g
Potasio	37.93 mg/100 g
Hierro	15.20 mg/100 g

Generalidades de los hongos

Los hongos son organismos eucariotas, producen esporas, son aerobios, no poseen clorofila, son heterótrofos, su nutrición se da por absorción a partir de la descomposición que causan y pueden reproducirse sexual o asexualmente. Constituyen uno de los grupos de organismos más importantes para la vida del hombre, ya que son los responsables de la mayor parte de descomposición de la materia orgánica, aumentando su disponibilidad en el suelo. Pueden ser comestibles, venenosos o psicotrópicos; algunos son patógenos y otros producen sustancias benéficas o intervienen en procesos de elaboración de algunos comestibles (Silva, 2010).

Con respecto al valor nutritivo, los hongos poseen entre 19 y 35% de proteína en base seca, con aminoácidos esenciales como: lisina, triptófano y leucina; tienen poco contenido de grasas, vitaminas y minerales, y entre 4 y 20% de fibra (Ovando, 2019). Su contenido de carbohidratos oscila entre 51 y 88% del peso fresco; este contenido es el que hace de los hongos una materia prima bastante llamativa para la obtención de suplementos alimenticios, medicamentos y otro tipo de productos útiles para el hombre (Moreno, 2019).

Generalidades del género *Pleurotus*

Se emplearon cuatro cepas de hongos pertenecientes al género *Pleurotus*.

Pleurotus djamor

La seta rosa es una especie de origen tropical y subtropical que crece silvestre en países de Suramérica y del sudeste de Asia. Este hongo crece en su hábitat natural en árboles muertos o dañados de madera dura como las palmeras, árboles de caucho y bambú. Desde hace unos años se viene cultivando en sustratos similares a los del resto de especies del género *Pleurotus*. Debido a su origen tropical, *P. djamor* se caracteriza por su color rosa que disminuye en intensidad a medida que madura y se va tornando a un color más asalmonado. Su forma es similar a la de la ostra común, aunque más pequeña, con una morfología más rizada (Salmones, 2017).

Pleurotus cornucopiae

Este hongo, conocido como "ostra dorada". La seta amarilla es originaria de zonas subtropicales de China y del sudeste de Japón. Su nombre deriva de su parecido con la "cornucopia" o cuerno de la abundancia, Su forma es de trompeta o cuerno, con un sombrero en forma de embudo de color amarillo intenso que contrasta con el blanco de sus láminas, que se prolongan sobre el pie. En su hábitat natural crece sobre troncos caídos de árboles caducifolios como el roble, el haya o el olmo. Desde hace años se cultiva en sacos de cultivo preparados con paja o mezclas de salvados y diferentes maderas. Su época de cultivo es muy larga, lo que permite que se pueda disponer desde principios de la primavera hasta finales del otoño (Rozsa *et al.*, 2017).

Pleurotus ostreatus

También conocido como seta de ostra, es un hongo comestible; es una especie saprofita que crece naturalmente en la superficie de tocones y troncos de maderas blandas como el chopo, la haya o el sauce. Se caracteriza por tener un sabor y olor fúngicos y agradables, y una carne consistente y tenaz de color blanco. Su cultivo se puede realizar mediante paja y otros sustratos ricos en celulosa y azúcares (Rojas, 2016); presenta variaciones de color en blanco y gris. Este hongo es rico en nutrientes, con un contenido que oscila entre 57 y 61% de

carbohidratos, 26% de proteínas y 11.9% de fibra (peso seco); además, es conocido por su capacidad para crecer en sustratos con base en residuos orgánicos, como paja, aserrín y otros materiales agrícolas, lo cual hace que su cultivo sea una opción sostenible y una forma de utilizar residuos (Lechner y Cinto, 2018).

La importancia de *Pleurotus* se extiende desde su valor nutricional y culinario hasta su contribución al ciclo de nutrientes en la naturaleza y su potencial en la biorremediación (Sifuentes, 2014). Estos hongos son un ejemplo de cómo los organismos pueden desempeñar roles benéficos en la ecología y la alimentación humana. Las setas *Pleurotus* son una fuente valiosa de nutrientes, incluyendo proteínas, fibras, vitaminas y minerales. Son bajas en calorías y grasas, y su consumo puede complementar una dieta equilibrada.

Cuadro 2. Valores nutrimentales de *Pleurotus* (Espinosa, 2018).

Componente	Cantidad (g)
Proteínas	1.8
Lípidos	0.3
cidos grasos saturados	0.07
Omega 3	0.133
Omega 6	0.032
Colesterol	0.0
Hidratos de carbono	4.0
Fibra	2.5
Agua	91.4
Calcio	9.0
Hierro	1.0
Yodo	3.0
Magnesio	14
Zinc	0.1
Sodio	5.0
Potasio	470
Fósforo	115

Componente	Cantidad (g)
Selenio	9.0
Tiamina	0.1
Riboflavina	0.41
Niacina	4.6
Vitamina B6	0.1
ácido fólico	23
Vitamina B12	0.0
Vitamina C	4.0
Vitamina A	0.0
Vitamina D	0.0
Vitamina E	0.12

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño completamente al azar; la unidad experimental consistió en la utilización de frascos de vidrio con 30 g de bagazo de cafetería o percoladora según el caso. Éstos se humectaron con 30 mL de agua. Los frascos preparados se esterilizaron en autoclave durante 1 h.

Para el experimento se emplearon cuatro cepas diferentes, todas pertenecientes al género *Pleurotus*, la inoculación de los bagazos se realizó mediante cortes de 1 cm realizados con bisturí, utilizando fragmentos de micelio de hongos previamente cultivados en placas de agar papa dextrosa (PDA). Estos fragmentos se transfirieron con pinzas a los frascos esterilizados, se incubaron a 30°C durante 20 días. Durante este tiempo, los frascos se monitorearon diariamente para observar el crecimiento y desarrollo del micelio, permitiendo así evaluar de manera efectiva el crecimiento de las diferentes cepas de *Pleurotus* en el sustrato de bagazo de café. La combinación de un diseño experimental adecuado, junto con la esterilización y el control de las condiciones de incubación, aseguró un entorno propicio para el desarrollo del micelio en el sustrato.

Resultados y Discusión

El uso de bagazo de café como sustrato para la proliferación del micelio de *P. ostreatus* mostró ser una alternativa viable y ambientalmente beneficiosa. El experimento controlado reveló que el bagazo de café, tanto de cafeterías como de percoladoras domésticas, permite un crecimiento eficaz del micelio, destacando la cepa gris por su rápido y robusto desarrollo en aproximadamente 13 días.

Desarrollo del micelio en bagazo

Diariamente se registró la proliferación del hongo en los sustratos de bagazo y el testigo (trigo) para tener una comparación, como se muestra en el Cuadro 3, en donde se hace la comparación de desarrollo del micelio de *Pleurotus* spp. durante 3, 5, 13 y 20 días. Desde una perspectiva ambiental, se reutilizan residuos orgánicos, se disminuye la contaminación y se fomenta una economía circular, convirtiendo desechos en recursos valiosos.

Cuadro 3. Registro de crecimiento de *Pleurotus* spp.

Sustrato	Cepa	3 días	5 días	15 días	20 días
B2	Rosa		x	xx	xx
B2	Gris	x	xx	xx	xxx
B2	Amarilla	x	xx	xx	xx
B2	Blanca	x	xx	xx	xxx
B1	Rosa		x	x	xx
B1	Gris		x	x	xxx
B1	Amarilla		x	x	xx
B1	Blanca		x	x	xx
Testigo	Rosa	x	xx	xxx	xxx
Testigo	Gris	x	xx	xxx	xxx
Testigo	Amarilla	x	xx	xxx	xxx
Testigo	Blanca	x	xx	xxx	xxx

X: 1% - 10%, XX: 20% - 50%, XXX: 60% - 100%. B1: Cafetería, B2: Percoladora.



Figura 1. Crecimiento del micelio en bagazo de café generado a partir de percoladora y cafetería.



36

Figura 2. Comparación de desarrollo del micelio a los 20 días.

Conclusiones

1. El uso de bagazo de café como sustrato para el desarrollo del micelio de *P. ostreatus* ha mostrado ser una alternativa viable y beneficiosa tanto económica como ambientalmente. La cepa gris mostro un rápido y robusto desarrollo en aproximadamente 13 días bajo condiciones óptimas.

Literatura Citada

- Espinosa, P. E. 2018. Obtención de una harina funcional rica en proteínas de buena calidad biológica y de alto valor nutricional a base de cereales y leguminosas mediante fermentación con *Pleurotus ostreatus*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. San Nicolás de los Garza, N.L., México. 98 p.
- Fernández, C. Y., K. D. Sotto R. y L. A. Vargas M. 2020. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Rev. P+L 15(1):93-110.
- García, O. N. 2008. Producción de setas comestibles y enzimas lacasas por fermentación en estado sólido de la pulpa de café con *Pleurotus* spp. Tesis de doctorado. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.
- González, V. B. M., M. Rosas M., D. Castillo H. y A. M. Ríos C. 2023. Aprovechamiento del bagazo de café, una alternativa para enriquecer alimentos a partir de residuos. RD-ICUAP 9(26):136-146.
- Lechner, B. E. e I. E. Cinto (eds.). 2018. Hongos, Guía fácil para la producción de Gírgolas (*Pleurotus*). MiBo Ediciones. Buenos Aires, Argentina. 82 p.

- Mantilla, D. J. 2019. Optimización del proceso conocido como "beneficio húmedo y seco" en la industria de café. Caso: finca "Villa Ilma María" en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Monografía para optar por el título de Especialista en Gerencia de Empresas. Fundación Universidad de América. Facultad de Educación Permanente y Avanzada Bogotá, Colombia. 68 p.
- Mendoza, S. H. E. 2020. Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Lima, Perú. 96 p.
- Moreno, M. C. 2019. Valoración de la velocidad de crecimiento y productividad del cultivo de *Pleurotus ostreatus*, en tres sustratos generados a partir de residuos agroindustriales en el municipio de Supía - Caldas. Trabajo de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías. Medellín, Colombia. 112 p.
- Neira, C. R. M. A. 2020. Emisión y fijación de gases de efecto invernadero en el proceso de producción y post producción de café en parcelas agroforestales, en la Coipa, San Ignacio Cajamarca. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias. Jaén, Perú. 118 p.
- Ovando, R. G. J., G. Palacios P., A. Caballero R., S. G. Zea C., P. I. Meza G. y P. E. Álvarez G. 2019. Evaluación proximal y sensorial de pasta fettuccinie con sustitución parcial con harina de setas *Pleurotus ostreatus*. Espacio I+ D 8(19):113-127.
- Rojas, V. J. J. .2016. Producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo". Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias. Lambayeque, Perú. 48 p.

- Rózsa, M., M. Apahidean and T.-M. Gocan. 2017. Study on golden oyster mushroom mycelium *Pleurotus citrinopileatus* Singer. *Lucrări Științifice Seria Horticultură* 60(2):111-116.
- Salmones, D. 2017. *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Rev. Mex. Micol.* 46:73-85.
- Sifuentes, V. E. M. 2014. Producción de inóculo de *Pleurotus ostreatus* para uso de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. Lima, Perú. 69 p.
- Silva, S. R., C. Fritz F., J. Cubillos A. y M. Díaz C. 2010. Manual para la producción de hongos comestibles (Shiitake). Proyecto CONAMA-FPA RM-027-2010. Santiago, Chile. 38 p.

PERCEPCIÓN DE CALIDAD DEL AGUA Y CONDICIONES AMBIENTALES EN ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Anastacio Nanco Ortiz⁴²⁵, Octavio Ruíz Rosado^{425*} y Juan Manuel Padilla Flores⁴²⁶

Resumen

Con el propósito de conocer la percepción de la calidad del agua en el consumo doméstico, en la agricultura, la ganadería y el entorno con las agroindustrias, se aplicó un cuestionario, el cual se difundió a través de las redes sociales, con la participación de 65 estudiantes de 5° cuatrimestre, los cuales cursaron la materia de Uso y Manejo del Agua. El trabajo de investigación se realizó en la región centro de Veracruz ubicado en las Altas Montañas, comprendiendo 31 municipios y 116 comunidades, con un total de 154 participantes, que dieron respuesta al formulario. Los resultados indican que 52.6% consume agua de buena calidad, el 17.5% de excelente calidad, el 26% calidad regular y solo el 3.9% de mala calidad. Para el riego en la agricultura el 55.9% señala que es buena, el 20% regular, el 16.6% excelente, el 5.5% desconoce su calidad y solo 2.1% la consideran mala calidad. En cuanto a la percepción de la calidad de agua que toma el ganado, el 58% reportan que es de buena calidad, 19.1% de excelente calidad, el 6.1% desconoce la calidad y solo el 0.9% considera que no es de buena calidad para sus animales. El olor en el ambiente en el entorno de las agroindustrias se percibe como un olor intolerante en granjas de cerdos, aves y ovinos, siendo tolerantes los ingenios y beneficios de café. Se concluye que la calidad de agua para actividades domésticas es de buena a regular, sin embargo, los olores de las actividades agroindustriales y de la ganadería son desagradables, llegando a ser intolerantes y estos son causados por las grajas de cerdos, aves, así como ovinos y bovinos.

Palabras clave: uso y manejo del agua, actividades agroindustriales, formularios

Introducción

En estudios que reporta Clara y Mario (2005), en países como Honduras la oferta de agua es menor a la demanda, y la disponibilidad está en su límite máximo ya que el recurso no se está utilizando de manera sostenible, se señala que la calidad del agua se ve afectada por la

⁴²⁵ Colegio de Postgraduados campos Veracruz, *Autor de correspondencia: octavior@colpos.mx

⁴²⁶ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

turbidez y sedimentación en la parte física, y por contaminación biológica con coliformes fecales. En la subcuenca del Río Copán, Honduras, se han realizado estudios de análisis socio ambiental de la calidad del agua para consumo humano, así como en la determinación en la percepción local del uso de tecnologías apropiadas para desinfección de agua, con análisis de las principales fuentes de consumo humano mediante parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua (Clara y Mario, 2005).

La percepción de la calidad ambiental de los caficultores del municipio de El Águila (Valle del Cauca, Colombia) se relaciona con los cambios en los procesos productivos del café y la identidad cultural. La tecnificación de los cultivos, si bien mejoró la productividad ante las plagas y enfermedades de los cultivos, deterioró el medio ambiente, aumentó la deforestación, disminuyó la fauna silvestre y dañó el suelo. Además, se observó una disminución de la participación de niños y jóvenes en las labores del campo; así como el deterioro de la calidad de vida de los caficultores. Esta situación, aunada a la idea de una mejor vida lejos del campo, incentivó la migración de los jóvenes a la ciudad (Osorio y Pombo, 2019).

La percepción y opinión de los usuarios del servicio de agua potable en la ciudad de El Coca, evaluando; accesibilidad, calidad, frecuencia del servicio y su nivel de satisfacción, los estudios de opinión revelan suficientes datos para evaluar calidad y servicio de agua. En general, se muestra que la calidad y servicio de agua potable es calificado como "Bueno" por los usuarios. Además, se evidencia inconformidad de la población, señalando la mala administración de las autoridades y la falta de mantenimiento a las plantas de tratamiento entre las principales (Cuenca, 2021).

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en la región centro de Veracruz ubicado en la parte de las Altas Montañas, con colaboradores de 31 municipios y 116 comunidades, siendo un total de 154 participantes. El material para la colecta de la información consistió en la elaboración de un formulario con preguntas dirigidas de acuerdo al tipo de usuarios de agua, para su aplicación se utilizaron las tecnologías de la información, difundiendo formulario a través de

las redes sociales tales como whatsapp®, con la participación de 65 estudiantes de 5° cuatrimestre que cursaron la materia de Uso y Manejo del Agua, el cual compartieron vía redes sociales a familiares y productores, dirigidos para para cada sector de usuarios, tomando en cuenta lo que señala Dworkin (2012), quien sugiere de 5 a 50 participantes para el caso de investigaciones cualitativas.

Diseño y unidad experimental

Se realizaron invitaciones a través de los medios digitales de las redes sociales. Los instrumentos metodológicos fueron formularios semiestructuradas y cuestionarios aplicados a distancia. Estos últimos se basaron en un guion integrado por preguntas relacionadas con la condición, el monitoreo y la importancia de la calidad del agua.

Muestreos

El muestreo consistió por medio de cadena de referencia o bola de nieve. Se utiliza para ciertos fenómenos, la cual inicia con un participante que puede llevar a otros, a todos los participantes se les formula la misma pregunta, utilizando las redes sociales como cadena de referencia a partir de uno o dos sujetos nada más, no se limita de forma espacialidad geográfica, no se ajusta tiempo y grupos o informantes potenciales (Mendieta-Izquierdo, 2015). El método de investigación se basa en el principio del método cualitativo de la calidad de la información obtenida de los participantes se aplicó el formulario de muestreo de voluntarios que señala por Mendieta-Izquierdo (2015), cuya técnica es empleada cuando el investigador tiene la certeza de que enfrentará a personas que tienen conocimiento y experiencias sobre el tema de la investigación.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron procesados con la paquetería de Microsoft Excel, para hacer un análisis exploratorios y descriptivos. Con el apoyo del software de Statistica 7.0, se hizo una correlación de variables de acuerdo el número de años de estudios o escolaridad. El análisis de datos se llevó a cabo de la siguiente manera: para percepción del agua que consumen de manera doméstica, por el tipo y calidad de agua para los cultivos agrícolas, la percepción de la calidad del agua que le proporcionan a los animales domésticos, así como las aguas que

utilizan y arrojan las agroindustrias locales. Por lo tanto, se analizaron con similitud al trabajo que realiza Granillo-Suárez *et al.* (2023).

Análisis estadístico

El análisis descriptivo de la información se realizó por medio de Excel® y con el programa de Statistica 7.0 para el análisis estadístico en la correlación de variables del número de años y las respuestas sobre la percepción de la calidad del agua de uso doméstico, agrícolas, ganadero y el uso agroindustrial, así como el origen y el manejo después de su uso en el ámbito del consumo doméstico.

Resultados y discusión

Se tuvo una participación del 45.8% con grado de nivel superior, el 39.2% medio superior, el 12.4% de nivel básico y solo el 2.6% de nivel postgrado, los porcentajes tienen relación con el perfil actividades productivas o domésticas, de los participantes el cual fue de 62.8% con alguna formación escolar, el 16.9% en actividad del hogar, el 10.1% en la producción agrícola el resto 4.7% dedicado a la ganadería, y 5.4% actividad del campo como jornaleros.

Estadísticamente se reporta una diferencia significativa ($p=0.0110$), mostrando que los dedicados a las actividades del campo y a la ganadería tienen de 13 a 15 años de estudios, es decir con preparatoria y carrera profesional (Figura 1).

En las distintas comunidades el 32% de los usuarios obtienen su agua de pozos profundos distribuida, el 31.4%, el 25.5% de arroyos o nacimientos de ríos locales distribuidos por el sistema de agua potable y solo el 11.1% de pozo artesanal de su domicilio. El 52.6% señala que el agua que consume es de buena calidad, el 17.5% de excelente calidad, el 26% regular y solo el 3.9% de regular y mala calidad. Con relación a los años de estudios y la percepción de la calidad del agua no se muestra una diferencia estadística ($p=0.9067$), sin embargo, se muestra que tanto los que hay cursado estudios de nivel primaria a postgrado identifican una mala calidad del agua (Figura 2). De los últimos 10 años a la actualidad el 29.6% identifica el agua con un cambio de color, el 28.2% con sensación de minerales como carbonatos y sales,

el 6.3% con mal olor, el 0.7% sabor a descomposición, sin embargo, el 35.2% indican otros cambios con dificultad en describir la condición de la calidad del agua

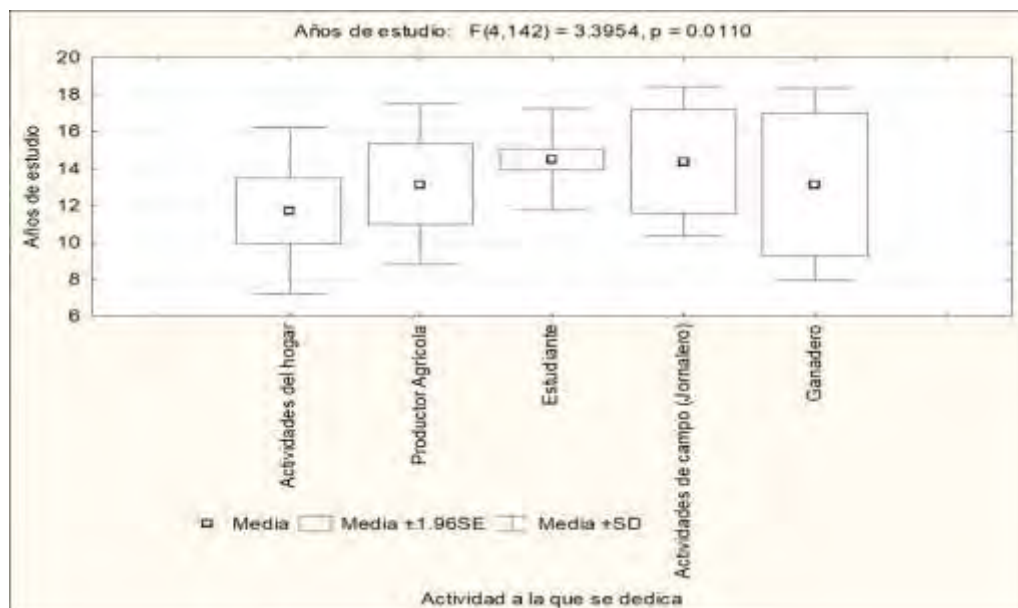


Figura 1: Relación de años de estudios y el perfil de los participantes.

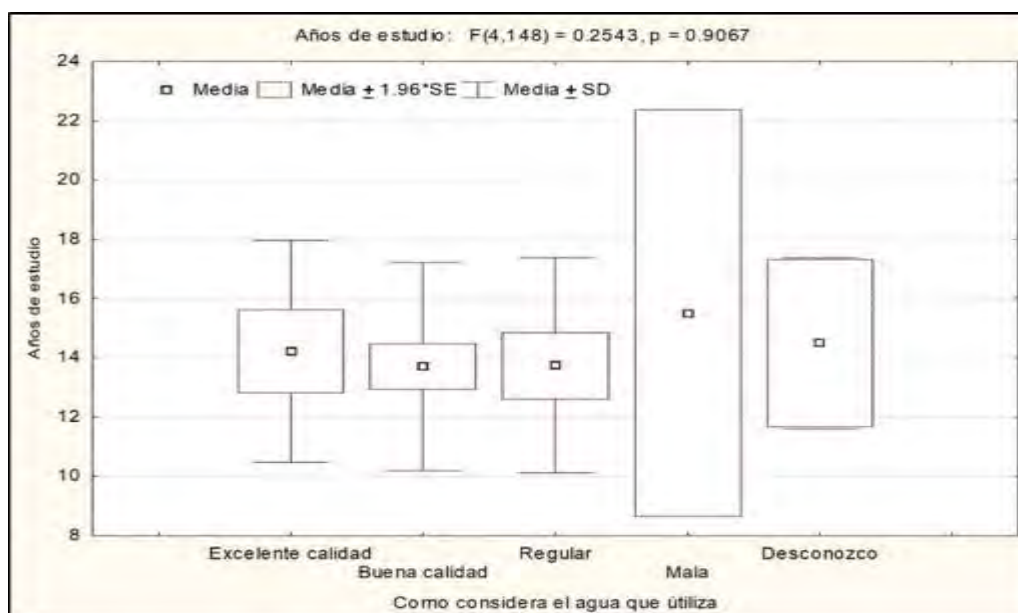


Figura 2: Relación de años de estudio con la precepción del agua que consume en el hogar.

El 47.1% de los usuarios domésticos expulsan el agua que utilizan al drenaje, del cual el 44.2% no saben que tratamiento hace las autoridades locales, el 44.4% arroja el agua al patio o a la calle, el 8.5% desprenden el agua al canal y a los ríos, por lo tanto el 80% no saben si se realizan tratamiento o manejo del agua, los resultados tiene relación con lo que perciben comunidades sobre la contaminación del agua en el ámbito de consumo humano y actividades domésticas en la zona de estudio, de Davila y Cuellar (2021), en su estudio comunitaria sobre el agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México, el cual los habitantes consideran que el agua no es de buena calidad, tanto para consumo humano como para realizar diversas actividades y/o usos domésticos. De acuerdo con la pregunta que se les comparte a los participantes en saber que tratamiento realiza la autoridad local muestran una diferencia estadística de $p=0.0016$ de acuerdo los años de estudio y el conocimiento de los tratamientos de las aguas residuales reportado como una mayor acción el uso de plantas de tratamientos (Figura 3).

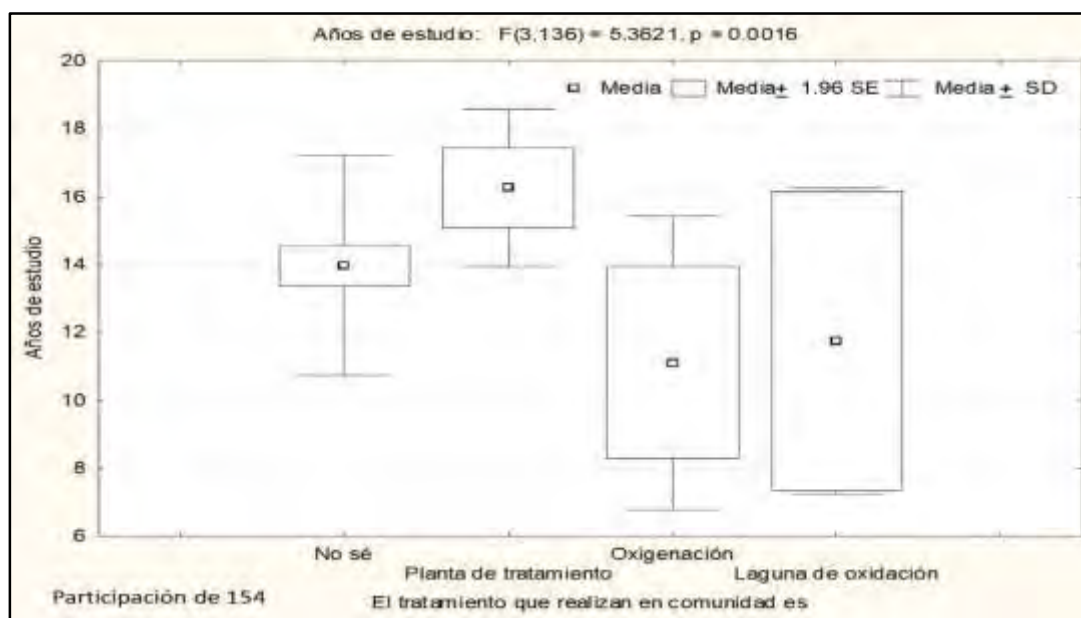


Figura 3: Actividades de tratamiento de agua en comunidad.

En el ámbito de la agricultura el 47.9% realizan riegos en cultivos de caña de azúcar, el 32.6% en otros cultivos, el 10.4% en cultivos de limón persa. El 36.3% riega sus cultivos utilizando pozo profundo, el 25.3% de la red de agua potable, el 22.6% de ríos, el 6.8% de canal de

aguas residuales, algunos de arroyo, de pozo artesanal, de arroyos o nacimientos, así como de tanques de almacenamientos y de temporal. Desde su perspectiva de la calidad del agua que utilizan para los riegos en los cultivos agrícolas el 55.9% señala que es buena, el 20% Regular, el 16.6% excelente, el 5.5% desconoce su calidad y solo 2.1% la consideran mala calidad.

La percepción de la calidad del agua en las actividades agrícolas de los 154 participantes, relación con los años de estudios no reportan diferencia estadística ($p=0.3166$), sin embargo, se identifica una mayor media promedio señalando la mala calidad, con respecto así como de desconocer las condiciones del agua local (Figura 4).

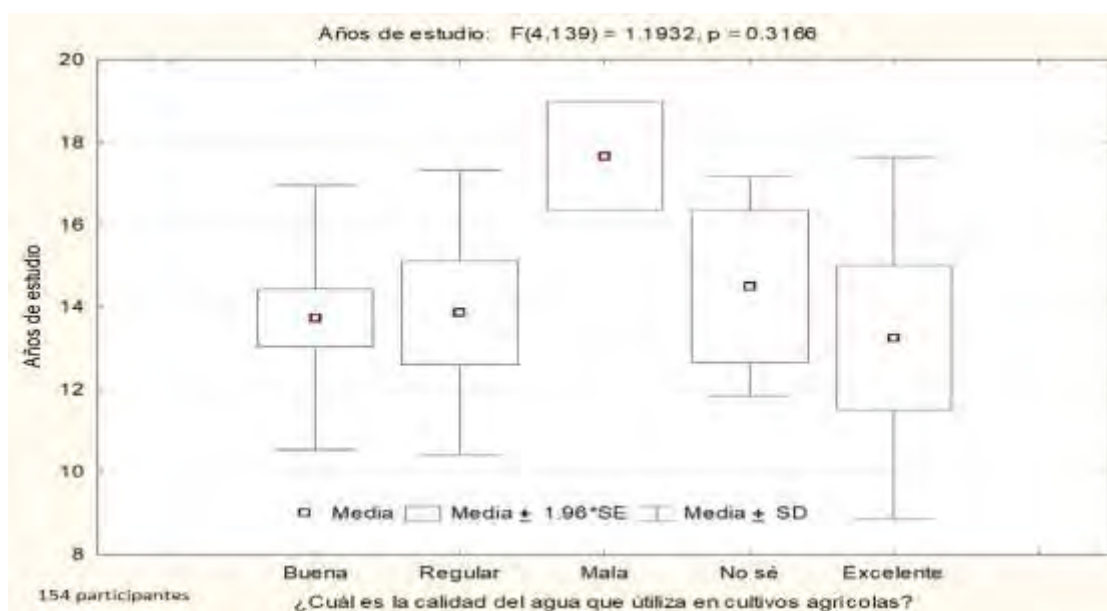


Figura 4: Percepción de la calidad de agua para cultivos agrícolas.

De las 116 comunidades los participantes reportan tener especies de producción pecuaria las aves de traspatio, cerdos, bovino, equinos y asnos, de la cual el 39.3% les brindan agua potable, el 32.1% de pozo profundo, el 25% de río y solo 3.6% de agua de canal. La percepción de la calidad de agua que toma el ganado el 58% reportan que es de buena calidad, 19.1% de excelente calidad, el 6.1% desconoce la calidad y solo el 0.9% considera que no es buena, para el consumo del ganado. En análisis estadístico no reporta diferencia estadística ($p=0.5476$), en relación con la percepción de la calidad de agua que consumen en la ganadería.

Cerca de las comunidades de los participantes se ubican siete ingenios dedicados a la agroindustria azucarera, reportan beneficios de café, granjas de cerdos, de aves, así como de actividades de rastro para el sacrificio de pequeñas especies y de grandes. El agua que utilizan en el proceso el 44.4% la arrojan al drenaje, el 21.5% al río, el 12.5% al drenaje, el 11.8% hacia el campo o patio y solo el 1.4% hacia una laguna de oxidación. El olor en el ambiente en el entorno de las agroindustrias se percibe un olor intolerante en granjas de cerdos, aves y ovinos, siendo tolerantes los ingenios y beneficios de café (Figura 5). La percepción tiene una correspondencia directa con la estimulación que proviene del medio ambiente que lleva información al observador.

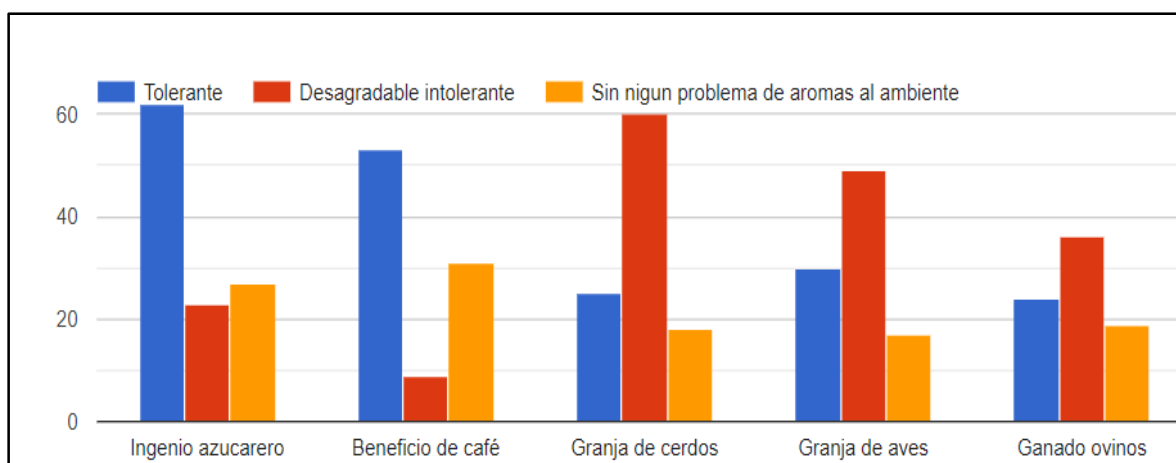


Figura 5: Percepción de los olores en las agroindustrias del entorno.

Conclusiones

La sociedad percibe una calidad de agua en las actividades domésticas de buena a regular, en un mínimo porcentaje de excelente y de mala calidad, no se tiene un tratamiento las aguas residuales de las comunidades porque en su mayoría se desprenden al drenaje y no todas las comunidades tienen plantas de tratamiento. Los cultivos con mayor atención con riego son caña de azúcar y limón persa, que se riegan con agua de pozos profundos, de ríos y canal de aguas residuales, por lo tanto, la perciben en una condición buena. En las actividades ganaderas la que prevalece en las comunidades son las aves, seguido de cerdos y bovinos

que tiene relación con la presencia de granjas especializadas a la engorda tanto de aves y cerdos den la región, así como de traspatio. Le percepción de olores desagradables e intolerantes de las actividades agroindustriales y la ganadería, las grajas de cerdos, aves, así como ovinos y bovinos.

Literatura citada

- Clara, M. y Mario, R. 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras.
- Cuenca, J., Gallardo, K. y Domínguez, I. 2021. Percepción social de la calidad y servicio de agua potable en la ciudad de El Coca, Orellana–Ecuador. *Green World Journal*, 4(1), 15
- Dávila, S. M. y Cuellar, K. Z. 2021. Percepción comunitaria sobre el agua en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. *UVserva*, (11): 77-92.
- Dworkin, S. L. 2012. Sample size policy for qualitative studies using in-depth interviews. *Archives of sexual behavior*, 41:1319-1320.
- Granillo-Suárez, I. J., López-López, E., & Martínez y Ojeda, E. 2023. Percepciones sociales sobre la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39.
- Mendieta-Izquierdo, G. 2015. Informantes y muestreo en investigación cualitativa. *Investigaciones andinas* 17(30): 1148-1150.
- Osorio-Velásquez, N. Y. y Pombo, O. A. 2019. La evolución tecnológica y la percepción de la calidad ambiental de los caficultores de El Águila, Valle del Cauca, Colombia. *Frontera norte*, 31.

CARBONO LIBERADO POR LOS SUELOS DE MANGLAR, BOSQUE DE CONÍFERAS Y SELVA TROPICAL ALTA PERENNIFOLIA, EN VERACRUZ, MÉXICO

Catalino Jorge López Collado^{427*}, Cosme Pérez Hernández⁴²⁸, María Teresa Landa Cortina⁴²⁹,
María del Rosario Rojas Merino⁴³⁰, Ángel Capetillo Burela⁴³¹, Ángel de Jesús Isidoro Pío⁴²⁷
y Nora Aida Hernández Avendaño⁴²⁷

Resumen

El tema del calentamiento global de la atmósfera terrestre por efecto de los gases de efecto invernadero es un tema importante actualmente. Dentro de los gases de efecto invernadero el bióxido de carbono es de los más importantes debido a liberación por la quema de hidrocarburos en los combustibles de origen fósil; sin embargo, también existe la liberación de bióxido de carbono en los sistemas naturales como el suelo, debido a la respiración de microorganismos. El objetivo de este trabajo fue determinar la liberación de carbono (C) por los suelos de tres diferentes ecosistemas naturales: manglar (municipio de Alvarado, Ver), bosque de coníferas (municipio de Perote) y selva alta perennifolia (municipio de San Andrés Tuxtla), esto con el fin de conocer cuál de los suelos de los tres ecosistemas naturales libera más C hacia la atmósfera. La determinación de carbono liberado se realizó mediante el método de "Incubación estática-determinación por titulación" en el laboratorio de suelos, aguas y plantas (LABSAP) del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, México. Los resultados mostraron que el bosque de coníferas fue el que liberó más bióxido de carbono hacia la atmósfera (80.16 mg C/g suelo), mientras que los suelos de la selva tropical alta perennifolia (67.86 mg C/g suelo) y del manglar (16.60 mg C/g-suelo) liberaron menos.

Palabras clave: liberación de carbono, ecosistemas naturales, incubación estática

Introducción

El cambio climático global, asociado al aumento de la temperatura media global del planeta, es uno de los problemas ambientales que se enfrentan en el presente siglo. Este problema se

⁴²⁷ Colegio de Posgraduados Campus Veracruz *Autor de correspondencia: ljorge@colpos.mx

⁴²⁸ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

⁴²⁹ Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Veracruz.

⁴³⁰ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Universidad Veracruzana Campus Peñuela.

⁴³¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias Campo Experimental Cotaxtla.

acentúa por el incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y por las dificultades de reducir el incremento de GEI en el futuro próximo (IPCC, 1995). En nuestro país, el principal emisor de GEI es el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles. El panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC, 1995) estimó que las emisiones de México contribuyen con el 1.45% de las emisiones totales del C que se dan en nuestro planeta cada año. Diferentes autores afirman que el bióxido de carbono (CO_2) es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmosfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales (Benjamín y Masera, 2001). Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación o adaptación al cambio climático es necesario, por una parte, conocer la dinámica del C en los ecosistemas naturales y, por otra, estudiar las modificaciones a los flujos de C derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo y, para lograr este objetivo, es necesario contar con la información básica sobre los contenidos de C en los diferentes reservorios de los ecosistemas.

Los principales almacenes de C en los ecosistemas son el suelo, la vegetación, los océanos y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más C que cualquier otro ecosistema terrestre y participa con el 90% del flujo anual de C entre la atmosfera y el suelo, de igual manera el suelo juega un papel muy importante en el almacén de C en estos ecosistemas (Rodríguez, 2015). Los océanos son los principales almacenes naturales del C, asimilado a través del plancton, los corales y los peces y luego transformado en rocas sedimentarias o biogénicas. Absorben alrededor del 50% de C emitido a la atmosfera (Rodríguez, 2015). Cuando el bióxido de carbono se libera en la atmosfera, puede permanecer durante uno o dos siglos. Mientras está en la atmosfera el bióxido de C forma una capa, la cual absorbe la energía térmica liberada de la tierra y evita su liberación a la atmosfera. Esto resulta en la acumulación de calor y por lo tanto causa un aumento significativo de la temperatura en la tierra. Estos efectos del calentamiento global son profundos e incluso devastadores, con probabilidad de huracanes más numerosos y fuertes (Gibbens, 2024).

En el presente proyecto se analizó el contenido de C de los suelos de tres ecosistemas naturales ubicados en las zonas sur y centro del estado Veracruz, México. Los ecosistemas que se evaluaron fueron el manglar, el bosque de coníferas y la selva alta perennifolia. La determinación del C liberado por los suelos, se realizó mediante el método de incubación

estática-determinación por titulación, este método fue llevado durante sesenta días en el laboratorio de suelos del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

Materiales y métodos

Área de estudio

El proyecto de investigación fue realizado en el laboratorio de suelos, plantas, y aguas del Colegio de Posgraduados Campus Veracruz ubicado en el Predio Tepetates, carretera federal Veracruz-Xalapa km.88.5, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. Los ecosistemas naturales evaluados fueron:

Selva alta perennifolia (municipio de San Andrés Tuxtla). Se encuentra ubicado en la zona sur del estado, en la sierra de San Martín, en las coordenadas 18° 27" latitud norte y 95° 13" longitud oeste, a una altura de 300 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).



Figura 1. Municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. Imagen tomada de Google Earth.

Limita al norte con el Golfo de México y al oeste con Catemaco, la distancia al sureste de la capital del Estado es de 275 km. El suelo varía dentro del acrisol y litosol, sus características

son la acumulación de arcilla, pobres en nutrientes, con vegetación de selva y bosque y susceptibles a la erosión. Setenta y cinco por ciento del área se considera de uso agrícola, 18% es de uso habitacional, 5% de uso comercial y 2% es de uso para espacios públicos (Wikipedia, 2024a; Veracruz Gobierno del Estado, 2024).

Manglar (municipio de Alvarado). Se ubica en la localidad de Mandinga, situada en el municipio de Alvarado, en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, México. Tiene 1154 habitantes (Figura 2). Mandinga está a 10 metros de altitud sobre el nivel del mar. El clima predominante es cálido con lluvias en verano y presenta una temperatura media anual de 26.1°C (Wikipedia, 2024b; Veracruz Gobierno del Estado, 2024).



Figura 2. Municipio de Alvarado, Veracruz, México. Imagen tomada de Google Earth.

Bosque de coníferas (municipio de Perote). Se encuentra ubicado en las coordenadas 19° 34" latitud norte y 97° 15" longitud oeste, a una altura de 2,400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Altotonga, Villa Aldama, Jalacingo, Las Vigas de Ramírez; al este con Acajete y Tlalnahuayocan; al sureste con Xico; al sur con Ayahualulco y al oeste con el estado de Puebla (Figura 3).



Figura 3. Municipio de Perote, Veracruz, México. Imagen tomada de Google Earth.

El tipo de suelo es regosol, es muy susceptible a la erosión, su textura es franca y franca arcillosa. El porcentaje del área que se utiliza para la agricultura y la ganadería es menor al 50% (Wikipedia, 2024c, Veracruz Gobierno del Estado, 2024).

Diseño y unidad experimental

Para determinar la dinámica del C en los suelos de los tres ecosistemas naturales: manglar, bosque de coníferas y selva alta perennifolia, se aplicó el método de “incubación estática-determinación por titulación”, para ello se empleó un diseño completamente al azar. Las muestras de suelo fueron colectadas de forma aleatoria en cada ecosistema natural. El experimento constó de cuatro tratamientos (Cuadro 1) con cinco repeticiones cada uno, dando en total de 20 unidades experimentales.

Cuadro 1. Tratamientos para determinar la dinámica del C en tres ecosistemas.

Número de tratamiento	Ecosistema
1	Suelo de bosque de coníferas
2	Suelo de manglar
3	Suelo de selva alta perennifolia
4	Blanco (sin suelo)

Cada unidad experimental se incubó en un vaso de precipitado con 20 gramos de suelo además de un vaso de precipitado con hidróxido de sodio y otro vaso de precipitado con agua. Obtenidas las muestras compuestas y homogenizadas, se continuó el procesamiento de estas con el objetivo de poder trabajarlas posteriormente en el laboratorio de suelos, aguas y plantas (LABSAP) del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Las muestras de suelos fueron secadas a la sombra en charolas de aluminio con la finalidad de que perdieran el contenido de agua. Una vez que las muestras se secaron se procedió a romper los terrones utilizando un mazo de madero, después se comenzaron a tamizar las muestras con un tamiz de 2 mm o número 10. Posteriormente las muestras de suelos se guardaron en bolsas de plástico transparente y se etiquetaron.

Variables evaluadas

Para determinar la cantidad de carbono liberado por los suelos se colectaron los datos de la titulación para calcular la cantidad de C que liberaron al día 1, 3, 7, 14, 25, 33, y 60 del inicio de la incubación. Con los datos de carbono liberado se determinó el mejor modelo que describiera la liberación de carbono por los suelos utilizando el software CurveExpert Professional.

Se determinó el pH, la conductividad eléctrica (C.E.), la densidad aparente del suelo (D.Ap.), la textura del suelo y la materia orgánica (M.O.). La determinación de pH del suelo se realizó por potenciometría, la de C.E. por conductimetría y la densidad aparente del suelo se determinó por el método de la probeta. La textura del suelo se determinó por el método de Bouyoucos y la materia orgánica se midió por el método de Walkley y Black.

Resultados y discusión

El modelo matemático representativo que fue seleccionado para conocer la curva de liberación de C por los suelos fue un modelo de regresión polinomial de segundo grado, este modelo fue seleccionado dentro de los mejores modelos generados por el software CurveExpert Pro que ajustó los datos de liberación de carbono del suelo. La selección del modelo se consideró con base en el más alto coeficiente de determinación (R^2) y el mínimo error estándar del modelo.

Modelo:

$$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$$

Donde:

Error estándar de la regresión polinomial de segundo grado es de: 0.0138

Coeficiente de correlación (r): 0.95

Coeficiente de determinación (r^2): 0.91

Y= gramos de carbono capturado en hidróxido de sodio.

X= días de incubación en el suelo.

Suelo de manglar

En la Figura 4 se observa la cantidad promedio de C liberado por los suelos en los días 1, 3, 7, 14, 25, 33 y 60 después de la incubación.

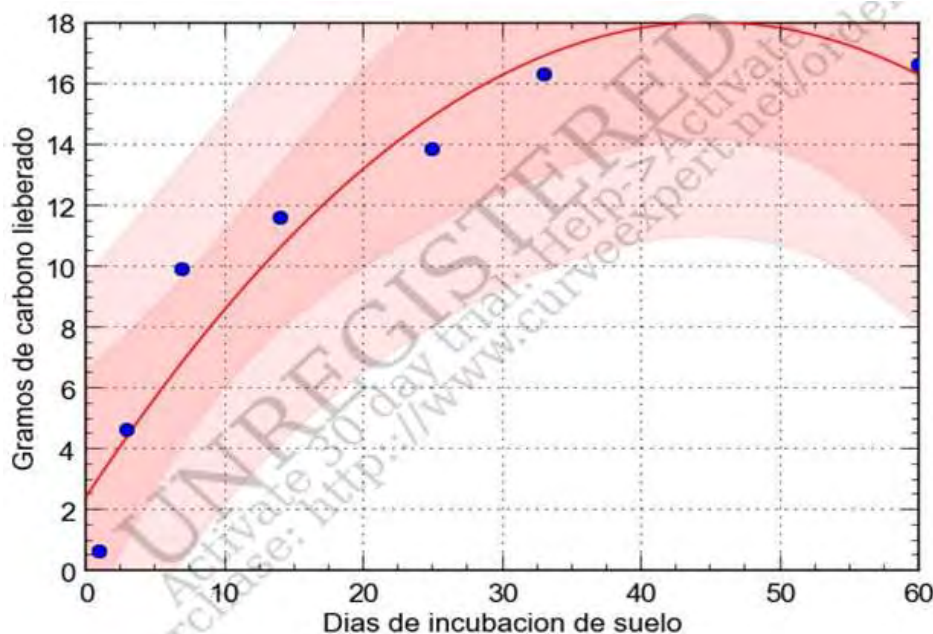


Figura 4. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelo del ecosistema de manglar. Error estándar: 2.11; Coeficiente de correlación (r): 0.95; Coeficiente de determinación (R^2): 0.91.

En este ecosistema natural las raíces del mangle se encontraban muy por arriba del suelo. Se puede mencionar que el tipo de suelo es areno-franco con una densidad aparente de 1.41 g

cm⁻³ y el contenido de materia orgánica de 2.38%. Fue uno de los suelos que menos C liberó dentro de los 60 días de incubación y en el que la descomposición de la materia orgánica y la liberación de bióxido de carbono puede ser aprovechada por otras especies vegetales o animales.

Suelo de bosque de coníferas

En la Figura 5 se observa la cantidad promedio de C que libera el suelo de bosque de coníferas en los días 1, 3, 7, 14, 25, 33 y 60 después de la incubación. El suelo de bosque de coníferas es el primero en liberar mayor cantidad de C en los 60 días de incubación debido a que su ciclo es más corto y la materia orgánica se descompone más rápido.

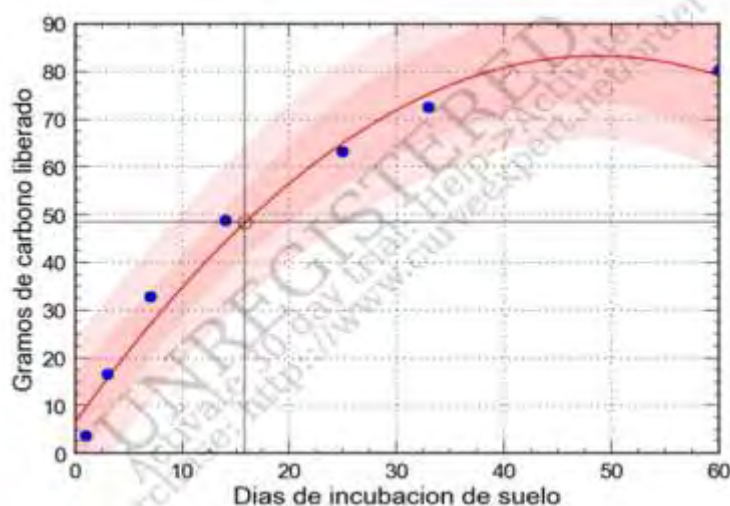


Figura 5. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelo de bosque de coníferas. Error estándar: 5.09; Coeficiente de correlación (r): 0.98; Coeficiente de determinación (R²): 0.97.

En el ecosistema bosque de coníferas se realizó el perfil de suelo a una profundidad de 30 cm. La textura del suelo fue franco con una densidad aparente de 0.90 g cm⁻³.

Suelo de selva tropical alta perennifolia

En la Figura 6 se observa el promedio de la cantidad de C que liberó el suelo de selva alta perennifolia en los días 1, 3, 7, 14, 25, 33 y 60 después de la incubación. El suelo de selva alta

perennifolia es el segundo en liberar mayor cantidad de carbón en los 60 días de incubación debido a que su ciclo es corto y su descomposición de materia orgánica es más lenta a comparación del bosque de coníferas, normalmente el CO₂ de los ecosistemas de selvas tropicales se encuentra en la biomasa no en el suelo.

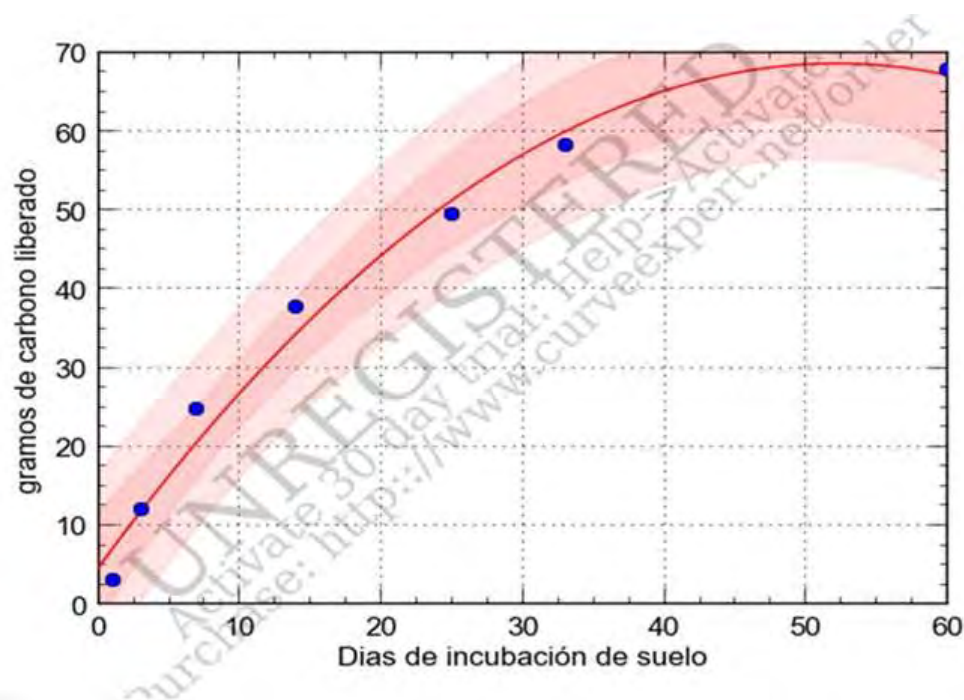


Figura 6. Curva de mineralización del carbono acumulado a los 60 días en suelo de selva alta perennifolia. Error estándar: 3.5567; Coeficiente de correlación (r): 0.9927; Coeficiente de determinación (R²): 0.9854.

En el suelo de selva alta perennifolia se esperaba que fuera el que liberara mayor cantidad de C en el lapso de 60 días, ya que fue el que mayor cantidad de materia orgánica contaba. Pero esto no fue así debido a que fue más lenta la liberación del C y en la curva se nota que necesitaba más días para liberarlo.

Liberación de carbono por ecosistemas naturales

En el Cuadro 2 se presenta los resultados y los promedios totales de C liberado por los tres ecosistemas naturales en los 60 días de incubación. Se puede observar que el suelo con mayor contenido de materia orgánica no es el que libera más C debido a que la descomposición de

la materia orgánica es más lenta y necesita mayor tiempo para desintegrarse. De acuerdo con los resultados obtenidos, el bosque de coníferas es el que liberó mayor cantidad de C debido a que el ciclo es más rápido y la descomposición de materia orgánica es más acelerada.

Cuadro 2. Resultados de la liberación de carbono en los tres ecosistemas naturales

Muestra con suelo	Suma total (mg C g ⁻¹ suelo)	Promedio total (mg C g ⁻¹ suelo)	MO%
Manglar	16.60	2.37	2.38
Bosque de coníferas	80.16	11.45	12.00
Selva tropical alta perennifolia	67.86	9.69	20.09

Análisis de suelo de los ecosistemas naturales en laboratorio

En el Cuadro 3 se puede observar los resultados de los análisis químicos que se realizaron para saber en qué condiciones se encontraban los ecosistemas naturales.

Cuadro 3. Determinaciones químicas de las muestras para la incubación de captura de C.

Suelo ecosistemas	Densidad aparente	Textura (Bouyoucos)	Materia orgánica	pH	C.E.
Manglar	1.49	Areno-franco	7.35	1.51	2.38
Bosque de coníferas	0.90	Franco	5.36	0.11	12.00
Selva tropical alta perennifolia	0.94	Franco	6.97	0.32	20.09

Carbono liberado

En el Cuadro 4 y en la Figura 7 se puede observar los gramos de C liberado en cada ecosistema. La hipótesis menciona que hay modificación al liberar bióxido de carbono al medio por tipo de vegetación.

Cuadro 4. Gramos de carbono liberado en los tres ecosistemas naturales.

Tratamiento	Número de días de incubación						
	1	3	7	14	25	33	60
1 ^z	3.54 ^y a ^x	12.96 a	16.26 a	16.08 a	14.40 a	9.12 a	7.80 a
3	3.06 a	9.00 b	12.60 b	13.14 a	11.58 a	8.94 a	9.54 b
2	0.60 b	4.04 c	5.26 c	1.68 b	2.28 b	2.43 b	0.31 c

^z = Numero de tratamiento; 1= bosque de coníferas; 2= manglar; 3= selva tropical alta perennifolia; ^y = gramos de carbono liberado por kg de suelo; ^x = Media con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

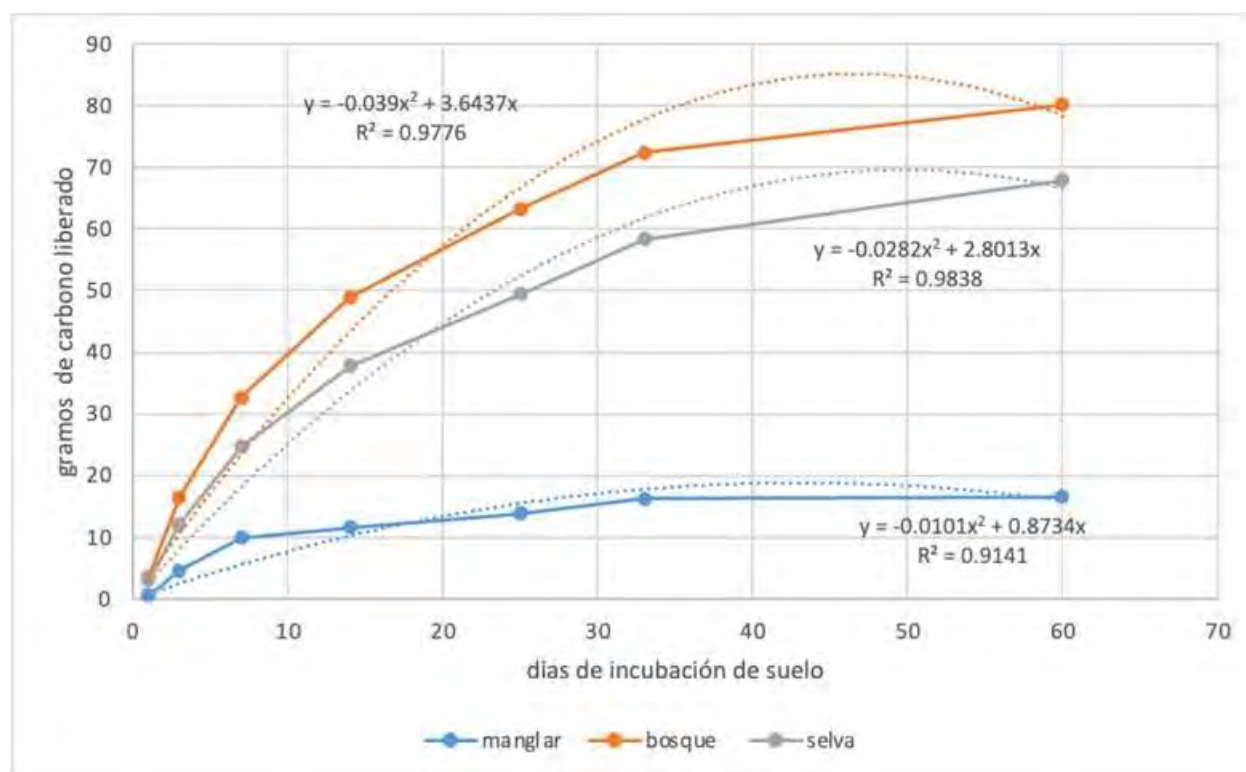


Figura 7. Cantidad acumulativa de carbono que fue liberado por cada tipo de suelo a los 1, 3, 7, 14, 25, 33, y 60 días después de iniciar la incubación del suelo bajo condiciones de laboratorio.

Conclusiones

El modelo matemático que tuvo un mayor ajuste a la curva de liberación del carbono del suelo hacia la atmósfera fue el modelo de regresión polinomial de segundo grado (grado = Este modelo fue seleccionado entre más de 500 tipos de modelos que conforman la base de modelos del software CurveExpert Professional por las características del experimento, por el tipo de suelo y por permitir ver la curva de liberación de carbono con el incremento decreciente que se esperaba encontrar. En los ecosistemas naturales, el bosque de coníferas fue el que liberó mayor cantidad de carbono hacia la atmósfera, a través del tiempo establecido en la investigación, en comparación con el manglar y la selva tropical alta perennifolia. Se puede decir que no siempre los ecosistemas naturales que tienen mayor cantidad de materia orgánica en el suelo son los que van a liberar más carbono a la atmósfera a través del tiempo.

Literatura citada

- Benjamín O., J.A. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosque 7(001):3-12.
- Gibbens, S. 2024. ¿Cuáles son los efectos del calentamiento global? National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>.
- IPCC-segunda edición, cambio climático 1995. <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-sp.pdf> [consultado el 11 de noviembre de 2015].
- Rodríguez G., N. 2015. Los suelos, principales almacenes de carbono del planeta. 2015 Año Internacional de los Suelos. Academia Mexicana de Ciencias. Boletín AMC/290/15.
- Veracruz Gobierno del Estado. 2024. Municipios. <https://www.veracruz.gob.mx/gobiernover/municipios/>.

Wikipedia, 2024a. San Andrés Tuxtla, Veracruz.

https://es.wikipedia.org/wiki/San_Andr%C3%A9s_Tuxtla.

Wikipedia, 2024b. Alvarado, Veracruz. https://es.wikipedia.org/wiki/Manglares_de_Alvarado

Wikipedia, 2024c. Perote, Veracruz.

https://es.wikipedia.org/wiki/Parque_nacional_Cofre_de_Perote.

LIBERACIÓN DE CARBONO DEL CONTENIDO RUMINAL BOVINO APLICADO AL SUELO MEDIANTE INCUBACIÓN ESTÁTICA

Catalino Jorge López Collado⁴³², Álvaro Palacios Mendoza^{432*}, Karla Selene Forstall Sosa⁴³³,
Eusebio Ortega Jiménez⁴³², Jacel Adame García⁴³³ y Nora Aida Hernández Avendaño⁴³²

Resumen

Con la finalidad de estudiar la liberación de CO₂-C (carbono del dióxido de carbono) del contenido ruminal de ganado bovino aplicado al suelo, mediante el método de incubación estática, se realizó el presente trabajo de investigación bajo condiciones controladas en laboratorio. Se evaluaron cuatro tratamientos distribuidos en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones cada uno, haciendo un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en un frasco con tapa hermética con capacidad de 1 L, el cuál contenía tres vasos de precipitados con hidróxido de sodio, agua destilada y la biomasa ruminal. Los cuatro tratamientos fueron: 0, 1.256 y 2.512 g de biomasa en 20 g de suelo (0, 10 y 20 t/ha, respectivamente) y el testigo; el cuál consistió en un frasco con las especificaciones anteriormente señaladas, pero en su interior sólo contó con dos vasos de precipitados. La liberación del CO₂-C se evaluó a los 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, 80 y 162 días. Los resultados muestran que la liberación de CO₂-C ha⁻¹ fue muy elevada al día uno y no repitió ese patrón; sin embargo, cada uno de los tratamientos incrementó en cada medición, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) entre 2 y 3 con respecto al tratamiento 1. La liberación de CO₂-C fue directamente proporcional a la aplicación de contenido ruminal al suelo, lo que indica que, a mayor adición de biomasa al suelo, mayor será la liberación de CO₂-C.

Palabras clave: dióxido de carbono, biomasa ruminal, emisiones de CO₂

Introducción

México es uno de los países que integra el panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), por ello contribuye a las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, el Instituto Nacional de Ecología señala que la actividad rural como; la agricultura, la ganadería, la pesca, entre otros, contribuye con 30.6%, lo que corresponde a un tercio del total de las emisiones de CO₂.

⁴³² Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, *Autor de correspondencia: alvaro_palacios_14@hotmail.com

⁴³³ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

El incremento en la atmósfera de los GEI y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes en el siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, se esperan serios efectos negativos, por lo que es esencial que se tomen diversas medidas para reducir o mitigar el impacto de tales emisiones e incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Aunque aún existe incertidumbre con relación a las causas, consecuencias y magnitud del cambio climático, se cree que las actividades humanas están causando un serio impacto sobre el balance de energía de la tierra. Su influencia sobre el clima es de gran importancia desde el siglo XX. Esta situación condujo en 1997 a un acuerdo internacional en Kioto, Japón (el Protocolo de Kioto, 11 de diciembre de 1997), a través del cual la mayoría de los países fueron convocados a reducir sus emisiones de GEI hacia la atmósfera. En este contexto se han desarrollado nuevas estrategias y políticas en el marco internacional para la implementación de prácticas de manejo agrícola y silvicultura. De acuerdo con López (1998), los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra. El carbono (C) es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida.

El movimiento del C ocurre a diferentes escalas espacios-temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el organísmico hasta el global. El C, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el bióxido de carbono (CO_2), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de efecto invernadero (GEI) (Jaramillo, 2004).

El agua, el CO_2 , el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) son componentes naturales de la atmósfera. Estos gases tienen la propiedad de absorber parte de la radiación que sale por la ventana de radiación. De modo que, cuando su concentración aumenta, la radiación saliente al espacio exterior es menor y, por lo tanto, la temperatura que adquiere el planeta aumenta. Por esta razón se los llama “gases de efecto invernadero”.

La industria y el uso del transporte aportan el 15% de (CH_4) y se da principalmente por el uso de combustibles fósiles, mientras que la agricultura y la ganadería son responsables en un 18% en su contribución al cambio climático global generado por las actividades

antropogénicas. El sector ganadero representa una fuente significativa de los GEI en todo el mundo, a través de la producción de CO₂, CH₄ y N₂O, ya sea directamente (a partir de la fermentación entérica y el reciclamiento del estiércol) o indirectamente (por ejemplo: alimentación y producción).

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo de experimentación se llevó a cabo en el laboratorio de suelo-agua-planta del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, ubicado en Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, en el km. 88.5 de la Carretera Federal Xalapa-Veracruz, entre las localidades de Puente Julia y Paso San Juan. Geográficamente, se ubica a los 19° 11' 53" de Latitud Norte y 96° 19' 47" de Longitud Oeste a una elevación de 32 msnm (Figura 1).



Figura 1. Imagen del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz proporcionada por Google Maps.

Diseño y unidad experimental

El diseño estadístico que se utilizó para este trabajo de investigación fue completamente al azar, en donde se evaluaron tres diferentes densidades de contenido ruminal aplicado al suelo,

más un testigo. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales.

Para realizar el análisis de varianza y la prueba de medias se utilizó el Sistema de Análisis Estadístico (SAS, versión 2003 para Windows).

Muestreo de suelo

Se tomaron muestras de suelo de un área perteneciente al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, denominada “la borreguera”. Los materiales utilizados fueron: barreta, pico, pala, bolsas de plástico transparentes con capacidad a 1kg, flexómetro y cámara fotográfica sony α -55.

Se tomaron cinco muestras en total mediante muestreo *cinco de oros*, a una profundidad de 0-30 cm, excluyendo la biomasa de la superficie, así como las piedras. Con la ayuda de registro fotográfico se pudieron obtener datos de geoposicionamiento del área de muestreo (Figura 2).



Figura 2. Muestreo en cinco de oros para la obtención del suelo.

Secado y tamizado

Una vez tomadas las muestras, se secaron en un área sombreada del Campus, a temperatura ambiente. Se utilizaron varias charolas de aluminio con la finalidad de poder distribuir de manera uniforme el contenido y así optimizar el proceso de secado. Inmediatamente después de notar pérdida de humedad en las muestras se procedió a desbaratar cualquier terrón encontrado con la ayuda de un mazo de madera.

Las muestras de suelo se sometieron a tamizado de malla de 2 mm de abertura. Posteriormente se guardó el contenido en bolsas de papel, dentro de bolsas de plástico para prevenir humedecimiento (Figura 3).



Figura 3. Proceso de secado y tamizado del suelo.

Contenido ruminal de ganado bovino

El contenido ruminal se obtuvo del Rastro Municipal de La Antigua, Ver. El cual se localiza a 49 km de distancia del Campus Veracruz, aproximadamente (Figura 4). Para trasladarlo se hizo uso de un tanque de plástico con capacidad de 200 L.



Figura 4. Ubicación del rastro municipal de La Antigua y del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (Fuente: Google maps9)

Secado y molido

La biomasa se trasladó en un tanque de 200L. Posteriormente se introdujo a una estufa de aire forzado por 48 horas.

Con la ayuda de un mini molino Wiley para laboratorio de tejido vegetal se llevó a cabo el molido de la biomasa, esto para lograr una mezcla homogénea con el suelo (Figura 5).



Figura 5. Proceso de secado y molido de la biomasa ruminal.

Evaluación de la variación de las propiedades físicas y químicas por efecto de incubación estática en el suelo

Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente del suelo en muestra se utilizó el método de la probeta (Figura 6).



Figura 6. Procedimiento para determinar densidad aparente.

Determinación de la materia orgánica del suelo a partir del contenido de carbono

El contenido de la materia orgánica del suelo se determinó por el método de Walkley-Black (1947) (Figura 7).

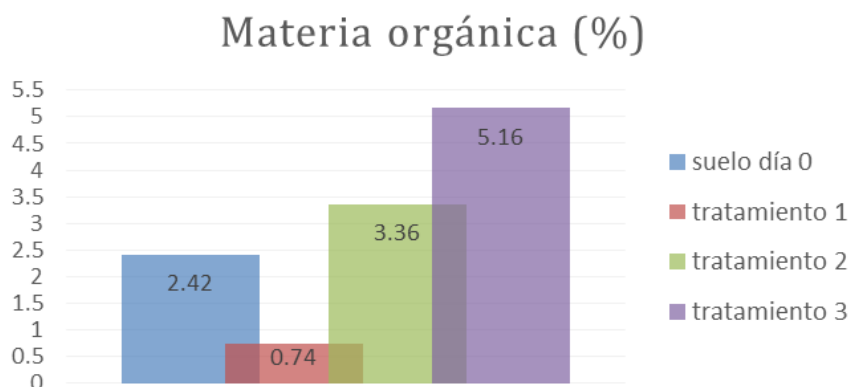


Figura 7. Porcentaje de materia orgánica en los días 0 y 162 en los diferentes tratamientos.

Para la determinación del carbono orgánico del suelo a partir del contenido de la materia, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{C.O.} = \frac{(B-T) \times N}{0.39} \text{ g}$$

donde:

C.O. = Carbono orgánico (%).

B = Volumen de FeSO_4 gastado para valorar el testigo (mL).

T = Volumen de FeSO_4 gastado para valorar la muestra (mL).

N = Normalidad exacta del FeSO_4 .

g = peso de la muestra empleada (g).

0.39 = Factor constante.

Para obtener el porcentaje de materia orgánica en el suelo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{M.O.} = \text{C.O.} \times 1.724$$

donde:

M.O. = materia orgánica (%).

C.O. = carbono orgánico (%).

1.724 = Factor de Van Bemmelen.

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos se presentan en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Valores de referencia para clasificar la concentración de la MO en suelos minerales y volcánicos.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 – 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16.0	3.6 – 6.0
Muy alto	>16.1	>6.0

NOM-021-SEMARNAT-2000.

Resultados y discusión

Efecto de la inclusión de la biomasa del rumen sobre las propiedades físicas y químicas a través de incubación estática.

El proceso de incubación estática se realizó durante 162 días. En este periodo de tiempo las muestras estuvieron dentro de frascos herméticamente cerrados, en tanto se abrieron al momento de la valoración mediante titulación. Los resultados se muestran en el Cuadro 2, Figura 8 y Figura 9 con valores de 0 y 162 días de incubación, respectivamente.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de las muestras en 0 y 162 días de incubación.

Propiedades	Suelo día 0	0 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	20 t ha ⁻¹
		día 162	día 162	día 162
Materia orgánica (%)	2.42	0.74	3.36	5.16
pH del suelo (U pH)	6.83	5.55	7.59	7.80
Conductividad eléctrica (µε/cm)	283.6	66.2	526	1028

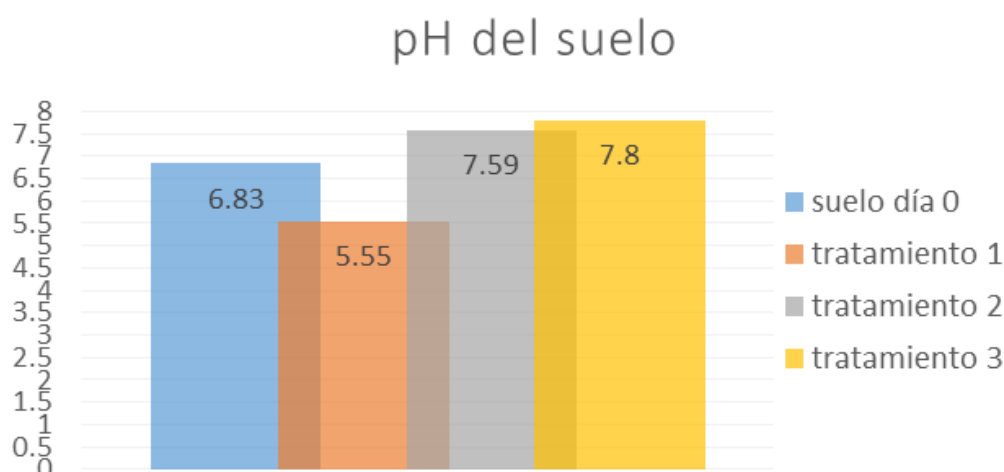


Figura 8. Valores de pH del suelo en los días 0 y 162 en los diferentes tratamientos.

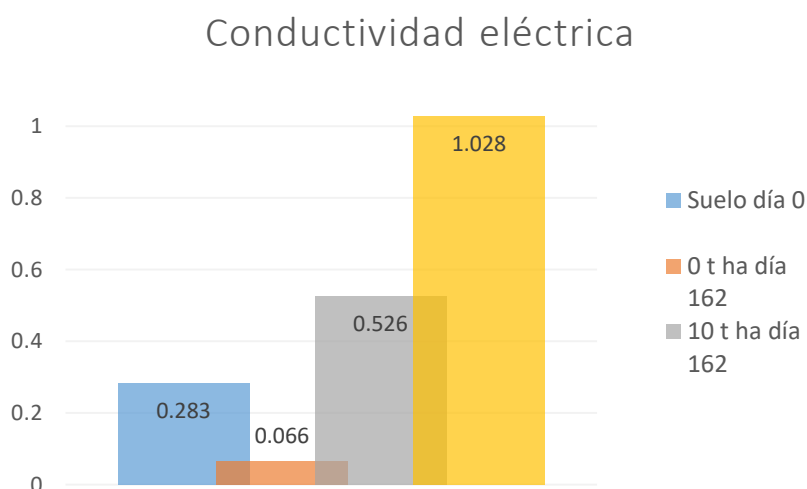


Figura 9 Conductividad eléctrica en los días 0 y 162 en los diferentes tratamientos.

Análisis estadístico del proceso de la incubación estática

En el Cuadro 3, se pueden observar los resultados del análisis de incubación estática, correspondiente a los días 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, 80 y 162, respectivamente. Todas las variables se analizaron bajo el modelo GLM de SAS (Statistical Analysis Software) a través del diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey $P \leq 0.05$. (SAS, versión 2003).

Cuadro 3. CO₂-C liberado del suelo con 0, 10 y 20 t ha⁻¹ de contenido ruminal a los 1, 3, 7, 14, 25, 40, 60, 80 y 162 días.

¹ Trat.	Liberación de mg CO ₂ -C por días de incubación								
	1	3	7	14	25	40	60	80	162
1	0.58 ^a	0.85 ^b	0.77 ^c	1.53 ^c	2.55 ^b	3.03 ^b	5.02 ^b	4.52 ^b	6.85 ^b
2	2.02 ^a	4.00 ^a	0.77 ^b	10.63 ^b	12.25 ^a	11.77 ^{ab}	14.17 ^{ab}	14.85 ^{ab}	25.42 ^a
3	1.92 ^a	5.78 ^a	13.17 ^a	14.71 ^a	18.11 ^a	14.70 ^a	18.56 ^a	18.25 ^a	28.79 ^a

¹Trat. = tratamientos, tratamiento 1= 0 t ha⁻¹, 2= 10 t ha⁻¹, 3= 20 t ha⁻¹ de biomasa. Letras iguales no hay diferencia significativa estadísticamente (Tukey y $\alpha=0.05$).

El modelo matemático que fue seleccionado para conocer la curva de mineralización de carbono es el de regresión polinomial de segundo grado, este modelo fue el mejor dentro de los modelos que ajustan los datos de mineralización de la materia orgánica del suelo. Este es un modelo no-lineal. Esta selección se basó en la más alta R² (coeficiente de determinación), el mínimo error estándar del modelo, y la simplicidad de este modelo:

$$y = a + bx + cx^2$$

donde:

y = gramos de carbono capturado en hidróxido de sodio.

X = días de incubación en el suelo.

En el cuadro 4 se observa la relación de datos generados por el programa Curve Expert Professional, el cual permitió obtener la curva de cada tratamiento (Figura 10).

Cuadro 4. Relación de datos analizados por el programa Curve Expert Professional 2.3.0.

Coeficiente de datos	T1	T2	T3
a	0.1142	4.3363	6.627
b	0.285	1.2466	1.7536
c	0.0008	0.004	0.006
Error estándar	4.25	3.88	3.75
Coeficiente de correlación (r)	0.998	0.997	0.997
Coeficiente de determinación (R ²)	0.9962	0.9947	0.9899

a, b, c = Parámetros, donde: a= ordenada al origen, b= pendiente o tasa de cambio, c= constante.

LIBERACIÓN DE CO₂-C MEDIANTE INCUBACIÓN ESTÁTICA

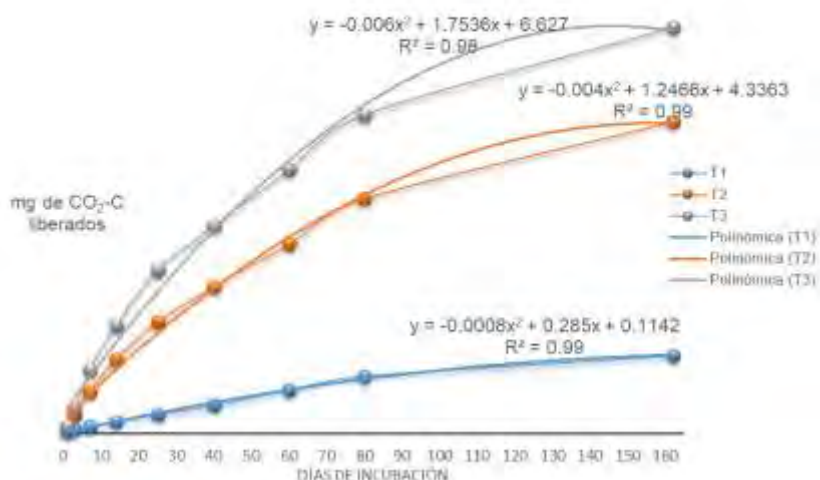


Figura 10. Curva de liberación de mg CO₂-C durante el periodo de incubación estática.

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en dicha investigación se concluye que a mayor inclusión de contenido ruminal al suelo la liberación de CO₂-C se incrementa, de igual forma algunas propiedades del suelo se modifican. De acuerdo con el software Curve Expert, el mejor modelo que se ajustó a la dinámica de liberación de CO₂-C por el suelo, con y sin aplicación del contenido ruminal, fue un modelo no-lineal, y este fue un modelo polinomial de segundo grado.

Literatura citada

- Jaramillo V. 2004. Cambio climático: una visión desde México. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- López A. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.

SELECCIÓN DE UN SUSTRATO PARA LA PROPAGACIÓN POR DECAPITACIÓN DE *Echeveria rubromarginata* Rose

María Elena Galindo Tovar⁴³⁴, Mauricio Hernández Jauregui⁴³⁴, Miguel Cebada Merino,
Joaquín Murguía González⁴³⁴, Pablo Andrés Meza⁴³⁴ y Otto Raúl Leyva Ovalle^{434*}

Resumen

La familia Crassulaceae incluye gran variedad de plantas suculentas, muchas de las cuales son populares en el cultivo ornamental. Entre ellas el género *Echeveria* es particularmente apreciado por su belleza, lo cual ha provocado que sea uno de los géneros favoritos de los coleccionistas, lo que ha ocasionado su saqueo del medio natural. Por ello, como una medida de conservación y para eliminar el estado de riesgo de este, es necesario poner particular atención en su reproducción y propagación. Los métodos más comunes de propagación de las plantas del género *Echeveria*, son a partir de hojas individuales y por esquejes; entre ellos se encuentra la decapitación. En este método se separa la roseta principal del tallo para promover la generación de brotes en el tallo. Además, en la propagación de plantas es importante, considerar el uso de sustratos, enraizadores y fertilizantes. El objetivo de este trabajo fue evaluar el tipo de sustrato, enraizador y fertilizante en el desarrollo y crecimiento de plantas de *Echeveria rubromarginata* durante su propagación mediante decapitación, como un modelo para la propagación de especies pertenecientes al género. Se probaron seis mezclas de sustratos combinando vermicomposta, tepecil y agrolita; se escogieron las dos con mejores características fisicoquímicas y se evaluó el desarrollo de las plantas. El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial de 3². Los datos se analizaron con el programa Infostat versión libre 2020. Después de realizar los análisis fisicoquímicos se encontró que las mezclas con mejores características fueron 75% vermicomposta – 25% tepecil, seguida por 25% vermicomposta – 75% tepecil. El sustrato con menor porcentaje de vermicomposta mostró una mayor cantidad de brotes; el enraizador Radix 10,000 fue con el que se obtuvo una mayor cantidad de raíces; así como su aparición más temprana. La interacción entre el sustrato mayormente mineral, Radix 10,000 y Triple 17 fue la combinación que mostró un mayor desarrollo radicular, mayor altura y grosor de la planta, y brindó a la planta anclaje y mayor capacidad para adquirir nutrientes.

Palabras clave: crasulaceas, multiplicación asexual, medios de cultivo

⁴³⁴ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana.

Introducción

La familia Crassulaceae está constituida por plantas herbáceas, generalmente suculentas con distribución mundial principalmente el sur de Asia Central, Sudáfrica, México y la región del mediterráneo (Pérez-Calix, 2008). El uso principal de la familia Crassulaceae es el ornamental, aunque existen especies valoradas también por sus atributos medicinales; algunas de ellas se emplean en la medicina tradicional (Reyes-Santiago *et al.*, 2013). En esta familia el género *Echeveria* es altamente apreciado por horticultores y coleccionistas, que generalmente obtienen plantas extraídas de su hábitat (Reyes, 2009); hay especies que, dada su belleza, son consideradas como favoritas por diversos cultivadores (Pérez-Calix, 2008). Tal es el caso de *E. rubromarginata*, que es altamente comercializada en mercados locales; sin embargo, cuando las personas que las extraen de su hábitat no logran comercializarlas, se deshacen de ellas arrojándolas a la basura, lo que causa efectos negativos en el ecosistema y en su estado de conservación por el desequilibrio que se genera en la población. Aún con la creciente demanda en el mercado de este género, son pocos los viveros que cultivan y producen ejemplares para su venta y que, además, tienen registro de UMA (Unidad de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento de la Vida Silvestre) (Islas-Luna *et al.*, 2017). Existen pequeños productores que cultivan especies de *Echeveria* de alto valor estético y comercial; sin embargo, por su limitada producción y otros factores no cubren la demanda, calidad y estándares. Esto puede llevar a la desaparición de las poblaciones en su medio natural colocándolas al borde de la extinción.

Una manera práctica y económicamente rentable de propagar estas plantas consiste en multiplicarlas asexualmente en sombreaderos o invernaderos. Por ello, el propósito de esta investigación consistió en desarrollar un método de propagación asexual, junto con el uso de enraizadores y fertilización de *E. rubromarginata*, para su comercialización.

Materiales y métodos

La presente investigación fue realizada en el vivero “Cactus y Suculentas Xochipilli” ubicado en Fortín, Veracruz. Se utilizaron plantas de *E. rubromargina*, cultivadas desde semilla. La

emergencia inició a los 4 y 5 días; posteriormente, las plantas con diez meses de edad fueron trasplantadas a macetas, en dos sustratos previamente seleccionados.

Para la selección de las mezclas de sustratos se consideraron las características fisicoquímicas que pudieran brindar las propiedades adecuadas para el desarrollo de las plantas. Se seleccionó vermicomposta como componente orgánico y para mejorar la porosidad y retención de humedad, como componente inorgánico se utilizó tepecil y agrolita. Con estos se elaboraron tres combinaciones de vermicomposta con tepecil y otras tres de vermicomposta con agrolita (Cuadro 1).

Cuadro 1. Combinaciones de sustratos a base de vermicomposta (V) + tepecil (T) y vermicomposta (V) + argolita. (A).

Combinaciones de sustratos de vermicomposta (V) con tepecil (T)	Combinaciones de sustratos de vermicomposta (V) con agrolita (A)
25% V + 75% T	25% V + 75% A
50% V + 50% T	50% V + 50% A
75% V + 25% T	75% V + 25% A

Se analizó la porosidad total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, fósforo, calcio y magnesio, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Una vez seleccionados los sustratos, se realizó la siembra de plantas de 10 meses edad en macetas plásticas rígidas de 4”.

Cuando las plantas desarrollaron el cepellón, en las macetas se realizó un corte en el tallo de forma horizontal con una pequeña inclinación para prevenir la acumulación de humedad. En la parte basal se dejó una hoja, con la finalidad de que contara con área fotosintética; así como para evitar su muerte y se dejó en la maceta en la que se encontraban. La roseta se colocó en otra maceta de manera vertical con el tallo apuntando hacia arriba para ayudar a su cicatrización.

A los cortes se les aplicaron dos tipos de enraizador en polvo (Radix 10000 y Raizal 400) para favorecer la cicatrización y fomentar el desarrollo radicular. Posteriormente, se aplicó un gramo

de los fertilizantes: Osmocote de liberación prolongada y Nitrofoska, con formulaciones de 14N-14P-14K y 17N-17P-17K, respectivamente.

Tanto para la parte basal, como para las rosetas se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3^2 , factor A: sustratos, factor B: enraizador y factor C: fertilizante, contando así con ocho tratamientos y un testigo con cinco repeticiones cada uno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Relación de los tratamientos con enraizador y fertilizante.

Tratamiento	Sustrato	Enraizador	Fertilizante
1	25% vermicomposta – 75% tepecil	Radix	Ozmocote
2	25% vermicomposta – 75% tepecil	Raizal	Ozmocote
3	25% vermicomposta – 75% tepecil	Radix	Triple 17
4	25% vermicomposta – 75% tepecil	Raizal	Triple 17
5	75% vermicomposta – 25% tepecil	Radix	Ozmocote
5	75% vermicomposta – 25% tepecil	Raizal	Ozmocote
7	75% vermicomposta – 25% tepecil	Radix	Triple 17
8	75% vermicomposta – 25% tepecil	Raizal	Triple 17

Los datos se analizaron con el programa Infostat versión libre 2020. Como variables de respuesta se consideraron: desarrollo radicular, generación de brotes en el área basal, altura del tallo en el periodo de estudio y ancho de tallo.

Resultados y discusión

Selección del sustrato

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos (Cuadro 3) se eligieron dos combinaciones de sustratos que, de acuerdo con Martínez y Roca (2011), tienen las mejores características en las mezclas de sustratos para el cultivo en contenedor.

Cuadro 3. Valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los sustratos.

Propiedad	V 25% + T 75%	V 25% + T 75%	V 25% + T 75%	V 25% + A 75%	V 25% + A 75%	V 25% + A 75%
Porosidad total	56.46	51.86	52.46	50.33	43.76	42.9
Capacidad de aireación	15.30	18.40	17.40	17.70	19.40	22.96
Capacidad de retención de agua	41.16	33.46	35.06	32.63	24.36	19.93
Densidad	0.62	0.62	0.55	0.37	0.38	0.45
pH	6.70	7.10	6.80	6.80	7.10	7.10
Conductividad eléctrica	270	580.00	730.00	570.00	360.00	810.00
Capacidad de intercambio catiónico	2.78	2.96	3.58	3.06	3.28	3.36
Fósforo	112.19	147.91	196.07	503.33	204.03	170.87
Calcio	3.96	3.96	2.52	4.32	2.88	3.96
Magnesio	3.96	2.52	5.40	1.08	0.36	1.08
Materia orgánica	4.17	6.45	7.54	5.11	7.26	5.78

V: Vermicomposta; T: Tepecil; A: Agrolita.

El pH considerado como óptimo para un sustrato (Martínez y Roca, 2011) oscila entre 5.5 y 6.5; por lo que las mezclas con mejores características fueron 25% vermicomposta con 75% de tepecil, 75% de vermicomposta con 25% de tepecil y 25 de vermicomposta con 75% de agrolita con valores de pH de 6.7 y 6.8. La capacidad de aireación óptima de acuerdo con Morales-Maldonado y Casanova (2015), se encuentra entre el 15 y 30%, por lo que todas las combinaciones se encuentran dentro de ese rango.

Valenzuela *et al.* (2014) mencionan que un 70% de capacidad de retención de humedad, después de un riego, se considera como referencia de un sustrato para el cultivo de plantas en contenedores. Los sustratos analizados mostraron valores inferiores; sin embargo, las mezclas en las que se combinó vermicomposta con tepecil tuvieron los valores que coinciden

con lo reportado por otros autores. Asimismo, estos autores mencionaron que, para un sustrato, el nivel óptimo en la densidad aparente es de 0.4 g/cm^3 los valores más cercanos fueron 75% vermicomposta – 25% tepecil y vermicomposta 75% - 25% agrolita.

Soriano (2018) mencionó que para un buen desarrollo de estas plantas no deben estar en un sustrato con una conductividad eléctrica (CE) mayor de 500 dSm^{-1} , debido a que estos se vuelven salinos, por lo que las mejores mezclas fueron 75% vermicomposta – 25% tepecil y 75% vermicomposta – 25% agrolita con valores de 570 dSm^{-1} .

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) tiene un nivel medio cuando está entre 75 y $100 \text{ meq.100g}^{-1}$ y en cualquier caso conviene que sea superior a 20 meq.100g^{-1} (Martínez y Roca, 2011). Al encontrarse por encima de 20 meq.100g^{-1} , esto indica que las mezclas son aptas para el cultivo de plantas, siendo las más propicias las que cuentan con un mayor contenido de materia orgánica, como 25% vermicomposta - 75% tepecil y 50% vermicomposta – 50% agrolita.

De acuerdo con lo expuesto, la mezcla con mejores características fue 75% vermicomposta – 25% tepecil, seguida por 25% vermicomposta – 75% tepecil; por lo que se seleccionaron estas dos mezclas. Además, los materiales de las mezclas seleccionadas presentan disponibilidad en la zona de estudio.

Desarrollo vegetativo

A los 37 días del trasplante, las plantas ya contaban con un cepellón bien formado, por lo que se procedió a la decapitación. Transcurridos 16 días desde la decapitación de las plantas y aplicación de enraizador se observó diferencia significativa en el desarrollo radicular con Radix 10 000 en comparación con Raizal 400, donde no se observó desarrollo radicular.

La interacción de enraizador, fertilizante y sustrato con la que las plantas tuvieron mayor desarrollo de raíces fue la de Radix – Triple 17 y 75% T + 25% V; sin embargo, no se observó una clara separación de los tratamientos. Según Yakhin *et al.* (2017), los enraizadores comerciales presentan beneficios en la propagación y el desarrollo de plantas en la agricultura, en las que se pueden utilizar en diversos cultivos, incluidos los ornamentales. Sin embargo, a diferencia del estudio realizado por Silva *et al.* (2022), en donde no se observaron diferencias significativas en el uso de enraizadores comerciales, en este experimento se observó una diferencia significativa entre el uso Radix y Raizal.

La presencia y cantidad de brotes se empezó a observar a los 16 días desde la decapitación (Figura 1), el sustrato en el que se observó un mayor número de estos fue el que contenía un porcentaje mayormente mineral (25% vermicomposta con 75% de tepecil).

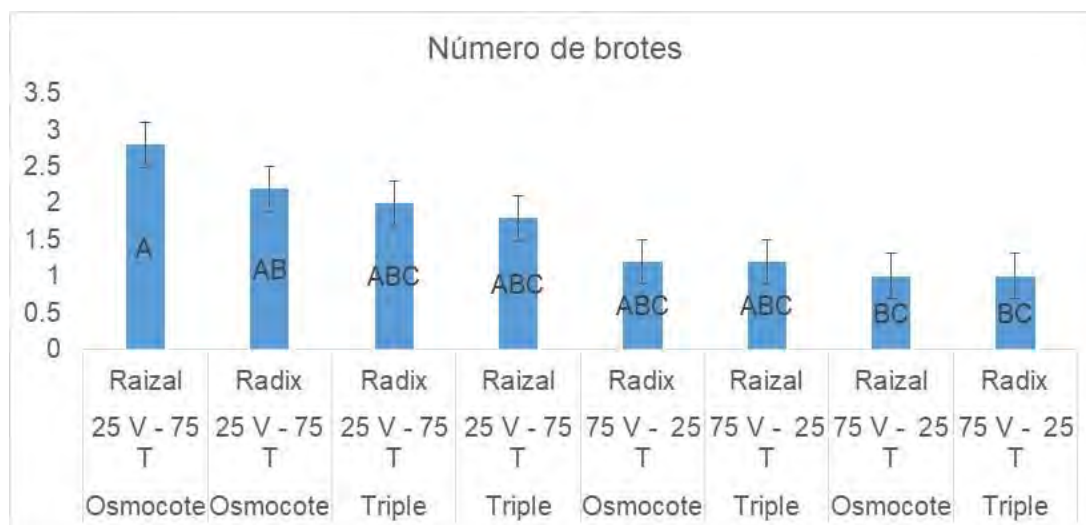


Figura 1. Cantidad de brotes en los diferentes sustratos. Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). V: vermicomposta, T: tepecil.

La altura fue determinada por la interacción de sustrato, fertilizante y enraizadores (Figura 2) mientras que en el grosor no se observó una diferencia significativa. La mayor altura del tallo se observó en el sustrato principalmente orgánico; mientras que el resto de los tratamientos fueron similares. Esto se pudo deber a que un sustrato orgánico derivado del vermicompostaje cuenta con altos contenidos de nitrógeno que es utilizado por las plantas como mencionan Morales *et al.* (2009). El sustrato a base de 25% vermicomposta y 75% tepecil mostró una mayor cantidad de brotes con 67 brotes en total mientras que en la otra mezcla sólo se observaron 57 brotes, y en el testigo sólo se observaron tres brotes.

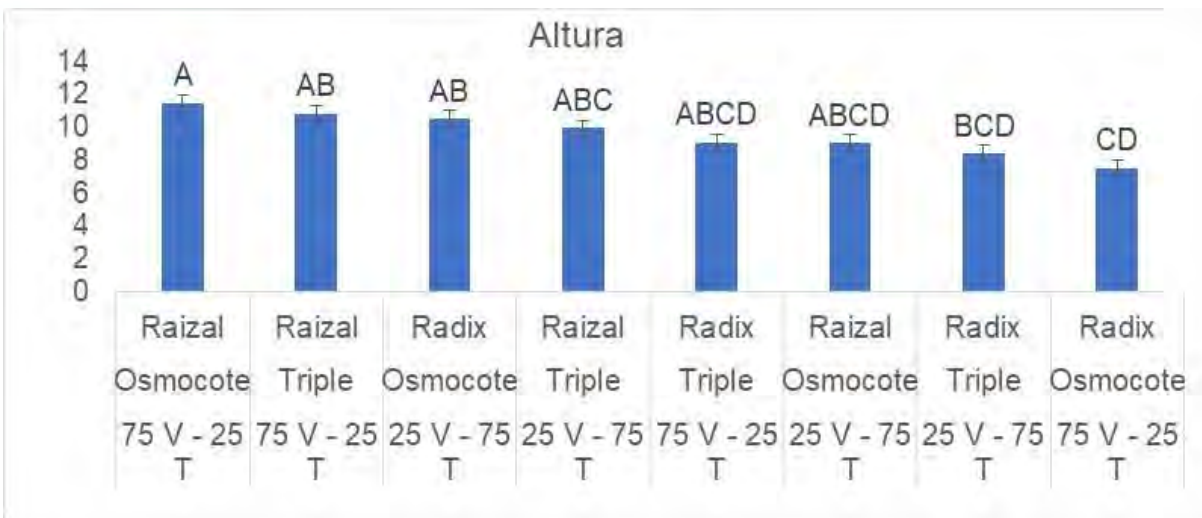


Figura 2. Altura del tallo. Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). V: vermicomposta, T: tepecil.

Transcurridos 90 días, la mayor cantidad de brotes generados en la parte basal, se observaron en los tratamientos con 25% de vermicomposta. Esto permitió calcular el número total de plantas obtenidas. Se consideró un tamaño de 3 cm de roseta, para considerada como una planta comercializable, las plantas que tenían este tamaño o uno mayor se consideraron como plantas listas para separar del tallo y enraizar con Radix 10000, que fue el enraizador con mayor promoción radicular.

Conclusiones

La propagación por decapitación de *E. rubromarginata*, al ser una planta que difícilmente produce hijuelos, resulta un método viable que permite obtener de 3 a 6 brotes por planta a partir de la roseta principal. El uso de un sustrato bajo en materia orgánica (25% vermicomposta y 75% tepecil), un fertilizante equilibrado (17N-17P-17K) y el enraizador adecuado, posibilita la obtención de plantas de valor comercial en un periodo corto de tiempo; lo que ofrece una alternativa de diversificación a los productores de ornamentales.

Agradecimientos

Al Biól. César Omar Espinoza Orozco del vivero “Verde Xerófilo”, por la donación de las plantas.

Literatura citada

- Islas-Luna, M.A; J. Reyes-Santiago y O. González Z. 2017. Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género *Echeveria* También conocidas como conchitas, lenguas de vaca, rosetas y tememetla. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México.
- Martínez, P.F. y D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. p. 37-77. *In*: Flores R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Morales-Maldonado E. R. y F. Casanova L. 2015. Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana* 26(2):365-372.
- Morales, M. J. C., R. M. V. Fernández, C. A. Montiel y B. B. C. Peralta. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnia* 11(1):19-26.
- Pérez-Calix, E. 2008. Crassulaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 156. Instituto de Ecología. México.
- Reyes, J. 2009. Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas. Manual práctico. CONAFOR. Zapopan, Jalisco. 108 P.

- Reyes-Santiago, P. J., M.A. Islas L., O. González Z., O. Carrillo R., F.R. Vergara-S. y P. Pascal B. 2011. *Echeveria* manual del perfil diagnóstico del género *Echeveria* en México. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Silva, A. C. da, T. D. Correia, M. M. de Souza, de., J. T. Ferreira, A. da S. Adão, L. de A. Roberto y C. H. M. Ribeiro. 2022. Influence of commercial on the vegetative propagation of *Echeveria lilicina* Kim. & Moran. Research, Society and Development [S. I.] 11(10):e128111032499.
- Soriano S., M. D. 2018. Conductividad eléctrica del suelo. Universidad Politécnica de Valencia:2-10.
- Valenzuela, O. R., C. S. Gallardo, M. S. Carponi, M. Aranguren, H. Tabares y M. C. Barrera. 2014. Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento 4 (4):1-19.
- Yakhin, O. I, A. L. Aleksandr, A.Y. Ildus y H. B. Patrick. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. Front Plant Sci 7:2049.

SITUACIÓN ACTUAL DEL USO DE INSECTICIDAS EN EL CULTIVO DE LIMÓN PERSA

Rosa Isela Rosalino Antonio^{435*}, Isabel Araceli Amaro Espejo⁴³⁵, Juan Valente Megchún García^{435, 436}, Jeremías Nataren Velázquez⁴³⁷ y Jesús Montoya Mendoza⁴³⁵

Resumen

La agricultura es aquella actividad que el hombre realiza sobre la tierra con el único fin de producir todos aquellos vegetales necesarios para la alimentación de la población; sin embargo, hasta el presente, esta actividad ha requerido del uso de agroquímicos, los cuales han sido esenciales para el control de organismos dañinos y el incremento del rendimiento de los cultivos, especialmente los plaguicidas, sustancias que se utilizan de manera indiscriminada para el control de plagas y enfermedades agrícolas. Actualmente, los plaguicidas que más se utilizan son los organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, fenólicos, ftalimídicos y benzimidazoles; éstos han ocasionado daños irreversibles al medio ambiente y afectan de igual manera la salud de los trabajadores. El objetivo de la investigación fue realizar un diagnóstico para conocer los tipos de insecticidas que utilizan en el control de plagas durante las fases de cultivo del limón Persa (*Citrus X latifolia* Tanaka). El estudio se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, mediante la aplicación de una encuesta a productores agrícolas para contextualizar el uso de insecticidas del grupo neonicotinoides aplicados en las parcelas de este cultivo. Para esta actividad se diseñó un cuestionario semiestructurado con 31 preguntas abiertas y cerradas, que se aplicó a informantes claves de la zona productora; los resultados se analizaron con la paquetería Office Excel. Los resultados indicaron que las principales plagas del cultivo de limón Persa son: araña roja, trips, hormigas, ácaros y hongos, y que las abejas están presentes en la floración. Para el control de estos organismos se utilizan con mayor frecuencia las siguientes moléculas del grupo neonicotinoide: imidacloprid, clotianidina, dinotefuran y tiametoxam. Se concluye que los insecticidas de formulación química han sido indispensables para asegurar la producción agrícola en el municipio de estudio, ya que se utilizan para el control de insectos que afectan a los cultivos y son de gran interés económico.

Palabras clave: residualidad, plagas, toxicidad, neonicotinoides, cítricos

⁴³⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *Autor de Correspondencia: isabelamaro@bdelrio.tecnm.mx

⁴³⁶ INIFAP/Campo Experimental Ixtacuaco.

⁴³⁷ INIFAP/Campo Experimental Cotaxtla.

Introducción

Los sistemas agrícolas han permitido y transformado la naturaleza para obtener alimentos para la población, es por eso que, en el transcurso de los años la agricultura ha tenido un considerable enlazamiento entre las actividades y los ecosistemas seminaturales (Sans, 2007). La FAO (2015) reportó que hasta el momento la agricultura mundial ha sido capaz de responder a la demanda creciente de la población, con la producción de recursos agropecuarios. Ante esto, el uso de los agroquímicos en los cultivos agrícolas ha sido esencial para el control de organismos dañinos y el incremento del rendimiento de los cultivos, particularmente los plaguicidas, que son sustancias o compuestos utilizados de manera intensiva para el control de plagas y enfermedades agrícolas (Yadav *et al.*, 2015; Domínguez *et al.*, 2018). Por lo anterior, se ha llegado al uso excesivo de insumos agrícolas sintéticos, como los fertilizantes inorgánicos y los agroquímicos, que permiten garantizar la producción y calidad de los alimentos (Gálvez *et al.*, 2018). De acuerdo a la American Chemical Society, desde 1993 habían surgido más de 13 millones de productos químicos, a los que se han sumado 500,000 nuevos compuestos cada año (Ongley, 1997).

El concepto de los plaguicidas incluye sustancias tóxicas que son denominadas de acuerdo a su función: insecticidas, cuando el producto busca controlar insectos, fungicidas, en caso de tratar hongos, o herbicidas, en el caso de eliminar plantas indeseables (Bejarano *et al.*, 2017). Los plaguicidas más empleados en la agricultura son de los grupos químicos de los organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides, fenólicos, ftalimídicos y benzimidazoles. No obstante, muchos estudios han reportado que estos compuestos químicos causan daños en el ambiente, lo cual constituye una barrera para la comercialización internacional (Ravelo, 2009).

Aunque el uso de los plaguicidas en México dio inicio con la llamada Revolución Verde, en el periodo de 1960, la regulación de estas sustancias se incluyó más tarde con la finalidad de reducir sus impactos en el medio ambiente. En 1998 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEPA), en donde se establecieron los primeros criterios para evitar la contaminación del agua (artículo 120, fracción V), del suelo (artículo 134, fracción IV y artículo 135, fracción IV), la obligación de desarrollar normas oficiales mexicanas en esta materia (artículo 143) y el rechazo a la importación de plaguicidas prohibidos en los

países de origen (artículo 144) (DOF, 1988; Pichardo, 2006). Sin embargo, estas obligaciones no contienen un mandato explícito para que las empresas transmitan dicha información a las autoridades.

La mayoría de los plaguicidas que se utilizan en la agricultura se aplican por aspersión de polvos o soluciones acuosas al follaje de las plantas y malezas que proliferan junto a los cultivos. Éstos se volatilizan y se propagan al medio ambiente afectando principalmente la salud de los trabajadores agrícolas que no utilizan de manera adecuada el equipo de protección durante la aplicación; además, tienden a acumularse en los suelos y aguas superficiales, son transportados a través del aire a otros sitios o parcelas vecinas, donde las condiciones atmosféricas juegan un papel importante en la migración de las partículas (Fritz *et al.*, 2011, Butler-Ellis *et al.*, 2016).

Debido a las características particulares de los plaguicidas, se ha demostrado que causan afectaciones a la salud pública, por lo que muchos países han regulado sus aplicaciones y se ha prohibido el uso de un gran número de sustancias químicas (Bejarano *et al.*, 2017). En México, la falta de regulaciones no ha permitido la prohibición de plaguicidas considerados altamente peligrosos, y su aplicación se realiza desde la agricultura intensiva, hasta cultivos a pequeña escala (Bejarano *et al.*, 2017). Debido a que no se realizan buenas prácticas agrícolas y predominan las aplicaciones intensivas de éstos, se han encontrado residuos de insecticidas en frutas y hortalizas que se comercializan a nivel regional, nacional e internacional.

Con anterioridad, al grupo de neonicotinoides se les denominó nitro-guaninas, neonicotinilos, cloronicotinas y actualmente cloronicotinilos. De la misma manera en que los piretroides sintéticos, son elaborados a partir de las piretrinas naturales, los neonicotinoides también son semejantes y modelados a partir de la nicotina natural (Palumbo *et al.*, 2001; Montilla, 2012). La historia y desarrollo de este grupo insecticida tuvo inicio en el periodo de los 80 por Shell con la nithiazina, mientras que Bayer desarrolló el imidacloprid en la década de los 90.

Este grupo de insecticidas neonicotinoides se desarrollaron debido a que en su mayor parte son menos tóxicos para el ser humano, en comparación con los organoclorados, organofosforados y carbamatos, que con anterioridad se utilizaban a gran escala. La mayor parte de los neonicotinoides presenta una toxicidad menor en los mamíferos, que en los insectos; sin embargo, algunos productos de degradación son tóxicos (Yamamoto y Casida, 1999). La mayoría de los neonicotinoides son solubles en agua y el proceso de

descomposición se realiza de manera lenta en el medio ambiente, para que de esta manera las plantas puedan absorberlos y así proporcionar protección durante su crecimiento, evitando el ataque de los insectos.

En la década de los 90, este tipo de insecticidas, en particular imidacloprid se utilizó extensivamente. Fue a partir de la década de 2000 que se introdujeron otros dos neonicotinoides: clotianidina y el tiametoxam, que también se utilizaron en el control de plagas. En la actualidad la mayor parte del maíz que se cultiva en el medio oeste de Estados Unidos se trata con insecticidas pertenecientes al grupo de neonicotinoides; tiametoxam y clotianidina forman parte de los neonicotinoides más tóxicos para las abejas melíferas, causando el Síndrome del Colapso de las Abejas (Yamamoto y Casida, 1999; Mason *et al.*, 2012). El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico para conocer los tipos de insecticidas que utilizan en el control de plagas durante las fases de cultivo del limón Persa (*Citrus X latifolia* Tanaka), en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, el cual se encuentra ubicado entre los paralelos 18°44' y 18°59' de latitud norte y los meridianos 96°11' y 96°32' de latitud oeste, a una altitud de entre 10 y 200 m. El clima predominante en este municipio es cálido subhúmedo con lluvias en verano (100%), con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26°C y un rango de precipitación entre 1,100 y 1,300 mm. Este municipio cuenta con una superficie de 537.8 km², que representa el 0.7% del territorio estatal, de la cual, 203 km² se utilizan para la agricultura (SIEGVER, 2021).

Para conocer la situación actual del uso de los insecticidas, se elaboró una encuesta semiestructurada, que consta de 31 preguntas abiertas y cerradas, las cuales se aplicaron a productores y agricultores de limón persa (*Citrus X latifolia* Tanaka). Con la finalidad de obtener mayor apoyo visual y contexto se elaboró una infografía, con la clasificación de los principales insecticidas que integran un grupo llamado neonicotinoides de primera y segunda generación, cada uno con moléculas diferentes y marcas comerciales de la zona de estudio. El cuestionario incluyó temas de gran relevancia relacionados con el uso y manejo de los plaguicidas:

identificación de las principales plagas que afectan al cultivo de limón, tipo de insecticida, modo de aplicación de insecticidas en cada etapa fenológica, así como momento de aplicación (horas del día) y número de veces durante el año o por ciclo de cultivo. Los cuestionarios se aplicaron utilizando informantes claves de la zona de estudio, que identificaron a productores que se dedican al cultivo de limón Persa; posteriormente se realizó un recorrido técnico por las zonas productoras y las localidades y asentamientos humanos aledaños al cultivo. Se realizó un análisis de los datos con base a la información recabada con la paquetería Office Excel.

Resultados y discusión

Los encuestados reportaron las siguientes plagas que atacan o insectos que se presentan en el cultivo de limón Persa: trips (Thysanoptera: Thripidae), caracoles, hormigas (*Myrmelachista schumanni*), mosca prieta (*Aleurocanthus woglumi*), mosca blanca, araña roja (*Panonychus citri*), abeja (*Apis mellifera*) y polilla de limonero (*Prays citri*). El 73% de los productores encuestados se ven más afectados por la mosca blanca y la araña roja. Luppichini *et al.*, (2007) mencionaron que la mosquita blanca algodonosa (Homoptera: Aleyrodidae), en ocasiones alcanza niveles de daño económico en los huertos de cítricos, donde los ataques más intensos ocurren cuando se aplica reiteradamente insecticidas organofosforados, carbamatos o piretroides, debido a que estos eliminan gran parte de los enemigos naturales, con lo cual generan un incremento de la población plaga.

Para el control de plagas en el cultivo de limón, los productores realizan aplicaciones de diferentes insecticidas comerciales tales como Palgus (mezcla de spinetoram), Rescate (acetamiprid), Arrivo, Cima y Gallo que tienen como componente activo la cipermetrina, Foley (insecticida organofosforado) y Lorsban (clorpirifos), Engeo (abacmetina + tiametoxan), Abamectina y Muralla (imidacloprid + betaciflutrina) (Figura 1).

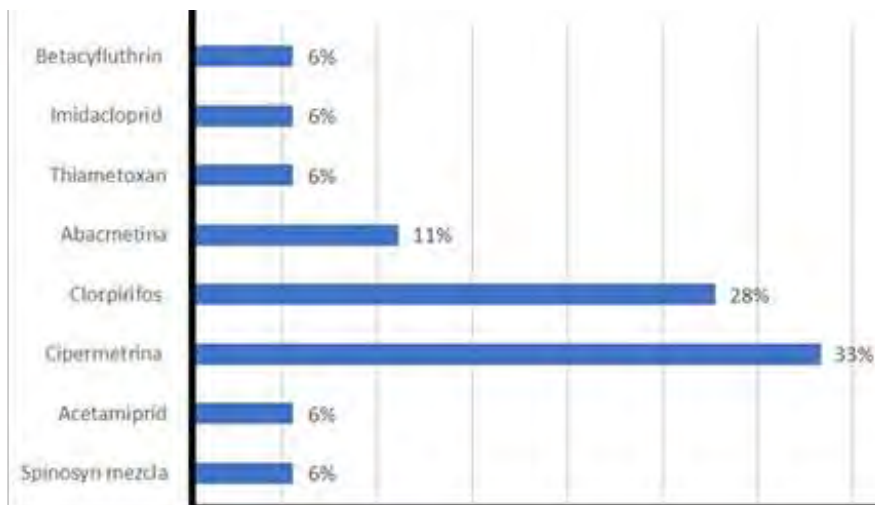


Figura 1. Porcentaje de insecticidas más utilizados en el cultivo de limón.

No obstante, el 36% de los productores indicaron que dejaron de usar el insecticida Arrivo (cipermetrina) debido a que han observado caída de flores y descomposición del fruto; sin embargo, otros productores continúan usándolo.

Con respecto a los grupos químicos de los insecticidas identificados, el 33% son compuestos organofosforados, el 39% piretroides, el 22% neonicotinoides y el 6% pertenece al insecticida Spinosad (Figura 2).

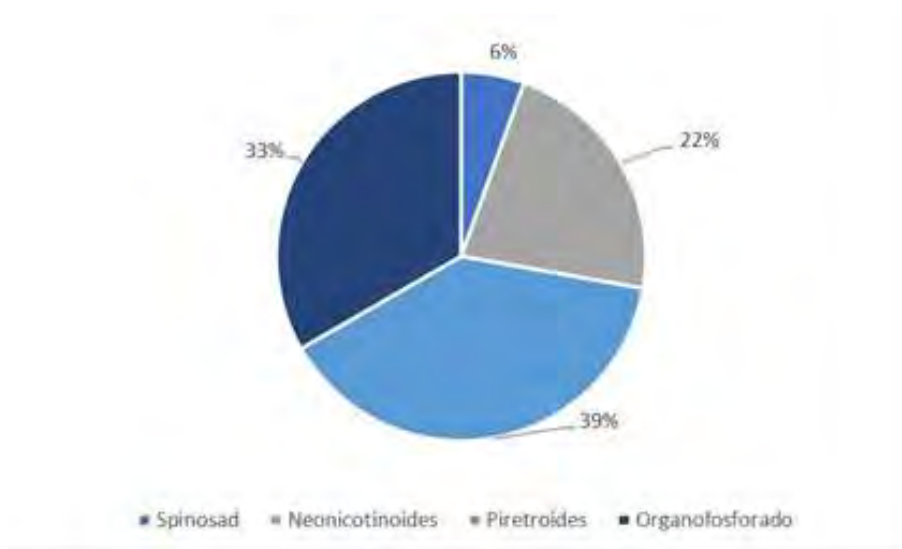


Figura 2. Grupos químicos de insecticidas utilizados en el control de plagas del cultivo de limón Persa.

Se ha reportado que los piretroides, pueden causar en una exposición breve a niveles muy altos de estos compuestos en el aire, los alimentos o el agua, pueden causar mareo, dolor de cabeza, náusea, espasmos musculares, falta de energía, alteraciones de la conciencia, convulsiones y pérdida del conocimiento. Los cambios de estado mental pueden durar varios días luego de que la exposición a altos niveles ha terminado. Así mismo, los insecticidas de origen sintético, como los neonicotinoides, se consideran potentes insecticidas sistémicos para el control de insectos chupadores, pero se ha reportado que representan un riesgo potencial en insectos benéficos polinizadores, como las abejas (Salinas-Sánchez *et al.*, 2020).

La aplicación de insecticidas se realiza principalmente por la mañana, y en raras ocasiones por la tarde-noche; los resultados arrojaron que las dosis utilizadas están de acuerdo a las especificaciones que marcan las etiquetas de los envases. Sin embargo, se han registrado datos de 1992 a 2002 donde se muestra un incremento en el consumo de plaguicidas por hectárea, cuyo registro máximo es de 1.8 t por 1,000 ha entre 1999 y 2002, mientras que el mínimo fue de 1.3 t por 1,000 hectáreas durante 1992 y 1995 (SEMARNAT, 2005).

Los reportes indicaron el 90% de los productores, realizan la aplicación de insecticidas piretroides y organofosfatos principalmente durante la etapa de la floración y formación de fruto, así como aplicaciones de fungicidas.

Conclusiones

Los productores del municipio de Cotaxtla, Veracruz, en el cultivo de limón Persa, están arraigados a utilizar los insecticidas de síntesis químicas para el control de plagas del cultivo, situación que amerita realizar programas de divulgación o de transferencia del conocimiento, para modificar los métodos de control de plagas, que permitan garantizar la utilización de insecticidas con menor impacto ecológico, ambiental, y de menor impacto a la salud pública.

Literatura citada

- Bejarano, G. F., D. Aguilera M., J. D. Álvarez S., E. Arámbula M., O. Arellano A., P. J. Bastidas B. *et al.* 2017. Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. Texcoco, Edo. de Méx., México. 351 p.
- Butler-Ellis M. C., J. C. van de Zande, F. van den Berg, M. C. Kennedy, C. M. O'Sullivan, C. M. Jacobs *et al.* 2016. The BROWSE: model for predicting exposures of residents and bystanders to agricultural use of plant protection products: An overview. *Biosyst. Eng.* 154:92-104.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf#:~:text=La%20formulaci%C3%B3n%20y%20ejecuci%C3%B3n%20de%20acciones%20de%20protecci%C3%B3n%20y%20preservaci%C3%B3n> [consultado el 30 de septiembre de 2024].
- Dominguez, C. M., N. Oturan, A. Romero, A. Santos and M. A. Oturan. 2018. Removal of lindane wastes by advanced electrochemical oxidation. *Chemosphere* 202:400-409.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 2015. Construir sistemas agroalimentarios sostenibles. <http://www.fao.org/home/es/> [consultado el 30 de septiembre de 2024].
- Fritz, B. K., W. C. Hoffmann, W. E Bagley and A. Hewitt. 2011. Field scale evaluation of spray drift reduction technologies from ground and aerial application systems. *J. ASTM Int.* 8(5):1-11.
- Gálvez Gamboa, G. T., M. R. Sánchez S., F. Parra C., J. García P., G. N Aviña M. y S. Santos V. 2018. Plaguicidas en la agricultura mexicana y potenciales alternativas sustentables para su sustitución. *Rev. Biológico Agropecuaria Tuxpan* 6(1):61-75.

- Luppichini, B. P., R. Ripa S., P. Larral D. y F. Rodríguez A. 2007. Manejo integrado de mosquita blanca algodonosa en cítricos. Rev. Tierra Adentro. Septiembre-octubre:28-30.
- Mason, R., H. Tennekes, F. Sanchez-Bayo, Uhd Jepsen P. 2012. Immune suppression by neonicotinoid insecticides at the root of global wildlife declines. J. Environ. Immun. Toxicol. 1(1):3-12.
- Montilla, P. J. 2012. Evaluación de insecticidas para el manejo de la chinche del aguacate, *Monalonia veltzangeli* Carvalho & Costa (HEMIPTERA: MIRIDAE). Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 81 p.
- Ongley, E. D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje- 55. GEMS/Water collaborating Center. Burlington, Canadá. 116 p.
- Palumbo, J. C., A. R. Horowitz and N. Prabhaker. 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. Crop Prot. 20:739-765.
- Pichardo, G. B. 2006. La Revolución Verde en México. Agrária, São Paulo 4:40-68.
- Ravelo, P. L. M. 2009. Metodologías analíticas alternativas para la determinación de plaguicidas en aguas y productos agroalimentarios. Tesis de doctorado. Universidad de La Laguna. San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España. 260 p.
- Salinas-Sánchez, D. O., G. Peña-Chora, M. González-Cortazar, A. Zamilpa, V. M. Hernández-Velázquez, L. J. Tagle *et al.* 2020. Efecto insecticida de una fracción de acetato de etilo de *Serjania schiedeana* Schltdl (Sapindaceae) contra *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae). Acta Agríc. Pec. 6:E0061013.
- Sans, F. X., 2007. La diversidad de los agroecosistemas. Ecosistemas 16(1):44-49.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005. México, D. F. 337 p

SIEGVER (Sistema de Información Estadística y Geográfica del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). 2021. Cuadernillos municipales, 2021. Cotaxtla. Xalapa, Ver., México. 10 p.

Yadav, I. C., N. L. Devi, J. H. Syed, Z. Cheng, J. Li, G. Zhang and K. C. Jones. 2015. Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. Sci. Total Environ. 511:123-137.

Yamamoto, I. and J. E. Casida (eds.). 1999. Nicotinoid insecticides and the nicotinic acetylcholine receptor. Springer Tokyo. Tokyo, Japan. 300 p.

REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE AGUAS GRISES MEDIANTE HUMEDALES DE TRATAMIENTO CON DIFERENTES SUSTRATOS

José Luis Marín Muñiz^{438*}, María Isabel Martínez de la Cruz^{438, 439}, Héctor Hernández García⁴⁴⁰
y Sergio Zamora Castro⁴³⁹

Resumen

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de San José de Pastorías, Actopan Veracruz, México. El objetivo fue comparar la remoción de contaminantes de aguas grises, mediante el uso de humedales de tratamiento domiciliarios (HC) sembrados con policultivos de vegetación ornamental (*Alpinia purpurata* y *Dieffenbachia seguine*) en diferentes tipos de sustratos (piedra porosa de río y material rugoso de PET). El sistema consistió en 4 HC sembrados con los dos tipos de plantas ornamentales, de los cuales 2 HC usaron como sustrato piedra porosa de río (Planta+Piedra) y los otros 2 HC empacados con material rugoso de PET (Planta+PET), el cual fue obtenido de residuos de botellas plásticas considerando únicamente las partes rugosas. Dos más HC sin vegetación fueron utilizados como control, uno para cada sustrato evaluado. Los parámetros analizados durante el estudio fueron pH, temperatura del agua y ambiental, humedad relativa, nitrógeno en sus formas de nitrato (N-NO₃) y amonio (N-NH₄) y Nitrógeno Total (NT). Las remociones obtenidas entre las celdas con vegetación en los dos tipos de sustrato se comportaron de manera similar en la remoción de N-NO₃ (59.6% Planta+PET y 57% Planta+Piedra) y de N-NH₄ (80.6% Planta+PET y 84.2% Planta+Piedra). Cuando se comparó entre las celdas control y con plantas, se detectó que la vegetación utilizada tomó un papel importante en la remoción de N-NO₃, N-NH₄ y NT, ya que demostraron ser estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) a sus respectivos controles. Cabe destacar que utilizar las plantas ornamentales en estudio mostró que además de que son capaces de crecer bajo condiciones de humedal, hacen que esta tecnología sea atractiva visualmente, otorgándole mejor posibilidad de aceptación. Además, al reutilizar residuos de PET se disminuye basura y se puede reutilizar el agua tratada para otros fines.

Palabras clave: fitorremediación, contaminantes, vegetación ornamental

⁴³⁸ El Colegio de Veracruz. *Autor de correspondencia: jmarin@colver.info

⁴³⁹ Universidad Veracruzana.

⁴⁴⁰ Tecnológico de Xalapa.

Introducción

El agua es un recurso vital que interviene fuertemente en la calidad de vida de la población, ya que su ausencia o su mala calidad afecta la salud y el bienestar de los usuarios (CONAGUA, 2015). La contaminación del agua es un problema que aqueja a la población a nivel mundial debido a que más del 80% de las aguas residuales, generadas en los países en vías de desarrollo, son descargadas sin algún tratamiento previo y como consecuencia han contaminado ríos, lagos y zonas costeras.

El problema de contaminación de los cuerpos de agua en México es debido a que no toda el agua residual generada es recolectada; por otra parte, de la que se logra recolectar en el alcantarillado, solo una parte de ella es tratada. De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en el 2015, los centros urbanos generaron 229.1 m³/s de aguas residuales, de los cuales el 92.5% se recolectó en el sistema de alcantarillado; solamente el 57% de estas aguas fueron tratadas (CONAGUA, 2016). En las zonas rurales (localidades menores a 2,500 habitantes), la cobertura del alcantarillado es 69.4%; esto es debido a que se encuentran en áreas fisiográficas complejas y, como consecuencia, se presentan mayores problemas de disposición de aguas residuales y de su respectivo tratamiento. Además, en el país se presentan problemas financieros para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de las infraestructuras destinadas al tratamiento; el uso de energía eléctrica y reactivos químicos genera altos costos; se presenta una falta de capacitación del personal operativo y poca preocupación de los usuarios para el pago de los servicios de saneamiento (SEMARNAT, 2013).

Por lo anterior, las plantas de tratamiento convencionales ya no suelen ser la opción más viable para la gestión de aguas. En las zonas rurales, donde se cuenta con una baja densidad de población, los sistemas de saneamiento *in situ* son más apropiados, los cuales atienden establecimientos a nivel individual o pequeños grupos de ellos; por otra parte, estos sistemas permiten la recuperación de nutrientes y energía, reservar agua dulce y en tiempos de escasez representa una fuente de agua. Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados resultan ser más económicos, ya que su instalación solo representa entre 20 y 50% de lo que se gastaría en una planta de tratamiento convencional; los costos de su operación y mantenimiento son entre un 5 y 25% del valor de las plantas de tratamientos de

lodos activados convencionales (UNESCO, 2017). Para este tipo de zonas, los humedales construidos, llamados en este estudio como humedales de tratamiento domiciliarios (HC) se han considerado como una solución factible para el tratamiento de aguas residuales, debido a sus bajos costos de construcción y mantenimiento, y a su fácil operación.

Los componentes de los HC son agua, grava, plantas y microorganismos; todos ellos interactúan entre sí permitiendo la remoción de contaminantes en las aguas residuales (Jaramillo *et al.*, 2016). Estos sistemas son celdas rellenas de un medio granular o poroso y donde se siembran plantas que ayuden a absorber contaminantes, cuyo proceso se le conoce como fitorremediación. Las plantas ornamentales en los HC tienen capacidad de depurar el agua; además, hacen que esta tecnología sea más atractiva visualmente de la que se puede obtener un beneficio económico al producir flores y por tanto una ayuda hacia las comunidades que operen este sistema (Hernández, 2016). Por otra parte, debido a que las plantas no son para consumo, estas no representarían un riesgo hacia la salud (Belmont *et al.*, 2006).

Los HC han resultado ser eficientes en la remoción de contaminantes de las aguas residuales municipales e industriales, principalmente en países de zonas templadas como Europa y Estados Unidos (Gallegos, 2010). Sin embargo, en México el uso de humedales para tratar aguas residuales ha sido menor, los pocos sistemas realizados han sido principalmente a nivel microcosmos (Marín-Muñiz, 2016) y aún resulta importante mejorar esta estrategia con el uso de nuevas especies de plantas de la región y con sustratos económicos de fácil obtención.

En la búsqueda de materiales de bajo costo y de alcance fácil, las partes rugosas de las botellas Tereftalato de polietileno (PET) podrían resultar ser una opción factible como sustrato en los HC. Con lo anterior se lograría dar otra utilidad a este abundante desecho, ya que en México se producen 9 mil millones de botellas anualmente, lo cual representa una tercera parte de la basura doméstica. Así mismo, en promedio 90 millones de botellas de agua purificada y de refresco son arrojadas en las calles, playas y bosques (García, 2006). También debe considerarse que se trata de un material que tarda en degradarse en el ambiente aproximadamente 500 años (García, 2006). Por todo lo antes expuesto, en este estudio se probó utilizar material rugoso de PET y comparar su utilidad con piedra porosa de río en humedales construidos sembrados con policultivos de plantas ornamentales de *Alpinia purpurata* y *Dieffenbachia seguine* a nivel domiciliario.

Materiales y métodos

Área de estudio

Los HC estudiados se encuentran instalados en la localidad de San José de Pastorías, Actopan Veracruz, México, la cual cuenta con una población de 580 habitantes y está ubicada a -96° 57'0556' de Latitud: 19.533° de longitud (INEGI, 2020).

Acondicionamiento de los humedales construidos

Obtención del sustrato (material residuo rugoso de PET). Se recolectaron botellas de plástico PET vacías, de las cuales se recortaron únicamente las partes que tenían pliegues o rugosidades como sus bases, cuellos y también los taparrosas.

Piedra porosa de río. Se recolectaron piedras pequeñas y grandes de un río cercano a la comunidad. Se escogieron las piedras con mayor porosidad, no lisas. Cabe señalar que aproximadamente el 50% de las piedras utilizadas en las celdas con sustrato piedra fueron obtenidas de estudios anteriores realizados en los mismos HC durante un año, por lo tanto, contenían biopelículas de microorganismos que servirían como inóculo.

Descripción de los humedales construidos

Los HC estudiados fueron del tipo subsuperficial horizontal y se encontraron instalados en el traspatio de una casa de tres habitantes. La composición del sistema consistió en:

a) Seis celdas de tamaño de 1.42 m x 0.63 m x 0.24 m (Largo x altura x ancho) fueron construidas: en la base de cada celda se colocó una capa de 15 cm de altura, compuesta de piedra porosa de río de tamaño grande (60% de porosidad). Posterior a esa base, tres celdas fueron empacadas con material rugoso de PET (5% de porosidad) hasta llegar 10.5 cm por debajo del borde de la celda (Figura 1). Donde dos celdas fueron sembradas con la mezcla de plantas de *A. purpurata* y *D. seguine*. La celda restante fue ocupada como testigo (CPET), sin presencia de plantas. Por otro lado, tres celdas fueron rellenas solo con piedra porosa (Planta + PET) de tamaño mediano (50% de porosidad), de las cuales dos fueron sembradas con la mezcla de vegetación (Planta + Piedra) y una celda perteneció al testigo de sustrato piedra porosa (CP). Para las seis celdas se colocó grava roja en la parte superior de las unidades de HC, esto para obstruir todos los orificios posibles, con la finalidad de evitar las condiciones

necesarias para proliferación de insectos o mosquitos, y en el caso de las celdas con PET, evitar que este flotara.

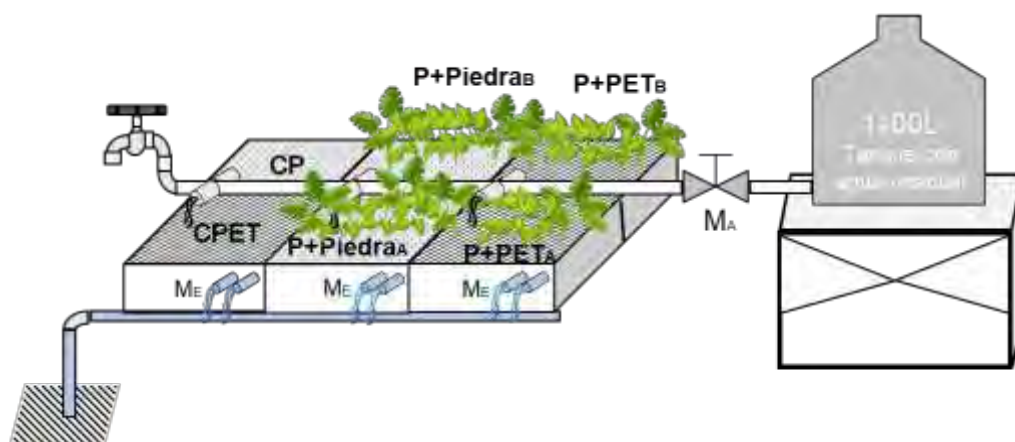


Figura 1. Humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. $P + Piedra_A$: celda con sustrato piedra y vegetación; $P + Piedra_B$: celda con vegetación en sustrato piedra B; $P + PET_A$: vegetación con sustrato PET celda A; $P + PET_B$: vegetación con sustrato PET celda B; CPET: Celda control con sustrato PET sin vegetación; CP: Celda control con sustrato piedra porosa de río sin vegetación; M_A : punto de muestreo en el afluente del humedal; M_E : punto de muestreo en el efluente del humedal.

Sembrado y adaptación de las plantas ornamentales

Las plantas ornamentales utilizadas en este estudio fueron obtenidas en el mismo sitio donde se llevó a cabo la investigación. *Alpinia purpurata* se obtuvo de la zona ribereña del río Topiltepec. *Dieffenbachia seguine* se obtuvo del traspasio de una casa de la misma zona. Es decir, ambas especies estaban adaptadas a las condiciones climáticas del sitio donde se llevó a cabo el estudio. El procedimiento de trasplante fue el siguiente: se escogieron doce plantas de *A. purpurata* de una altura aproximada de 30 cm cada una y cuatro plantas de *D. seguine* de una altura aproximada de 20 cm cada una.

Alimentación de los humedales construidos

- Posterior a 30 días de que los HC fueron alimentados con aguas no contaminadas para el proceso de adaptación de las plantas, estos fueron dotados con aguas grises, las cuales

después de ser generadas por los habitantes de la casa, se almacenaban en un tanque de 1100 L. El contenedor distribuyó las aguas grises por gravedad a cada una de los 6 HC a través de un tubo de PVC de 2", al cual se le adaptaron reguladores de flujo para irrigar por goteo en un flujo constante (Figura 1).

- El caudal utilizado fue de 32.84 L d⁻¹ para las celdas con un sustrato PET y de 36.9 L d⁻¹ para las dos celdas con sustrato de piedra y las dos celdas testigo, dichos caudales correspondieron a un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 3 días.
- Las aguas grises se mantuvieron aproximadamente 10 cm por debajo del nivel del sustrato. Para lograr conservar el nivel deseado de agua, a la salida del humedal se conectó un tubo tipo ganso de PVC de ½ pulgada, por medio del cual fueron obtenidas las muestras cada quince días.
- Los humedales de flujo subsuperficial horizontal construidos en este estudio, fueron un sistema de tratamiento terciario, ya que se encuentran precedidos por una filtración de las aguas grises antes de ser almacenadas en el tanque de 1100 L y por una sedimentación, la cual ocurre dentro del contenedor, ya que la tubería de salida de aguas grises se encuentra instalada a unos 10 a 15 cm de la base del mismo, permitiendo la precipitación de partículas sedimentables.

Muestreo

Se tomaron muestras del efluente de los HC quincenalmente y del afluente (aguas grises) se tomaron 3 d antes de cada muestreo. Los recipientes utilizados para cada muestra fueron de plástico de 500 mL de capacidad.

Monitoreo de los parámetros ambientales

La temperatura y humedad relativa se monitorearon diariamente a las 9:00, 12:00 y 18:00 horas, quincenalmente, desde diciembre 2026 hasta mayo 2017 con un termómetro Higrómetro (Thermometer modelo TA338). También se registró la intensidad de la luz del sol que incidía sobre las plantas en el mismo horario y periodo con un luxómetro marca HACH.

Crecimiento de las plantas

La altura y longitud de las plantas fue medida con una cinta métrica. El diámetro de los tallos fue medido con un vernier. Se contabilizó también los brotes de nuevas plantas.

Análisis de las muestras de agua

Quincenalmente la muestra de aguas grises del afluente y de los efluentes de los HC fueron monitoreados respecto a los parámetros de pH mediante el uso potenciómetro Jenway modelo 3510, la temperatura mediante un dispositivo digital de temperatura. Los análisis de las muestras de agua fueron realizados en el laboratorio 34-B de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, campus Xalapa. La concentración de nitratos se analizó mediante la técnica colorimétrica del ácido salicílico. La concentración de nitrógeno total se obtuvo mediante el método Kjeldahl, basado en la norma mexicana nmx-aa-026-scfi-2010 de análisis de agua. La cantidad de amonio en las muestras de agua fue analizada mediante el método de Nessler. Para calcular la eficiencia en la remoción los parámetros de nitratos (N-NO_3), amonio (N-NH_4) y nitrógeno total (NT), se calculó la concentración promedio de entrada y salida con la siguiente formula:

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{(C_i - C_e)}{C_i} \right) * 100$$

Dónde: C_i = concentración del contaminante en el influente (mg L^{-1}), C_e = es la concentración del contaminante en el efluente (mg L^{-1}).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico SPSS versión 19 para Windows. Los datos fueron analizados en cuanto a si estos eran normales o no con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para probar si había diferencias en las remociones entre los diferentes tratamientos se utilizó un ANOVA de una vía y la prueba de Tukey para detectar los valores significativos, cuando los datos fueron normales. Para los casos en que los datos no fueron normales, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

Resultados y discusión

Temperatura ambiental y humedad relativa

La temperatura promedio más alta registrada fue de 29.9°C en el mes de mayo y una temperatura mínima de 19°C en el mes de enero. En cuanto a la humedad relativa, el porcentaje más alto se obtuvo en el primer mes de experimentación (diciembre 2016) con un valor promedio de 97.7% y el valor mínimo registrado fue de 47.7% en el mes de marzo (Figura 2). Las condiciones ambientales en las que fueron sometidas las plantas no fueron impedimento para su crecimiento, ya que Kobayashi *et al.* (2007) reportaron que las temperaturas óptimas de crecimiento para *A. purpurata* son por encima de 15.5°C, de lo contrario la planta crece muy lentamente y se vuelve de color verde amarillento. En cuanto a *D. seguine*, Sánchez (2020) reporta que las temperaturas óptimas para su crecimiento oscilan entre 20 a 30°C, con una humedad relativa entre 65 a 90%, los valores de ambos parámetros se encontraron dentro del rango de las condiciones ambientales.

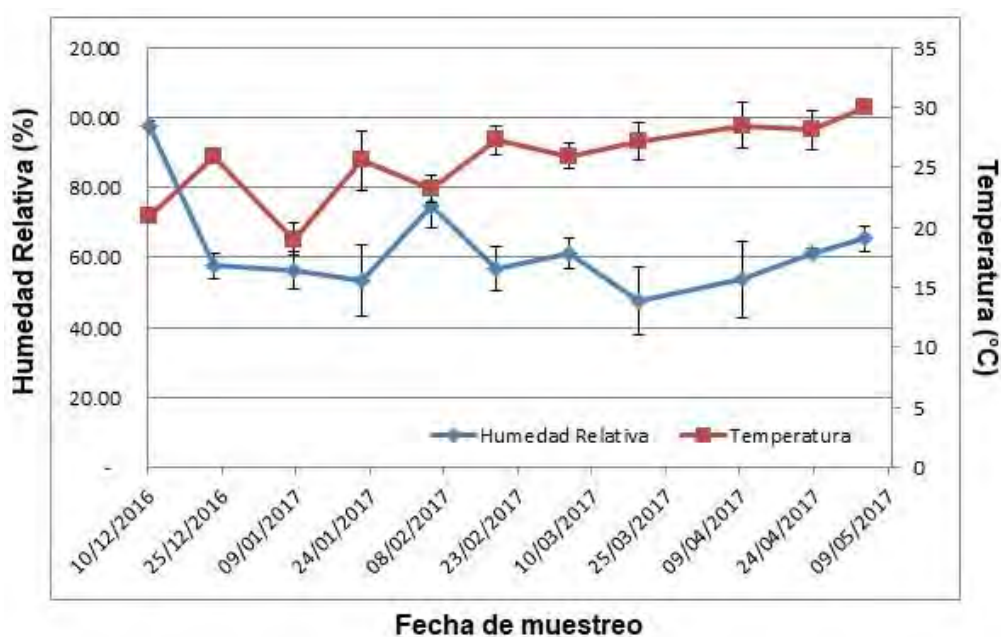


Figura 2. Temperatura ambiental y humedad relativa registradas en el periodo diciembre 2016 – mayo 2017

Intensidad lumínica

Todas las plantas como organismos autótrofos necesitan de la energía solar para realizar el proceso de la fotosíntesis, es decir, utilizan la energía del sol para la asimilación del carbono inorgánico de la atmósfera para producir materia orgánica (CONAGUA, 2015). En los HC, las plantas captan la luz solar y la transforman en energía química, la cual es utilizada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Como consecuencia indirecta los contaminantes de las aguas son removidos. La intensidad luminosa registrada en cada uno de los HC se muestra en la Figura 3, la cual osciló de los 10000 hasta los 80000 luxes.

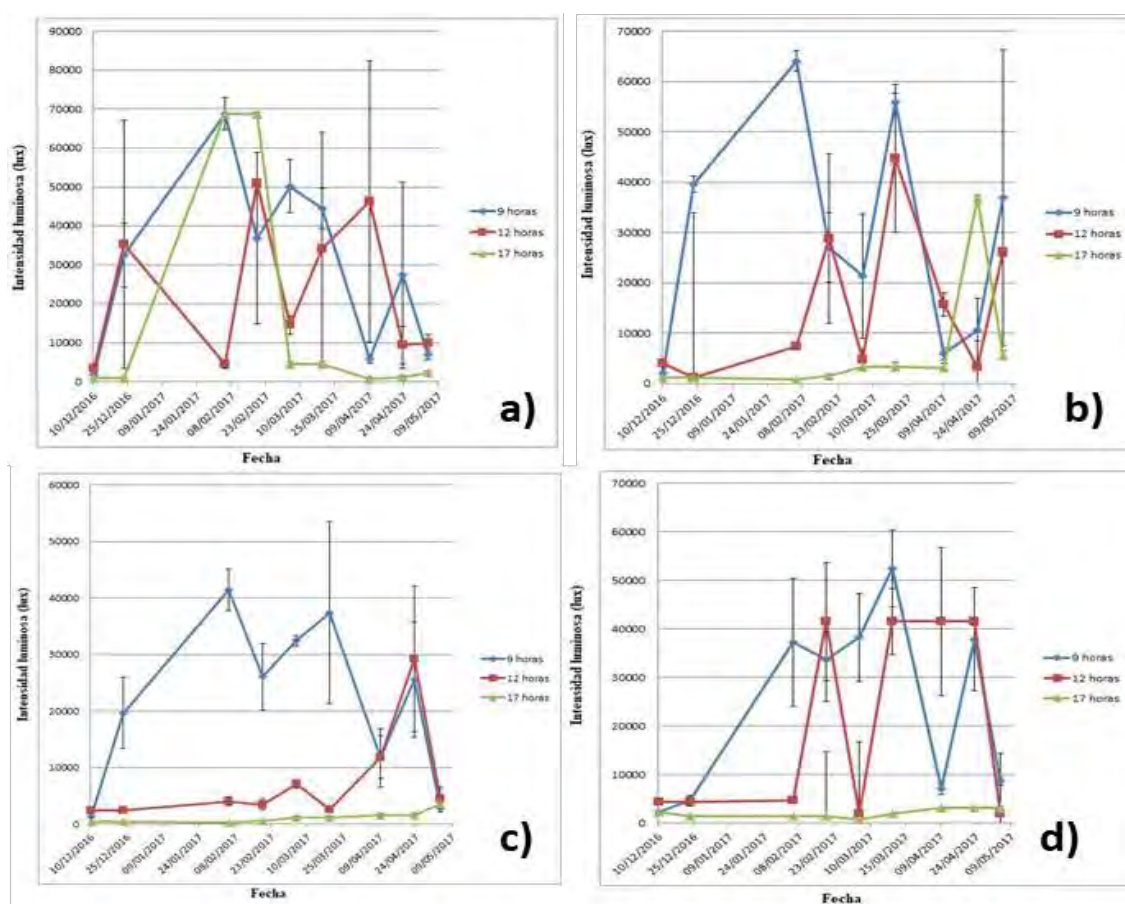


Figura 3. Intensidad luminosa en: a) CP; b) CPET; c) P + PET; d) P+ Piedra.

En los HC que contenían vegetación la intensidad luminosa promedio más alta fue de 52 427 Lux, por lo cual para la planta de *D. seguine* se ha visto que la luminosidad en la que puede

crecer oscila entre los 25 000 y 45 000 (Arredondo *et al.*, 2012), por lo cual las condiciones de luminosidad en el estudio no estuvieron alejadas de las requeridas.

Crecimiento de las plantas ornamentales

El crecimiento de *A. purpurata* y *D. seguine* fue monitoreado durante 5 meses, para ello se midió la altura y diámetro de los tallos en los HC con los dos sustratos evaluados. La altura máxima que se registró fue de 24.5 cm en la especie de *D. seguine* creciendo en sustrato piedra. En cuanto al crecimiento de las plantas en el sustrato materias rugoso de PET la altura máxima alcanzada fue de 17.9 cm por parte de la planta *D. seguine*, la cual a su vez fue la segunda mayor altura encontrada al final del experimento. El crecimiento en *A. purpurata* fue más lento (de 15 a 17 cm) en comparación a *D. seguine* (de 10 a 18 cm). Esta última se introdujo en el cuarto mes de estudio debido a que *A. purpurata* comenzó a morir; sin embargo, a su vez brotaron nuevos retoños (Figura 4). Esto sugiere que *A. purpurata* se adapta lentamente en comparación con la otra especie y que cuando es trasplantada primeramente elimina el follaje con el que se sembró.

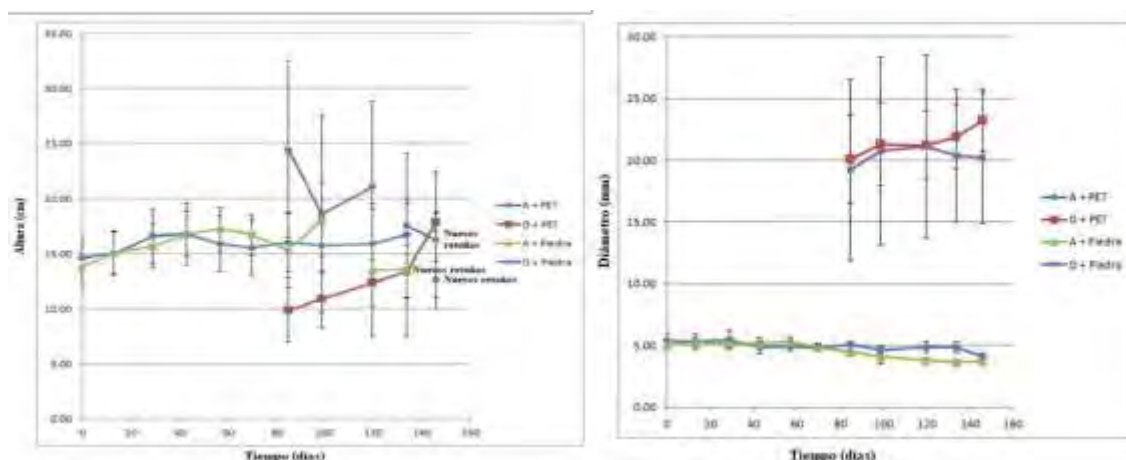


Figura 4. Crecimiento de *A. purpurata* y *D. seguine* respecto al tiempo (A+ PET: *A. purpurata* en sustrato PET, D + PET: *D. seguine* en sustrato PET, A + Piedra: *A. purpurata* en sustrato piedra, D + Piedra: *D. seguine* en sustrato piedra.

Nitratos (N-NO_3)

La concentración de nitratos fue baja tanto en el afluente como los efluentes; sin embargo, se registraron remociones después de haber sido tratadas (Figura 5). La concentración en el afluente osciló entre 0.29 ± 0.1 y $2.23 \pm 0.01 \text{ mg L}^{-1}$, mientras que en los efluentes de los HC el oscilo de 0 a $0.47 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$. Estos valores se encuentran por debajo de los máximos recomendados (10.0 mg L^{-1}) por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) en ríos, pero cabe recordar que es un caso a nivel domiciliario, mientras que en aguas residuales municipales o comunitarias, las concentraciones suelen ser mayores a los límites máximos permitidos. Los porcentajes de remoción obtenidos durante el estudio demuestran ser similares en los tratamientos sin importar el tipo de sustrato ($p > 0.05$), a excepción del control piedra en el que se registró una diferencia significativa con respecto al tratamiento P + PET ($p = 0.010$), con el tratamiento P + Piedra ($p = 0.008$) y con el CPET ($p = 0.024$). La menor remoción registrada en el estudio fue de 32.6% en el CP, por el contrario, la mayor remoción obtenida fue en la celda con Planta y sustrato PET con un valor de 59.6% (Figura 5).

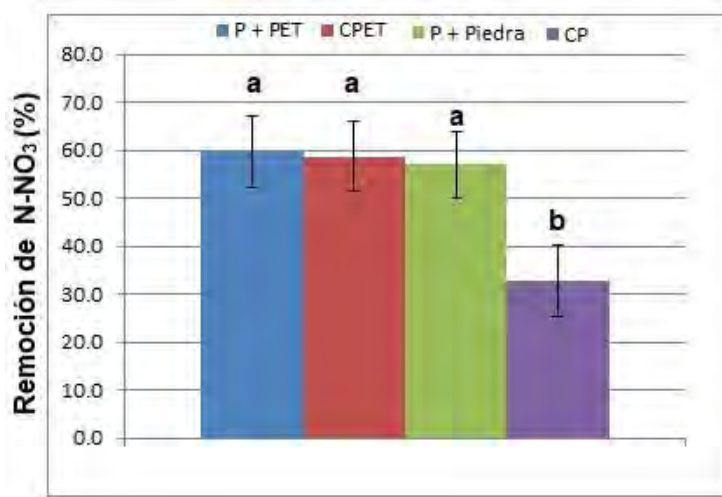


Figura 5. Porcentaje de remoción de N-NO_3 en los testigos y en los sistemas con plantas.

La mayor remoción se encontró en el tratamiento P+PET y como se había determinado anteriormente fue una de los HC con mayor crecimiento en vegetación, la cual es esencial para que se produzca el efecto de remoción de nutrientes tal como sucede en los procesos de

nitrificación y desnitrificación. Los microorganismos responsables se adhieren a las raíces de las plantas debido que es en estas zonas donde se crean ambientes micro-aeróbicos debido a la oxigenación liberada por las raíces de las plantas y también por su liberación de exudados que son una fuente de compuestos de carbono ideal para estos microorganismos (Gersberg *et al.*, 1986).

Amonio (N-NH_4)

El nitrógeno del agua residual no tratada, principalmente se encuentra en sus formas de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. En la naturaleza, como se deduce del ciclo del nitrógeno, el nitrógeno orgánico y el amoniacal se convierten primero en nitrito y después en nitrato (Metcalf y Eddy, 1994). Es por ello que, una remoción alta, indicaría una buena conversión del nitrógeno a sus formas de nitrato o nitritos. En este caso, los HC con vegetación tuvieron una mayor remoción de amonio en comparación con los HC control. La remoción más alta registrada fue de 73.8% el tratamiento P + PET (Figura 6), lo cual coincide con las bajas remociones encontradas en el mismo tratamiento para nitratos (debido a una alta generación de ellos), es decir, el amonio está siendo constantemente convertido en nitratos mediante la nitrificación, por lo cual las concentraciones amonio en el efluente son menores a al de las entradas.

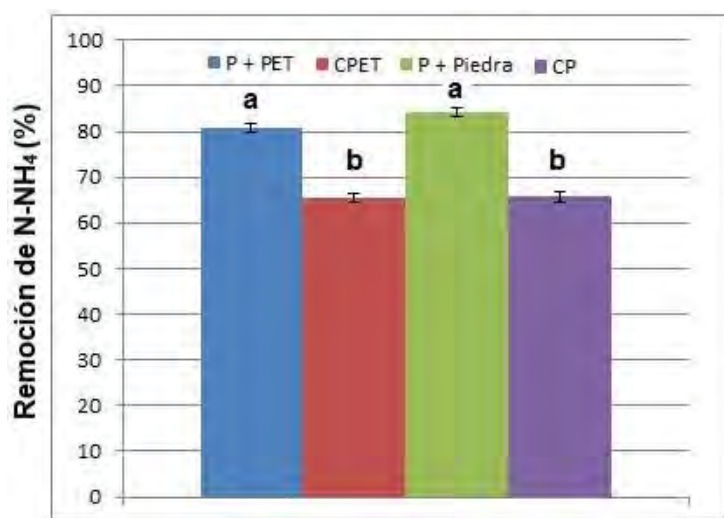


Figura 6. Porcentaje de remoción de N-NH_4 en los controles y en los sistemas con plantas.

Este comportamiento no se observó en su control, es decir, sin la presencia de vegetación, mostrándose diferencias significativas ($p = 0.001$) entre ambos tratamientos. Por lo cual se puede constatar la importancia que tuvo las plantas en la remoción del nitrógeno en forma de amonio. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tipos de sustrato, utilizando el mismo tipo de plantas ($p > 0.05$). La remoción alcanzada en el tratamiento P + Piedra fue de 71%, el cual tuvo diferencias significativas ($p = 0.001$) con respecto a su control con una remoción de 56%.

Nitrógeno total (NT)

El nitrógeno total determinado en laboratorio está compuesto por el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico y éste está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato, nitrito y amonio (Sardiñas y Pérez, 2004). En este caso, la remoción tendió a ser mayor en el tratamiento P+ Piedra, con un valor de 84.2% (Figura 7).

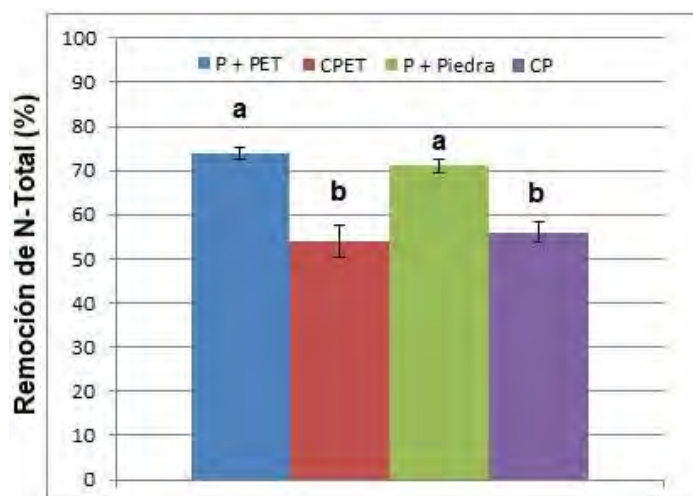


Figura 7. Porcentaje de remoción de NT en los controles y en los sistemas con plantas.

Sin embargo, este no mostro diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto al tratamiento de P + PET, el cual tuvo una remoción de 80.6%. No se dio así en el caso de los controles, ya que ambos presentaron remociones similares entre ellos, por lo cual no fueron diferentes estadísticamente ($p > 0.05$), pero si diferenciaron significativamente en los tratamientos con vegetación con su respectivo sustrato ($p < 0.05$). Las remociones relativamente altas

encontradas pudieron deberse a que, con base al análisis hecho para nitratos y amonio, se está dando reducción de nitrógeno atmosférico en el proceso de la desnitrificación en el mayor de los casos y que la vegetación en conjunto con los microorganismos que se formaron en sus raíces.

Conclusiones

El uso de HC con plantas ornamentales como sistemas de tratamiento de aguas residuales resulta una opción viable para eliminar Nitrógeno en su forma de Nitratos y Amonio. Las plantas ornamentales demostraron adaptarse a condiciones de humedal con sustrato rugoso de PET, mostrando buen crecimiento y salud. El sustrato material rugoso de PET demostró tener un comportamiento similar al sustrato piedra porosa de río, por lo cual se recomienda el uso de residuos de PET, los cuales no generan ningún costo, y favorece la disminución de estos en el ambiente, como basura. Usar HC con plantas ornamentales como *A. purpurata* y *D. seguine* para tratar aguas residuales hace posible el reúso del agua para áreas verdes, además usar este tipo de plantas genera un paisaje estético y atractivo que apoya en una mejor aceptación.

Literatura citada

- Arredondo A., R. Ávila y L. Muñoz. 2012. Fichas descriptivas de 52 plantas ornamentales que se comercializan en la Huasteca Potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F. 59 p.
- Belmont, M. A., M. Ikonomou and C. D. Metcalfe. 2006. Prescence of nonylphenol ethoxylate surfactants in watershed in central Mexico and removal from domestic sewage in a treatment wetland. Environ. Toxicol. Chem. 25:29-35.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. 214-224 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Estadística el Agua en México edición 2016. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 195 p.
- Gersberg, R., B. Elkins., S. Lyon and R. M. Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Res. 20:363-368.
- Hernández, M. E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. RINDERESU 1(2):01-12.
- Gallegos, I. 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Monografía para obtener el título de Tecnóloga Química. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías. Pereira Colombia. 178 p.
- García, A. 2006. Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa. Eumed.net. España. 76 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales.
- Jaramillo, M., R. M. Agudelo y G. A. Peñuela. 2016. Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. Rev. Fac. Nac. Salud Públ. 34(1):20-29.
- Marín-Muñiz, J. 2016. Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México. Rev. Mex. Ing. Quím. 15(2):553-563.

- Kobayashi, D., J. McEwen and A. Kaufman. 2007. Ornamental Ginger, Red and Pink. College of Tropical Agriculture and Human Resources 37:1-8.
- Metcalf, L. y H. P. Eddy. 1994. Ingeniería Sanitaria y tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor. Colombia. 969 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. México, D.F. 36 p.
- Sánchez, J. 2020. *Dieffenbachia seguine*. Disponible en: <http://www.arbolesornamentales.es/cultivo%20de%20Dieffenbachia.pdf>
- Sardiñas, O y A. Pérez. 2004. Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. Rev. Cubana Hig. Epidemiol. 42(2):1-4.
- UNESCO (Organización de la Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París. pp 3 -10.

USO DE PLANTAS HIDRÓFITAS PARA FITORREMEDIACIÓN EN HUMEDALES CONSTRUIDOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Karina Elizabeth Martínez Aguilar^{441*}, Irma Zitácuaro Contreras¹⁴¹ y José Luis Marín Muñiz⁴⁴¹

Resumen

Uno de los usos que se les ha dado a las plantas hidrófitas, aprovechando sus características de vivir en ambientes inundados o semi-inundados, es en la fitorremediación en humedales construidos. En México diversos autores han realizado proyectos a nivel académico, domiciliarios y comunitarios con buenos resultados en cuanto a la eficiencia de remociones de contaminantes. Este estudio corresponde a una investigación documental con un proceso de revisión de la información a través de una técnica de análisis de contenido de tipo horizontal, considerando categorías de clasificación entre las que se incluyeron ubicación, tipo de humedal, escala del sistema y tipo de plantas empleadas. Entre los resultados encontrados, se puede observar que gran parte de los sistemas emplean plantas hidrófilas con propiedades ornamentales, como la *Canna*, *Heliconia*, *Alpinia purpurata*, *Anthurium sp*, entre otras; además, se identificaron algunas potencialidades del uso de plantas hidrófitas cultivadas en humedales construidos, como son la elaboración de artesanías (*Typha latifolia*), elaboración de arreglos ornamentales y reproducción de especies con alto valor comercial (*Anthurium andreaeanum*, *Zantedeschia aethiopica*, *Zingiber spectabile*). En el estado de Veracruz, este tipo de ecotecnologías se ha estado implementado de forma parsimoniosa desde años atrás, implementando desde sistemas a escala experimental (microcosmos, mesocosmos, escala piloto), hasta sistemas a gran escala que brindan un tratamiento real, in situ, y con lo cual se han obtenido excelentes resultados. Se espera que, en los años venideros, con la difusión de la ecotecnología así como de la gran diversidad de experiencias y resultados favorables que demuestran el potencial de depuración del agua residual, se pueda fomentar el uso de los humedales de tratamiento en otras regiones del estado de Veracruz.

Palabras clave: agua residual, remoción, contaminantes, plantas

Introducción

México se considera como un país "megadiverso" en flora y fauna, alberga más de 5,000 especies de plantas endémicas, entre estas especies se encuentra la vegetación, las cuales

⁴⁴¹ El Colegio de Veracruz. *Autor de correspondencia: karina.m.aguilar@hotmail.com

son plantas vasculares que viven en ambientes con agua dulce o de transición, donde pueden estar sumergidas, flotando o arraigadas a suelos inundados o bien aquellas plantas que viven en el agua o en un suelo cubierto o saturado de agua (CONABIO, 2023). Mora-Olivo *et al.*, 2013, determinaron que en los humedales de México se localizan 240 especies de hidrófitas vasculares estrictas (en 106 géneros y 62 familias). Estas plantas se caracterizan por: desarrollar flores, frutos y semillas, carecen de lignina por lo que son menos resistentes, presentan aerénquimas en los tallos y hojas, tienen más clorofila y pueden captar más luz solar (Editorial Grudemi, 2022).

La clasificación de las plantas acuáticas se da en función de si están o no arraigadas al fondo y de la localización de las hojas con respecto a la superficie del agua: a) Hidrófitas emergentes con raíces, rizomas fijos al sustrato, hojas, flores y tallos aéreos; b) Hidrófitas arraigadas al sustrato con hojas flotantes, sus flores crecen sobre las hojas, se les denomina también nenúfares, los tallos están sumergidos y las hojas flotantes, los aerénquimas tienen grandes cámaras de aire para mantenerse sobre el agua; c) Hidrófitas sumergidas, los tallos, las hojas completamente sumergidos y capaces de absorber agua, habitan suelos sumergidos de hasta 10 m de profundidad; y d) Hidrófitas flotantes, con hojas aéreas o flotantes con aerénquimas para mantenerse sobre el agua y también se encuentran completamente sumergidas en la columna de agua, las raíces no están ancladas al sustrato, pueden ser transportadas por las corrientes (Editorial Grudemi, 2022).

La vegetación acuática condiciona las propiedades físicas y químicas del agua, esto mediante el intercambio entre el ambiente terrestre y acuático, además, son componentes importantes de los ecosistemas lacustres, responsables de suministrar nichos para otros niveles tróficos, reciclar nutrientes y estabilizar sedimentos (Mitsch y Gosselink 1993).

Uno de los principales usos que han tenido las plantas hidrófitas, aprovechando sus características de vivir en ambientes inundados o semi-inundados es en la fitorremediación en humedales construidos, utilizando especies que además tienen potencialidades ornamentales y artesanales (Zurita *et al.*, 2011; Marín-Muñoz, 2016). En México diversos autores han realizado proyectos a nivel académico y domiciliarios y comunitarios con buenos resultados en cuanto a la eficiencia de remociones de contaminantes, estos proyectos generalmente son para depurar aguas residuales de origen doméstico (Sandoval-Herazo *et al.*, 2018). Ante estos

antecedentes, el objetivo de este estudio es analizar el uso de las plantas hidrófitas para fitorremediación en humedales construidos en el estado de Veracruz.

Materiales y métodos

El estudio es una investigación documental de investigaciones realizadas en materia de saneamiento de aguas residuales mediante la ecotecnología de humedales construidos, donde el agente de remediación son plantas hidrófitas adaptadas a vivir en aguas residuales donde obtienen materia orgánica en una variedad de concentraciones. La estructura de la investigación se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Metodología de la investigación documental aplicada en este estudio.

Área de estudio

La investigación se realizó considerando la información existente en el portal del Google Académico, limitando los resultados a los humedales de tratamiento existentes en el Estado de Veracruz. Veracruz se localiza en la parte central de la vertiente del Golfo de México, en las coordenadas geográficas extremas: Al norte 22° 28', al sur 17° 09' de latitud norte; al este 93° 36', al oeste 98° 39' de longitud oeste, y cuenta con una extensión de 71,823.5 km² lo que representa 3.7% de la superficie del país (INEGI, 2024). En la Figura 2, se puede observar la localización del área de estudio, en el interior de la República Mexicana.



Figura 2. Ubicación del Estado de Veracruz, en el interior de la República Mexicana (Fuente: Elaboración propia – QGIS, 2024).

El área de estudio se delimitó a Veracruz por ser uno de los estados con mayor extensión de costa y por su biodiversidad, debido a su posición geográfica y a su diversidad en climas, desde los cálidos costeros hasta los hielos permanentes en la zona veracruzana del Pico de Orizaba, los escurrimientos que se originan en esta montaña, dan origen a ríos caudalosos que desembocan en el Golfo de México, además comparte cuencas con los estados de Puebla y Oaxaca que también contribuyen aguas arriba con fuentes importantes de agua. De acuerdo con la CONAGUA (2022), el estado de Veracruz tiene presencia de nueve de los principales ríos de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe, estos son; Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco, Tonalá, Nautla, Jamapa, La Antigua, Cazones y Tuxpan, en el caso del río Papaloapan es el segundo en caudal superado únicamente por el sistema Grijalva-Usumacinta, ambos en la vertiente oriental del Golfo de México, asimismo, el tercer lugar lo tiene el río Pánuco (CONAGUA, 2022). Esta red hidrológica hace referencia a las condiciones de la existencia de humedales naturales en el Estado y de la diversidad de plantas hidrófitas existentes.

Categorías de análisis

Esta investigación se encuentra basada en los resultados proporcionados por Google Académico, en el cual se llevó a cabo una búsqueda documental empleando las palabras clave “humedales artificiales” or “humedales contruidos” or “humedales de tratamiento” or

“humedales bioingenieriles” and “Veracruz”. El proceso de revisión de la información se realizó a través de una técnica de análisis de contenido, empleando un análisis de tipo horizontal, recopilando la información obtenida en una base de datos en el programa Excel, considerando categorías de clasificación entre las que se incluyeron ubicación, tipo de humedal, escala del sistema y tipo de plantas empleadas; considerando lo anterior, se pudo obtener una sistematización de los resultados con base en las categorías de análisis.

1. Localización

La primera categoría de análisis de esta investigación corresponde a la ubicación del humedal de tratamiento, puesto que esta investigación se limita únicamente a los humedales de tratamiento existentes en el Estado de Veracruz. Aplicando este primer criterio, los resultados arrojaron una revisión de 77 resultados, considerando publicaciones científicas, artículos de libro, memorias de congreso, entre otros textos.

2. Tipo de humedal

Se recopiló información referente a la clasificación de los humedales de tratamiento, considerando su clasificación de acuerdo al tipo de flujo de agua, señalada por Kadlec (2008) y Hernández (2013), y referida por Marín-Muñoz *et al.*, (2023); dicha clasificación esta representada en la Figura 2, en la cual se puede apreciar las categorías principales de clasificación como superficial y subsuperficial, y la subclasificación de los humedales subsuperficiales como de flujo horizontal o vertical, así como posibles combinaciones para los humedales considerados como “híbridos”.

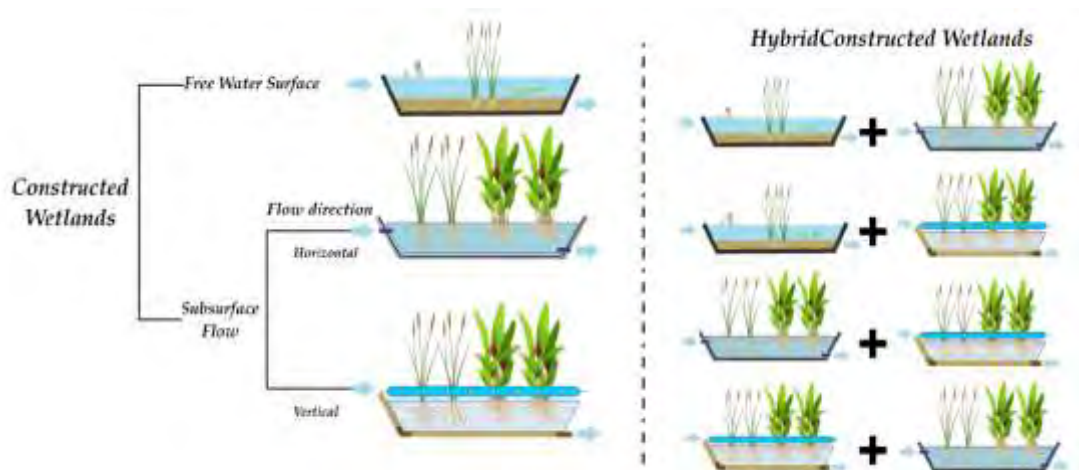


Figura 2. Tipos de humedales construidos (Fuente: Marín-Muñoz, 2023).

3. Escala del sistema

En el análisis de los humedales de tratamiento, se consideró la escala del experimento; para la clasificación de lo anterior, se tomó como referencia la clasificación señalada por Marín-Muñoz *et al.* (2023), en la cual se plantean las escalas referidas en la Figura 3, considerado las escalas de microcosmos, mesocosmos, escala piloto y gran escala.





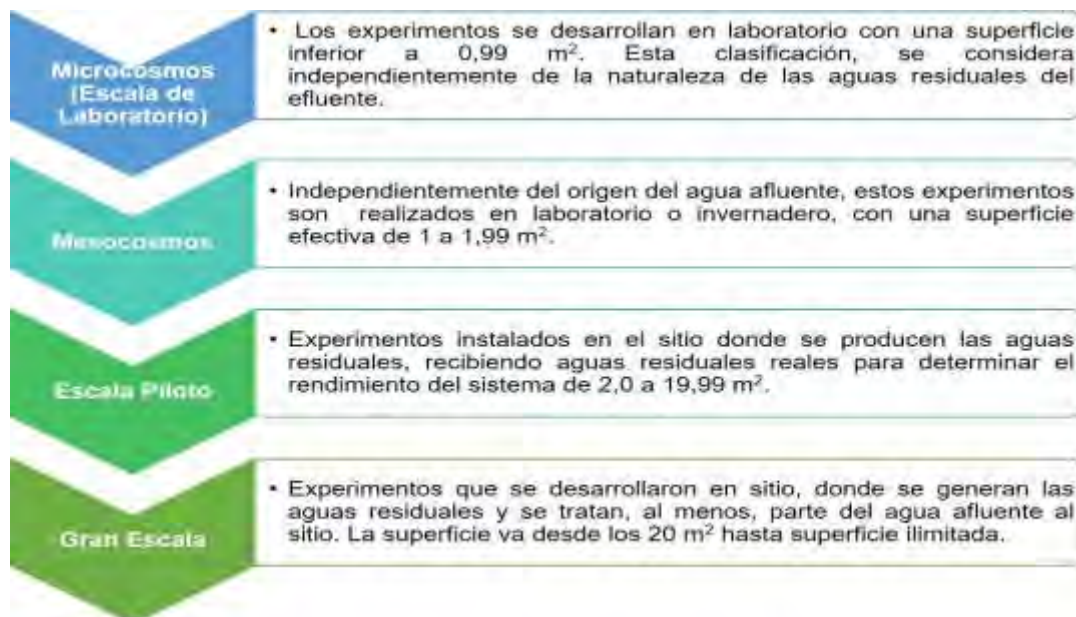


Figura 3. Tipos de humedales construidos (Fuente: Marín-Muñoz et al., 2023).

4. Tipo de plantas empleadas

Dado que la vegetación es un componente indispensable en un humedal de tratamiento, la selección de las especies utilizada en el sistema es importante, ya que de ella depende parte de la eficiencia de la remoción de contaminantes efectuada por el sistema; por lo anterior, en este apartado, se consideró identificar el tipo de plantas utilizadas en los sistemas de humedales de tratamiento.

Resultados y discusión

El Cuadro 1, muestra los resultados de los humedales de tratamiento que se identificaron en el estado de Veracruz, señalando el tipo de sistema, su escala y la vegetación utilizada.

Cuadro1. Humedales construidos en el Estado de Veracruz.

Ubicación	Tipo de sistema	Escala del sistema	Vegetación
Pinoltepec, Emiliano Zapata, Ver.	HSSF	Gran escala	<i>Typha sp.</i> , <i>Zantedeschia aethiopica</i> ., <i>Hedychium coronarium</i> . <i>Cyperus papyrus</i>
Xalapa, Ver.	HSSF	Gran escala	<i>Hedychium coronarium</i> , <i>Strelitzia reginae</i> , <i>Zantedeschia aethiopica</i> , <i>Lilium sp.</i> , <i>Cyperus papyrus</i> , <i>Heliconia sp.</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.	HSSF	Gran escala	<i>Typha sp.</i> , <i>Canna hybrids</i>
Boca del Río, Ver.	N.E.	Gran escala	<i>Alpinia purpurata</i> ., <i>Ruellia brottoniana</i> ., <i>Canna hybrids</i> ., <i>Cyperus papyrus</i> ., <i>Heliconia pisittacorum</i> ., <i>Pennisetum setaceum</i> and others ND.
Xalapa, Ver.	Biodigestor + VSSF	Gran escala	<i>Cyperrus papyrus</i> , <i>Heliconia sp.</i>
Nautla, Ver.	HSSF	Gran escala	<i>Canna hybrids</i> , <i>Alpinia purpurata</i> , <i>Cyperus papyrus</i>
Misantla, Ver.	HSSF	Microcosmos	<i>Anthurium sp</i> , <i>Lavandula sp</i> , <i>Spathiphyllum wallisii</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i>)
San José de Pastorías, Actopan, Ver.		Mesocosmos	<i>Zantedeschia</i> y <i>Canna sp.</i>
Misantla, Ver.	VSSF	Mesocosmos	<i>Canna hybrids</i> , y <i>Zantedeschia aethiopica</i>
Xalapa, Ver.	HSSFCW	Mesocosmos	<i>Typha sp</i>
Xalapa, Ver.	SSFCW	Microcosmos	<i>Typha latifolia</i> and <i>Phragmites karka</i>
Misantla, Ver.	HSSFCW	Escala piloto	<i>Heliconia latispatha</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Cyperus alternifolius</i> , <i>Heliconia latispatha</i> + <i>Typha latifolia</i> , <i>Heliconia latispatha</i> + <i>Cyperus alternifolius</i> .
N.E. (Región tropical del estado)	HSSFCW	Gran escala	<i>Typha latifolia</i> and <i>Canna hybrids</i>

Ubicación	Tipo de sistema	Escala del sistema	Vegetación
San José de Pastorías, Actopan, Ver.	HSSFCW	Gran escala	<i>Canna hybrids, Spathiphyllum blandum, Anturium spp., and Thypha spp.,</i>
Xalapa, Ver.	HSSFCW	Mesocosmos	<i>Typha sp. and two were left without plant as controls.</i>
Misantla, Ver.	Hibrido	Escala piloto	<i>Heliconia latispatha</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.	HSSFCW	Mesocosmos	<i>H. coronarium, S. wallisii</i>
Orizaba, Ver.	VSSFCW	Escala piloto	<i>Hippeastrum rutilum and Spathiphyllum wallisii</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.	HSSFCW	Microcosmos	<i>H. coronarium, S. papyrus y C. Indica</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.	HSSFCW	Microcosmos	<i>Typha spp., Typha spp. And A. purpurata, Z. aethiopica</i>
Boca del Río, Ver.	HSSFCW	Gran escala	<i>Canna indica, Alpinia purpurata, Xanthosoma robustum, Heliconia psittacorum, Cyperus papyrus, Equisetum arvense, Pistia stratiotes, Iris germanica, Spathiphyllum wallisii, Pennisetum purpureum, Crossandra, Ruellia brittoniana, Cyperus papyrus, Ruellia brittoniana, Pennisetum purpureum, Amaranthus.</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.		Escala piloto	<i>Dieffenbachia seguine, Canna hybrid and policultivos</i>
Misantla, Ver.	HSSFCW	Escala piloto	<i>H. latispatha</i>
San José de Pastorías, Actopan, Ver.		Microcosmos	<i>Canna indica; Pontederia sagittata, and Spathiphyllum wallisii.</i>
Xalapa, Ver.	SFCW	Mesocosmos	<i>S. blandum</i>
Misantla, Ver.	HSSFCW	Escala piloto	<i>Hippeastrum striatum and Heliconia lastisp</i>

Notas: N.E.=No Especificado. HSSFW=Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Horizontal. VSSFW=Humedal Construido Subsuperficial de Flujo Vertical. Fuente: Elaboración propia.

Entre los resultados encontrados, se puede observar que gran parte de los sistemas emplean plantas hidrófilas con propiedades ornamentales, entre las cuales encontramos la *Canna*, *Heliconia*, *Alpinia purpurata*, *Anthurium sp*, entre otras. Diversos estudios han evidenciado que las algunas especies de plantas hidrófitas tienen propiedades para la fitorremediación que son utilizadas como un potencial ambiental para la depuración de contaminantes de agua.

El Cuadro 2, muestra especies de plantas que se han identificado como agentes para la fitorremediación como potencial ambiental para el saneamiento de aguas residuales con alternativas no convencionales como lo son la ecotecnología de humedales construidos. Estas especies tienen además uso artesanal (*Typha latifolia*) y ornamental (*Gladiolus spp*, *Iris (japonica)*, *Heliconia [sp, stricta, psittacorum, rostrata]*, *Zantedeschia aethiopica*, *Anthurium andreanum*, *Alpinia purpurata*, *Zingiber spectabile* y *Spathiphyllum*) (Zitácuaro-Contreras et al., 2021).

Cuadro 2. Especies de plantas hidrófitas utilizadas como agentes para la fitorremediación en humedales construidos en México.

Nombre científico	Contaminante medido	Uso/biomasa área/ tiempo de anaquel
<i>Pragmites australis</i>	DBO ₅ , G y A, N, PO ₄	Artesanal/ planta de maceta, hoja y flor
<i>Gladiolus spp</i>	DBO ₅ , G y A, N, PO ₄	Ornamental/arreglo floral, maceta, flor
<i>Canna</i> (<i>indica, hybrids</i>)	DBO ₅ , DQO, SST, CL, P, N, SV	Ornamental/ maceta, planta
<i>Iris (japonica)</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, CF, NH ₄ , PO ₄	Ornamental/ maceta, planta
<i>Heliconia (sp, stricta, psittacorum, rostrata)</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, CF, NH ₄ , PO ₄ y adaptación de sustrato	Ornamental /arreglo floral, planta, flor/7–25 días
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, SST, CF, Cl, N, PO ₄ , As, SV, NO ₃	Ornamental/ arreglo flora, maceta, planta, flor/8–10 días
<i>Strelitzia reginae</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, CF, NH ₄ , PO ₄	Ornamental/ arreglo floral, maceta, planta, flor/18.8 días

Nombre científico	Contaminante medido	Uso/biomasa área/ tiempo de anaquel
<i>Anthurium andreanum</i>	DBO ₅ , DQO, CF, P, N, NH ₄ , NO ₃	Ornamental/ arreglo floral, maceta, planta, flor/15–25 días
<i>Anemopsis californica</i>	SDT, Cl, P, As, SO ₄	Ornamental, maceta, planta
<i>Alpinia purpurata</i>	DBO ₅ , DQO, Cl, P, N, SV	Ornamental/arreglo floral, maceta, planta, flor
<i>Spathiphyllum wallisii</i> <i>blyum</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, SST, CF, P, N, PO ₄ , NH ₄ , NO ₃ , C ₁₃ H ₁₈ O ₂	Ornamental/ arreglo floral, maceta, planta, flor
<i>Hedychium coronarium</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, CF, Cl, NH ₄ , PO ₄ , SV	Ornamental/ maceta, planta
<i>Alocasia</i> sp	DBO ₅ , DQO, G y A, TSS, CF, P, N, NH ₄ , PO ₄ , NO ₃	Ornamental/ maceta, planta
<i>Lilium</i> sp	DQO, SST, P, NO ₃	Ornamental/arreglo floral, maceta, planta, flor
<i>Typha latifolia</i>	DBO ₅ , PO ₄ , N, G y A, NO ₃	Artesanal/ muebles, planta, hojas
<i>Pontederia sagittata</i>	DBO ₅ , DQO, NO ₃	Ornamental/ arreglo floral/planta, flor, hoja
<i>Hemerocallis</i>	DBO ₅ , DQO, P, NO ₃	Ornamental/arreglo floral, planta, flor/1 día
<i>Cyperus papyrus</i>	DBO ₅ , DQO, G y A, CF, NH ₄ , PO ₄	Ornamental y artesanal/ maceta, planta
<i>Dieffenbachia seguine</i>	DBO ₅ , N, NH ₄ , PO ₄ , NO ₃	Ornamental/maceta, planta, flor
<i>Zingiber spectabile</i>	DQO, NO ₃ , PO ₄	Ornamental/flor arreglo floral/planta, flor, hoja / 8–14 días
<i>Etlingera elatior</i>	Se evaluó la adaptación a sustrato	Ornamental/ arreglo floral/planta, flor, hoja

Nota: DBO₅=Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO=Demanda Química de Oxígeno, N=Nitrógeno, PO₄=Fosfato, NO₃=Nitrato, TSS=Sólidos Suspendidos Totales, As=Arsénico, SV=Sólidos Volátiles, NH₄=Amonio, C₁₃H₁₈O₂=Ibuprofeno, GyA=Grasas y aceites, CF=Coliformes Fecales. Fuente: Adaptado de Zitácuaro-Contreras *et al.*, 2021.

Entre los usos que se identificaron para las plantas hidrófitas cultivadas en humedales construidos es la elaboración de artesanías tejidas con *Typha latifolia* como son cestas y muebles, asimismo, las plantas ornamentales se han utilizado en la elaboración de arreglos ornamentales y algunas especies tienen alto valor en el mercado como es *Anthurium andreanum* especie que se comercializa su biomasa en forma de flor o en maceta (300.00 M.N.), asimismo son de valor comercial de la *Zantedeschia aethiopica* y el *Zingiber spectabile* (Zitácuaro-Contreras *et al.*, 2021).

Conclusiones

Actualmente, la necesidad de afrontar la gestión del tratamiento de las aguas residuales desde una perspectiva diferente a la convencional, combinando aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, ha hecho del uso de humedales construidos, una alternativa innovadora, eficiente y sostenible de tratar las aguas residuales (Pérez *et al.*, 2022).

En el estado de Veracruz, este tipo de ecotecnologías se ha estado implementado de forma parsimoniosa desde años atrás, implementando desde sistemas a escala experimental (microcosmos, mesocosmos, escala piloto), hasta sistemas a gran escala que brindan un tratamiento real, in situ, y con lo cual se han obtenido excelentes resultados.

Se espera que, en los años venideros, con la difusión de la ecotecnología así como de la gran diversidad de experiencias y resultados favorables que demuestran el potencial de depuración del agua residual, se pueda fomentar el uso de los humedales de tratamiento en otras regiones del estado de Veracruz.

Literatura citada

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2022. *Estadísticas del agua en México*. Gobierno de la República de México. 148 p.

CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2023, agosto. *México megadiverso*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>

Editorial Grudemi. 2022. *Plantas acuáticas*. En Enciclopedia Iberoamericana. [consultado el 2 de mayo de 2024] disponible: <https://enciclopediaiberoamericana.com/plantas-acuaticas/>.

Marín-Muñiz, J. L. 2016. Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 553-563.

Marín-Muñiz, J.L.; Sandoval Herazo, L.C.; López-Méndez, M.C.; Sandoval-Herazo, M.; Meléndez-Armenta, R.Á.; González-Moreno, H.R.; Zamora, S. 2023. Treatment Wetlands in Mexico for Control of Wastewater Contaminants: A Review of Experiences during the Last Twenty-Two Years. *Processes*, 11, 359. <https://doi.org/10.3390/pr11020359>.

Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L., y Martínez, M. 2013. Las plantas vasculares acuáticas estrictas y su conservación en México. *Acta botánica mexicana*, (103), 27-63.

Pérez, Y. A., Cortés, D. A. G., & Haza, U. J. J. 2022. Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1), 2279-2279.

Sandoval-Herazo, L. C., Alvarado-Lassman, A., Marín-Muñiz, J. L., Méndez-Contreras, J. M., Martínez-Sibaja, A., & Aguilar-Lasserre, A. 2018. Desarrollo de Plantas Ornamentales Terrestres en Microcosmos de Humedales Construidos. *Gobierno del Estado de Veracruz*, 124.

Zitácuaro-Contreras, I., Vidal-Álvarez, M., Hernández y Orduña, M.G., Zamora-Castro, S. A., Betanzo-Torres, E. A., Marín-Muñiz, J. L., & Sandoval-Herazo, L. C. 2021. Environmental, economic, and social potentialities of ornamental vegetation cultivated in constructed wetlands of Mexico. *Sustainability*, 13 (11), 6267.

Zurita F., Castellanos-Hernández O.A., y Rodríguez-Sahagún A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 139-150. ISSN 2007-0934.

VALIDACIÓN DE VARIEDADES DEL FRIJOL DEL INIFAP EN EL GOLFO-CARIBE MEXICANO DURANTE EL FENÓMENO ENOS-“EL NIÑO”

Francisco J. Ugalde Acosta^{442*}, Sabel Barrón Frayre⁴⁴², Arturo Guirrit Guzmán⁴⁴³, Raymundo Javier Nava Ramírez⁴⁴², Rafael Contreras Hinojosa⁴⁴², Roberto Canales Cruz⁴⁴², Lamberto Zúñiga Estrada⁴⁴², Héctor Torres Pimentel⁴⁴², Rosa Claudia Juárez Lara⁴⁴³, Félix Jiménez Bautista⁴⁴⁴, Soledad Pedraza Flores⁴⁴⁴, Marco Antonio Morales Varela⁴⁴⁵, Pedro Díaz Reyes⁴⁴⁵, Emilio Jesús Rodríguez Escalante⁴⁴⁵, María Del Consuelo López Ramírez⁴⁴⁵, Jorge Salas Guerrero⁴⁴⁶, Luis Toledo Preses Bernal⁴⁴⁶, Simón Leyva Vela⁴⁴², Oscar Maldonado Guzmán⁴⁴⁷, Carlos Rivera Andrade⁴⁴⁷, Joel Goxcon Sixtega⁴⁴⁷, Armando Domínguez Castillo⁴⁴⁸, Roberto Ojeda Castro⁴⁴⁹, Rosario López Saavedra⁴⁴⁹, Gerardo Utrera Romero⁴⁵⁰, Víctor Manuel Domínguez Rivera⁴⁵⁰, Rafael Martínez González⁴⁵¹ y Roberto Macario Osorio⁴⁵²

Resumen

La presencia del evento climático de “El Niño”, tiene un efecto en el descenso de las lluvias en verano en las regiones del Golfo de México y Sureste. La agricultura del país depende del 75% de las lluvias de temporada, lo que deja en evidencia la gran vulnerabilidad del sector ante el cambio climático, pues afectaría en gran medida a la producción agrícola. Un rendimiento bajo en la producción del sector primario puede llevar a un alto riesgo en la seguridad alimentaria e inflacionaria del país. Ante el panorama de anomalía climática que se ha presentado del segundo semestre de 2023 al primer semestre de 2024 en la producción de cultivos básicos, en particular de frijol en condiciones de temporal y humedad residual en la región Golfo Centro y península de Yucatán, se determinó que era el momento propicio para validar las variedades de frijol desarrolladas por el INIFAP, con el objetivo de determinar su comportamiento productivo y tolerancia a sequía durante este periodo de ENOS. Del ciclo P-V 2023 al O-I 2023/24, se establecieron 16 módulos con 16 variedades de frijol negro, incluido un testigo regional nacional y otro introducido, conducidos en su mayoría con la humedad del temporal en los ciclos verano e invierno. La presencia de sequía en cada entidad del sureste se manifestó con escasas precipitaciones que fueron desde 63 hasta 140 mm, acumuladas del periodo de septiembre a diciembre de 2023. El rendimiento promedio de las 15 variedades de INIFAP en todos los sitios de validación fue de 1,161 kg/ha, con productividad aceptable ante las condiciones de sequía intermedia y terminal provocadas por el fenómeno de “El Niño”. Lo anterior, representó 78% más con respecto al rendimiento regional oficial de 650 kg/ha. Entre las variedades comerciales con mayor estabilidad productiva en todos los sitios de validación con presencia de sequía, destacó Negro Veracruz, con un rendimiento promedio de grano de 1,288 kg/ha.

Palabras clave: evaluación varietal, plasticidad genética, adaptación ecológica

⁴⁴² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campos Experimentales Cotaxtla, Huimanguillo, Valles Centrales de Oaxaca, Edzná, Mocochá, Chetumal y Las Adjuntas agrotecnia7@yahoo.com.mx

⁴⁴³ Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario 84. Carlos A. Carrillo, Ver.

⁴⁴⁴ Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario 16. San Bartolo, Tuxtepec, Oax.

⁴⁴⁵ Distrito de Desarrollo Rural 141 Fortín. Secretaría de Agricultura Veracruz.

⁴⁴⁶ Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario 56. Aldama, Tamaulipas.

⁴⁴⁷ Técnicos Municipales de San Andrés Tuxtla, Ver. 2022-2025.

⁴⁴⁸ Productor cooperante Isla, Cuenca Baja del Papaloapan.

⁴⁴⁹ Dirección de Fomento Agropecuario de Coscomatepec, Veracruz.

⁴⁵⁰ Técnicos del Comité de Sanidad Vegetal de Veracruz.

⁴⁵¹ Productor cooperante Tlacolula, Chicontepec. Junta Local de Sanidad Filogonio Barrales Leyva.

⁴⁵² Productor cooperante de la región de Coscomatepec, Ver.

Introducción

El fenómeno de “El Niño” es un suceso oceánico-atmosférico que tiene lugar cuando las aguas del océano Pacífico tropical central y oriental empiezan a calentarse por encima de la media 20°C (ICACC, 2023). La Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno climático natural que forma parte fundamental del sistema climático global; se presenta a lo largo del Pacífico ecuatorial y puede presentarse en tres fases: la Cálida, conocida como “El Niño”; la Fría, conocida como “La Niña”, y la “Neutral”, siendo esta última la fase donde el océano y la atmósfera se comportan de manera normal. El fenómeno ENOS no se presenta de manera periódica, sino que lo hace de manera irregular, con ciclos que se presentan cada dos a siete años (CONAGUA, 2024a). Desde mediados de octubre de 2023, la temperatura de la superficie del mar y otros indicadores atmosféricos y oceánicos observados en la zona centro-oriental del Pacífico tropical presentaron valores congruentes con un episodio de “El Niño” (OMM, 2023). De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, la transición del fenómeno “El Niño” a ENSO “Neutral” se inicia en junio de 2023 y existe un 49% de probabilidad de desarrollo de la fase “La Niña” en junio-agosto y de 69% para julio septiembre de 2024 (CONAGUA, 2024b). De acuerdo al reporte de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2024), los pronósticos más recientes de Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI), indican que “El Niño” continuará su trayectoria hasta el hemisferio norte. Basado en los pronósticos de 2024, existe una probabilidad de 54% de un ENOS - “El Niño” históricamente fuerte durante la temporada de noviembre 2023 a enero 2024. Un evento de esta intensidad pudiera potencialmente estar dentro de los cinco eventos más altos desde 1950. El aumento de las temperaturas y la variabilidad climática asociada a “El Niño” generan un riesgo significativo para la seguridad alimentaria. La sequía, en particular, se presenta como una amenaza aguda para las regiones afectadas, como Centroamérica y el sur de México. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), advierte sobre la necesidad urgente de adaptar los sistemas de producción agrícola a escenarios de sequías más pronunciadas, donde millones de vidas y medios de subsistencia podrían estar en riesgo (CIMMYT, 2024). En México, las actividades agropecuarias son altamente vulnerables frente a las contingencias climáticas, especialmente las actividades relacionadas con la falta o exceso de precipitación pluvial (lluvias), además de las

consecuencias de las temperaturas extremas. Esta vulnerabilidad afecta a este sector en las actividades de producción por los eventos climáticos y procesos biológicos, representando un obstáculo para que los productores tengan un crecimiento continuo de sus actividades (FAO, 2014). A nivel nacional, el promedio anual de superficie cosechada es de 187.7 millones de hectáreas, donde la distribución de la producción agrícola, tanto de la superficie sembrada como cosechada se conforma por el 25% por esquema de riego y el 75% por temporal (CONAGUA, 2023). Tener un gran porcentaje de dependencia de las lluvias de temporada, deja en evidencia la gran vulnerabilidad del sector ante el cambio climático, pues afectaría en gran medida a la producción agrícola provocando menores ingresos. Además, un rendimiento bajo en la producción del sector primario puede llevar a un alto riesgo en la seguridad alimentaria del país (SADER, 2024). En el reporte en junio de 2023 del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, se indica que cada manifestación climática de “El Niño” es única, lo que complica la delimitación de un escenario específico para México, con disminución de las precipitaciones en el centro y sur de México, lo cual podría propiciar condiciones de sequía (ICACC, 2023). De acuerdo al reporte del portal Monitor Sequía del SNM-CONAGUA en mayo del 2024, existían acumulados 2105 municipios con sequía de moderada a excepcional, representando el 85.2% de la superficie en promedio por entidad. La presencia del evento climático de “El Niño” tiene un efecto en el descenso en las lluvias en el verano, sobre todo en las regiones del Centro, Golfo de México y Sureste (ClimaproAgro, 2023). Ante este panorama de anomalía climática de escases de lluvia del segundo semestre de 2023 al primer semestre de 2024 en la producción de cultivos básicos y en particular de frijol en condiciones de temporal y humedad residual en la región Golfo Centro y península de Yucatán, fue el momento de aprovechar para validar las variedades de frijol del INIFAP (Ugalde *et al.*, 2014; 2022), con el objetivo de determinar el comportamiento productivo de las variedades mejoradas con tolerancia a sequía durante este periodo de ENOS, información que contribuirá con información y soluciones tecnológicas de resiliencia productiva para el campo y sector primario.

Materiales y métodos

Del ciclo P-V 2023 al I-P 2024, se establecieron 16 módulos con 16 variedades de frijol negro del INIFAP, incluidas dos variedades recién liberadas y dos testigos regionales: uno mexicano vigente por más de 68 años y otro introducido de los Estados Unidos. (Rosales *et al.*, 2004) (Cuadro 1). Los módulos se establecieron en la región de La Chontalpa, Tabasco, Edzná, Campeche, Tuxtepec, Valles Centrales y La Cañada en Oaxaca, Cuenca del Papaloapan, Los Tuxtlas, Costa Central, Chicontepec y Altas Montañas en Veracruz y Altamira, Tamaulipas. Los módulos se condujeron en condiciones de temporal en las regiones ubicadas de los 1,600 a 2,400 m de altitud y de humedad residual en las áreas tropicales distribuidas entre 0 y 400 m de altitud. La superficie de cada módulo fue de 2500 m². La siembra fue manual con una densidad de población de 250 mil plantas por hectárea. Se cosecharon todas las plantas de cada variedad de frijol; el grano se limpió y pesó, reportando el rendimiento en kilogramos por hectárea. La mayoría de los módulos se condujeron sin el uso de fertilizantes y sólo en Oaxaca se suministró la dosis de nutrición 20-20-0 de NPK y riego por goteo y rodado en dos módulos. El control de plagas fue con insecticidas químicos de bajo impacto ambiental y el control de malezas se realizó de forma manual.

Cuadro 1. Variedades de frijol del INIFAP establecidas en parcelas de validación en las Cuencas Hidrológicas del Golfo y Caribe mexicano durante el período P-V 2023 y O-I 2023/24.

Variedades mejoradas de frijol	
Negro 8025	Negro INIFAP
Negro Papaloapan	Negro Primavera A-28
Rubí	Negro Comapa
Negro Tacaná	Negro Albicampo
Negro Medellín	Negro Cotaxtla 91
Negro Tropical	Negro Jamapa TR
Negro Veracruz	Negro Michigan TR
Verdín	Negro Huasteco 81

Resultados y discusión

La condición de sequía durante el periodo de junio de 2023 a mayo de 2024 en las entidades incluidas en las cuencas hidrológicas de Golfo de México y Caribe mexicano fue variable de regular a grave la ausencia de lluvias en el ciclo de temporal y de humedad residual, fue influenciada por el ENOS; en particular en los Oaxaca y Yucatán, la humedad fue totalmente restrictiva al grado de siniestro de siembras comerciales de frijol de verano e invierno respectivamente.

En la región de Las Altas Montañas de Veracruz ubicada en la Cuenca del Alto Papaloapan, la productividad de las variedades de frijol durante el ciclo de temporal P-V 2023 en los sitios de validación ubicados entre los 1,600 y 2,100 m de altitud fue variable, desde 722 a 1,852 kg/ha (con un promedio de 1211 kg/ha), debido a la distribución de las lluvias de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo de frijol. Aunque las condiciones climáticas no fueron óptimas, los atributos de tolerancia a sequía de algunas variedades permitieron que la producción fuera rentable, con un 100% más de producción en comparación con el registro oficial de rendimiento. En cambio, en dos localidades de Valles Centrales y una en La Cañada en Oaxaca, se recurrió al riego ante la ausencia de lluvia. Diez variedades de frijol presentaron rendimientos entre 1,858 y 2,918 kg/ha con un promedio general de 1,905 kg/ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento promedio de genotipos de frijol del INIFAP en los sitios de validación ubicados entre 1,600 y 2,100 m de altitud en los estados de Veracruz y Oaxaca. Ciclos P-V 2023.

Variedades	Las Altas Montañas de Veracruz ¹ P-V T 2023 e I-P 2024	Promedio (kg/ha)*	Oaxaca Valles Centrales P-V T 2023 + RG	Tomellín, Oax. P-V T 2023+RR	Promedio con riego (kg/ha)
Negro 8025	1,234	1,234	2,785		2,785
Negro Medellín	999	999	2,918		2,918
Negro Veracruz	1,465	1,465	1,334	3500	2,417
Negro INIFAP	1,852	1,852	1,886		1,886
Verdín	828	828	2,393	2250	2,322

Variedades	Las Altas Montañas de Veracruz ¹ P-V T 2023 e I-P 2024	Promedio (kg/ha)*	Oaxaca Valles Centrales P-V T 2023 + RG	Tomellín, Oax. P-V T 2023+RR	Promedio con riego (kg/ha)
Negro Papaloapan	1,432	1,432	2,085		2,085
Negro Primavera A-28	1,259	1,259	1,278	2250	1,764
Negro Albicampo	1,384	1,384	1,708		1,708
Negro Tropical	986	986	2,116		2,116
Negro Jamapa Cot	1,478	1,478	1,220		1,220
Negro Comapa	800	800	1,858		1,858
Negro Cotaxtla 91	1,300	1,300	1,260		1,260
Negro Michigan	688	688	1,800		1,800
Negro Huasteco 81	722	722	430		430

¹ Promedio de rendimiento de cuatro sitios, P-V = Primavera Verano, T= Temporal RG = Riego por goteo y RR = Riego Rodado.

El comportamiento productivo de las variedades aportó información base para las recomendaciones de genotipos con tolerancia a factores abióticos, ante un pronóstico de sequía a futuro provocada por fenómenos climáticos ENOS; asimismo, la alternativa para los productores que disponen de fuentes de agua para producir el cultivo de manera comercial con riego. Para la región tropical, durante el ciclo de otoño-invierno 2023/24 de “tonamil”, la escasez de lluvias en temporal afectó el contenido de humedad residual aunado a que los frentes fríos sólo presentaron lluvias mínimas y esporádicas, que en suma ocasionó una condición desfavorable para siembras comerciales en los diferentes estados (Figura 1).

La presencia de sequía en cada entidad del sureste se manifestó con escasas precipitaciones que fueron desde 63 a 140 mm, acumuladas del periodo de septiembre a diciembre de 2023, disminuyendo el rendimiento de las variedades. En el estado de Yucatán, la sequía provocó el siniestro del módulo de validación al dejar de llover 46 días a partir de la mitad del ciclo del cultivo. Por lo anterior, sólo se reportan los resultados productivos de los demás estados de la región Golfo, Campeche y Quintana Roo.

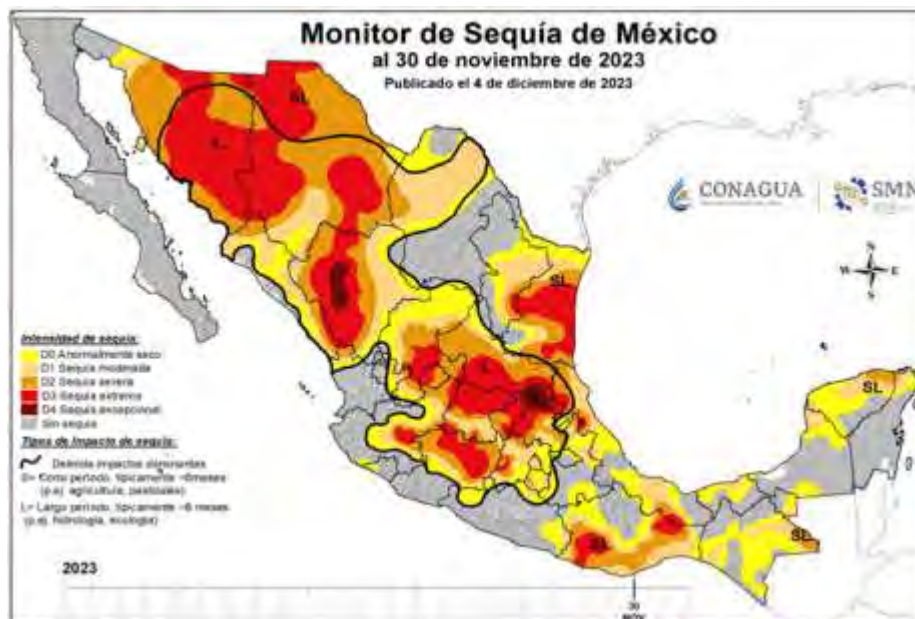


Figura 1. Porcentaje de área afectada con sequía a causa del fenómeno ENOS en México al 30 de noviembre de 2023. CONAGUA. SMN.

El rango de rendimiento de las variedades fue 772 a 1,446 kg/ha, con un promedio de 1,022 kg/ha. Del total de variedades evaluadas, 12 fueron superiores al rendimiento regional y ofrecen una alternativa de productividad en condiciones de sequía intermedia y terminal (Cuadro 3). Las 15 variedades del INIFAP registraron un rendimiento desde 900 a 1,446 kg/ha, con un promedio 1,161 kg/ha en los 16 sitios de validación, con buena tolerancia a los diferentes periodos de sequía generados por el fenómeno ENOS. Lo que representó un aumento del 78% con respecto al rendimiento regional de 650 kg/ha (SIAP, 2023). Entre las variedades comerciales con mayor estabilidad productiva con presencia de sequía, la de mayor productividad en todos los sitios de validación fue Negro Veracruz, con un promedio de 1,288 kg/ha (Cuadro 4). En los sitios conducidos con riego en Valles Centrales y La Cañada en Oaxaca, siete variedades de frijol superaron las 2 t/ha, en especial en la última, la variedad Negro Veracruz alcanzó un rendimiento de 3,500 kg/ha con riego rodado. El disponer de fuentes de agua para conducir el cultivo representa una alternativa productiva y rentable cuando la situación de sequía es extrema (Cuadro 4).

Cuadro 3. Rendimiento promedio de genotipos de frijol del INIFAP en los sitios de validación ubicados de 0 a 600 m de altitud en los estados de Tabasco, Campeche, Oaxaca, Veracruz y Quintana Roo durante el ciclo O-I 2023/24 de humedad residual.

Variedades	Huimanguillo, Tab. I-P 2024 HR	Edzná, Camp. O-I 2023/24 HR	Tuxtepec, Oax. O-I 2023/24 HR	Veracruz norte, centro y sur ¹ O-I 2023/24 HR	Chetumal, Q Roo O-I 2023/24 HR	Altamira, Tam. O-I 2023/24 HR	Prom (kg/ha)
Negro Tacaná	1,307	1,030			2,000		1,446
Rubí	1,253	870	1,300	734	2,200		1,271
Negro 8025	1,022	975		733	2,330		1,265
Negro Comapa	1,018	1,090	1,530	319	2,600	541	1,183
Negro Papaloapan	1,061	690		583	2,230		1,141
Negro Veracruz	1,389	864	1,400	848	1,570	524	1,099
Negro Tropical	621	936	1,760	473	1,900	799	1,081
Negro Primavera A-28	1,394	1,136		246	1,700	499	995
Verdín	1,339	993		744	1,600	156	966
Negro INIFAP	1,288	1,010		459	1,570	340	933
Negro Medellín	1,226	620		208	1,600	544	840
Negro Cotaxtla 91	412	655		333	2,030	626	811
Negro Huasteco 81	705	899		466	1,730	127	785
Negro Albicampo	793	608		410	1,730	298	768
Negro Jamapa Cot	419	922	800	416	1,870	79	751
Negro Michigan	606	890			1,230	203	732

¹ Promedio de rendimiento de cuatro sitios, HR = Humedad residual.

Cuadro 4. Rendimiento promedio global de genotipos de frijol del INIFAP por región en las Cuencas Hidrológicas del Golfo y Caribe mexicano durante el período P-V 2023 y O-I 2023/24.

Variedades	Huimanguillo, Tab. I-P 2024 HR	Edzná, Camp. O-I 2023/24 HR	Tuxtepec, Oax. O-I 2023/24 HR	Veracruz norte, centro y sur ¹ O-I 2023/24 HR	Chetumal, Q. Roo O-I 2023/24 HR	Altas Montañas de Veracruz ² P- V 2023 T y HR 2024	Valles Centrales de Oaxaca P-V 2023 T+RG	La Cañada, Oax. P-V T+ RR 2023 t	Altamira, Tam. O-I 2023/24	Prom. (kg/ha)
Negro Tacaná	1,307	1,030			2,000					1,446
Negro Veracruz	1,389	864	1,400	848	1,570	1,465	1,334	3,500	524	1,433
Verdín	1,339	993		744	1,600	828	2,393	2,250	156	1,288
Rubí	1,253	870	1,300	734	2,200					1,271
Negro 8025	1,022	975		733	2,330	1,234	2,785			1,265
Negro Comapa	1,018	1,090	1,530	319	2,600	800	1,858		541	1,219
Negro INIFAP	1,288	1,010		459	1,570	1,852	1,886		340	1,201
Negro Tropical	621	936	1,760	473	1,900	986	2,116		799	1,199
Negro Medellín	1,226	620		208	1,600	999	2,918		544	1,159
Negro Albicampo	793	608		410	1,730	1,384	1,708	2,250	298	1,148
Negro Papaloapan	1,061	690		583	2,230	1,432	2,085			1,141
Negro Primavera A-28	1,394	1,136		246	1,700	1,259	1,278		499	1,073
Negro Cotaxtla 91	412	655		333	2,030	1,300	1,260		626	945
Negro Michigan	606	890			1,230	688	1,800		203	903
Negro Jamapa Cot	419	922	800	416	1,870	1,478	1,220		79	900
Negro Huasteco 81	705	899		466	1,730	722	430		127	726

¹ Promedio de rendimiento de cinco sitios, ² Promedio de rendimiento de cuatro sitios P-V = Primavera Verano, T= Temporal RG = Riego por goteo y RR = Riego Rodado.

Conclusiones

Las variedades de frijol del INIFAP presentaron buena productividad con las condiciones restrictivas de humedad causadas por el fenómeno ENOS, en el Golfo y Caribe mexicano, por lo que representan alternativas resilientes para el abasto alimenticio y rentabilidad comercial.

Agradecimientos

Al proyecto Innovación y transferencia de variedades de frijol modalidad municipal, por su apoyo para incrementar productividad, rentabilidad y abasto para los productores de las cuencas hidrológicas del Golfo México. INIFAP 2023-24.

Literatura citada

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2024. El campo en 2024, un contexto de cambio climático y El Niño. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-campo-en-2024-un-contexto-de-cambio-climatico-y-el-nino/> [consultado el 4 de junio de 2024].

ClimaproAgro. 2023. Impacto del temporal de lluvias en la agricultura de México en 2023. <https://www.climaproagro.com/blog/vrilejawffkw8rvabb7rzeookhm3kv> [consultado el 4 de junio de 2024].

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2023. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado, Año Agrícola 2022-2023. Gerencia de Infraestructura de Protección en Ríos y de Distritos de Temporal. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADTT%202022-2023.pdf> [consultado el 4 de junio de 2024].

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2024a. Sistema Meteorológico Nacional SMN. Aviso 422. Mayo 2024. [https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Formularios/EI%20Ni%C3%B1o%20Oscilaci%C3%B3n%20del%20Sur%20\(ENOS\)/EI%20Ni%C3%B1o%20Oscilaci%C3%B3n%20del%20Sur%20\(ENOS\)_519.pdf](https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Formularios/EI%20Ni%C3%B1o%20Oscilaci%C3%B3n%20del%20Sur%20(ENOS)/EI%20Ni%C3%B1o%20Oscilaci%C3%B3n%20del%20Sur%20(ENOS)_519.pdf) [consultado el 4 de junio de 2024].

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2024b. Sistema Meteorológico Nacional SMN. Monitor sequía de México. Reporte de sequía 15 mayo 2024. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20240515.pdf> [consultado el 4 de junio de 2024].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. La gestión de riesgos climáticos catastróficos para el sector agropecuario en México. <https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/20/13954329605800/cadena.pdf> [consultado el 4 de junio de 2024].

ICACC (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático). 2023. “El Niño”: ¿qué efectos tendrá en México y el mundo? <https://www.atmosfera.unam.mx/el-nino-que-efectos-tendra-en-mexico-y-el-mundo/> [consultado el 4 de junio de 2024].

NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica). 2024. 1ra. Reunión del Comité Asesor Científico y Técnico Internacional Universidad de Columbia EUA. <https://cpo.noaa.gov/international-research-institute-for-climate-and-society-iri-convenes-institutional-review/> [consultado el 4 de junio de 2024].

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2023. Reporte 2023. <https://wmo.int/es/media/news/las-previsiones-apuntan-al-mantenimiento-de-el-nino-al-menos-hasta-abril-de-2024>. [consultado el 4 de junio de 2024].

- Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga M., J. M. Hernández C., G. Esquivel E. y P. Pérez H. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Méx., México. 148 p.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2024. Seguridad alimentaria y crecimiento del campo mexicano. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/seguridad-alimentaria-y-crecimiento-del-campo-mexicano> [consultado el 4 de junio de 2024].
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Producción mensual agrícola. Avance de Siembras y Cosechas. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> [consultado el 4 de junio de 2024].
- Ugalde, A. F. J., E. López S., J. A. Acosta G. y S. Leyva Vela. 2014. Productividad cronológica de las variedades de Frijol negro del INIFAP para las regiones tropicales y templadas de Veracruz p. 22. *In: Memoria de la XXVII Reunión Científica y Tecnológica forestal y agropecuaria Veracruz 2014*. Orizaba, Ver., México. Octubre 2014.
- Ugalde, A. F. J., G. Díaz P., R. Guajardo P., S. Barrón F., A. Guiris G., S. Alvarado M. *et al.* 2022. Variedades de frijol eco-productivas, para mitigar efectos del cambio climático en el Golfo de México. p. 15-23. *In: Rigoberto Zetina Lezama, Oscar Hugo Tosquy Valle, Marcos Ventura Vázquez Hernández, Ana Lid Del Angel Pérez, Valentín Alberto Esqueda Esquivel y Claudia Perdomo Montes (comp.). "Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz. Año 1 núm. 1. INIFAP. México.*

RIESGOS SOCIO-AMBIENTALES DERIVADOS DE LA DESCARGA DE NEJAYOTE SIN TRATAMIENTO PREVIO

Damaris González Rivadeneyra^{453*}, José Luis Marín Muñiz⁴⁵³ y Gonzalo Ortega Pineda⁴⁵³

Resumen

El agua es un elemento central en la vida de cualquier especie que habita el planeta, por lo tanto, es importante buscar alternativas para tratar las aguas residuales provenientes del sector industrial, así como del doméstico. El objetivo de este estudio es indagar sobre los riesgos socioambientales que se originan a partir de la descarga de residuos del nejayote, derivado del proceso de nixtamalización a través de un análisis de contenido bibliográfico de 87 documentos con un enfoque cuantitativo y cualitativo, donde se analiza, organiza y documenta la información obtenida. Se identificaron los principales países y autores que investigan acerca del tratamiento del nejayote. Además, se encontró que el 92% de las investigaciones se encuentran en artículos científicos y que el 70% de la información contribuye al tratamiento del nejayote para la extracción de compuestos nutrimentales, mientras que solo el 30% de las investigaciones aplican tratamientos físicos, químicos o biológicos al agua residual. Se determinó que ninguna investigación detalla el tratamiento del nejayote mediante humedales construidos con plantas ornamentales y mucho menos puntualiza sobre los riesgos socioambientales que se podrían originar si el nejayote es desechado sin tratamiento previo, por ello se procedió a analizar bibliográficamente los contaminantes que se encuentran fuera de los límites permisibles para la descarga de aguas residuales y que podrían presentar un riesgo para la salud pública y los ecosistemas. Se determinó que el nejayote produce contaminación al recurso hídrico al verter el residuo al alcantarillado o suelo sin un tratamiento previo, por ende, el incumplimiento socioambiental de la industria nixtamalizadora en la normativa de descarga de aguas residuales. La alta carga de contaminantes presentes en el nejayote genera afectaciones directas a los ecosistemas y efectos potenciales a la salud que podrían ocasionar enfermedades a niños y adultos por beber o comer, agua o alimentos contaminados, lo que impulsa la búsqueda de soluciones para el tratamiento de este vital líquido.

Palabras clave: nixtamalización, enfermedades, contaminación, humedales, ornamentales

⁴⁵³ El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto 26, centro. 91000. Xalapa, Ver. *Autor de correspondencia: goneyra@outlook.com

Introducción

En la historia de la humanidad, el agua ha participado de manera importante en el origen de las civilizaciones, sin embargo, la urbanización y la industrialización conllevaron un incremento en la demanda y por ende un aumento en la contaminación de esta, aunado a desigualdades respecto al acceso y disponibilidad de agua (Monforte y Cantú, 2009). Bajo el tenor del desarrollo sostenible, los ecosistemas acuáticos son muy importantes, ya que proveen servicios ambientales que contribuyen al bienestar y a la generación de la riqueza en el planeta, estos se ven directamente afectados si los recursos naturales son degradados, lo que podría aumentar el riesgo de enfermedades especialmente para las personas más vulnerables (Reid, *et al.*, 2005). El agua se considera contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado, en consecuencia, de las actividades antropogénicas, siendo menos apta para el uso al que se destina, se establecen tres categorías al tipo de contaminante: físico (mecánica, térmica, radioactiva), químico (inorgánicos, orgánicos y metales pesados) y biológico (organismos patógenos) (Armijo *et al.*, 2019).

En los últimos años, y con el desarrollo del sector industrial y agrícola, la contaminación por metales ha aumentado, lo que lleva consigo un peligro ambiental importante para invertebrados, peces y seres humanos. Los efectos tóxicos dependiendo de la concentración en que se encuentren causan graves daños a la salud provocando cánceres, daños en el sistema nervioso, circulatorio e inmunológico e incluso en dosis muy elevadas pueden provocar la muerte (González *et al.*, 2002). El agua es usada mayormente en la agricultura, donde México ocupa el 7° lugar en superficie de riego a escala mundial, en México el uso del agua de abastecimiento público incrementó su volumen un 10.91% del 2012 al 2021 y para el uso industrial incrementó el volumen 38.81% en el mismo periodo (NUMERAGUA, 2022). Al incrementar la demanda de la población, también aumenta el abastecimiento del agua, en el caso de la industria alimentaria específicamente en las nixtamalizadoras, se generan aguas residuales derivadas del procesamiento del maíz, también conocidas como nejayote, tanto en industrias como en nixtamalizadoras locales, las cuales elaboran productos a base de maíz mediante el proceso de cocción alcalina del maíz, siendo un efluente considerado contaminante porque contiene concentraciones significativas de compuestos orgánicos e inorgánicos, así como una cantidad sustancial de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), las cuales

generalmente son vertidas al suelo, alcantarillado o incluso directamente a cuerpos de agua ocasionando condiciones hipóxicas en los ecosistemas (Rivera *et al.*, 2023 ;Salmerón-Alcocer *et al.*, 2003). Los contaminantes del nejayote consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (González *et al.*, 2002). El peligro de estos compuestos se produce cuando llegan a los recursos hídricos y se introducen en la cadena alimenticia, ya sea de manera directa, cuando animales y seres humanos entran en contacto con aguas contaminadas, o de manera indirecta a través del consumo de cultivos que han sido regados con aguas contaminadas (Barakat, 2011; Kim, 2015), por lo que la industria nixtamalizadora está contribuyendo a un problema socioambiental tanto *para* la salud humana como para la de los ecosistemas. Por otra parte, el proceso de nixtamalización presenta una serie de desventajas, en las que se incluye el consumo elevado de energía térmica debido a los largos tiempos de cocción y el uso excesivo de agua durante su procesamiento, aparte de que el maíz absorbe mucha agua, requiere de etapas de lavado, enjuague y reposo y por último el uso de la cal disuelta en agua para remover el pericarpio de los granos de maíz (González, 2013), lo cual genera un gran volumen de descarga contaminante. Para que la nixtamalización sea más sostenible en términos del uso del agua y mitigar los riesgos socioambientales relacionados con las descargas de nejayote, se deben aplicar procesos de tratamiento apropiados y efectivos ya sea antes de su vertimiento o para fines de reutilización del agua (Valenzuela *et al.*, 2024). Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo principal, realizar una revisión bibliográfica para indagar sobre los riesgos socioambientales que se originan a partir de la descarga de nejayote, derivado del proceso de nixtamalización sin tratamiento previo.

Materiales y Métodos

La metodología utilizada fue de tipo cualitativo, bajo el método hermenéutico-interpretativo que consiste en la comprensión e interpretación de textos. Se deben utilizar las técnicas de revisión bibliográfica e indagación documental con un diseño no experimental, de alcance descriptivo y tamaño de muestra no probabilístico. La investigación se llevó a cabo en 5 fases (Figura 1).

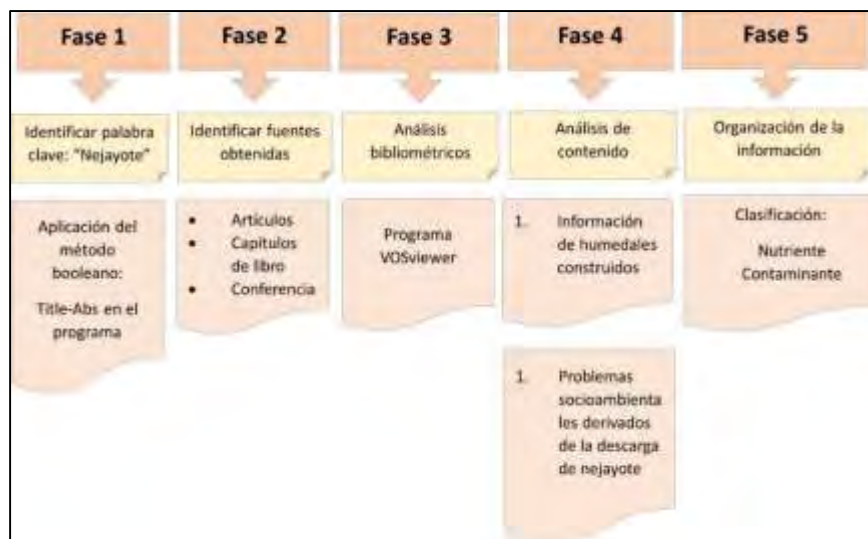


Figura 1. Diagrama metodológico de la investigación. Nota: Tomando como referencia la metodología de Sampieri *et al.* (2010).

Fase 1: Se empleó la ecuación de búsqueda utilizando el operador booleano: TITLE-ABS en el programa Dimensions, en este paso se consideró la palabra clave "Nejayote" filtrada en los últimos 10 años (2015-2024) limitada en títulos y resúmenes.

Fase 2: Se determinaron los porcentajes del tipo de documentos sobre el total de búsqueda realizada.

Fase 3: Con la base de datos obtenida en dimensiones se efectuó un análisis bibliométrico en el programa VOSviewer para detectar los países y autores que han realizado publicaciones referentes al residuo del nejayote en los últimos 10 años.

Fase 4: Se procede a la extracción y análisis de la información en la base de datos de Excel obtenida en Dimensión. En este proceso, se identifican, en primero lugar, los documentos que tuvieran información sobre los humedales construidos. En segundo lugar, se seleccionaron aquellos que mencionaran acerca de los riesgos socioambientales derivados de la descarga de nejayote.

Fase 5: Finalmente, una vez filtrados los documentos, se procedió a ingresar la información extraída en una matriz de síntesis en formato de Excel, donde se etiquetaron y clasificaron por secciones de acuerdo con la característica en la que se enmarca la investigación (nutriente o contaminante), se agruparon dependiendo del área de investigación, el tipo de documento

(artículo de investigación, artículo de revisión, conferencia o capítulo de libro) y una descripción de observaciones principales.

Resultados y discusión

Al aplicar la ecuación de búsqueda y filtrar la palabra “nejayote” en la fase 1, se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 4. Ecuación de búsqueda para el caso de investigación.

Ecuación de búsqueda	Años de publicación	Número de publicaciones obtenidas
“Neyayote”	2017-2024	85

Nota: Información obtenida de la base de datos Dimensions (2024).

En la fase 2 después de analizar los resultados obtenidos en la fase 1 se identificaron el tipo de documentos obtenidos, los cuales se pueden observar en la Figura 2, en esta etapa se identificó que el dominio de la investigación se encuentra en artículos científicos de revistas indexadas (Figura 2).



Figura 2. Material informativo consultado durante la búsqueda. Nota: Información obtenida de la página Dimensions (2024).

Posterior a los análisis bibliométricos realizados en el programa VOSviewer se encontró que México es el país que mayormente ha realizado publicaciones, seguido de Estados Unidos y por último España (Figura 3).

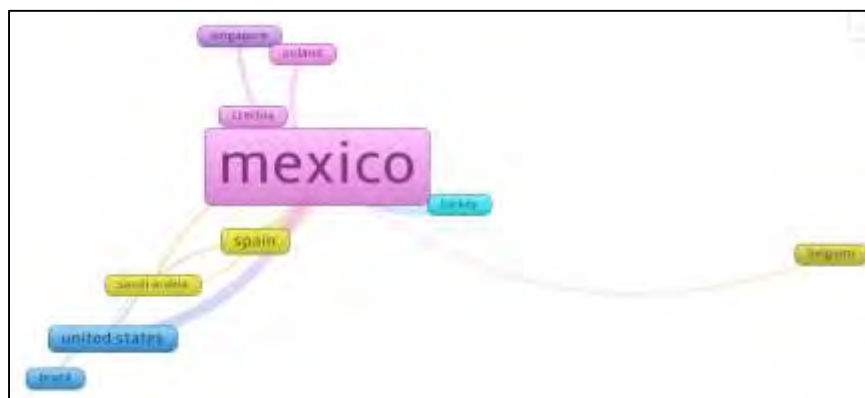


Figura 3. Mapa bibliométrico de países con publicaciones del residuo nejayote. Nota: Información obtenida del programa VOSviewer (2024).

Así mismo, se encontraron 6 autores principales (Figura 4) que abordan investigaciones en el tema del “nejayote” en los que se destacan dos agrupaciones: la primera (Díaz Montes, Elsa; Castro, Muñoz, Roberto; Gutiérrez-Urbe, Janet) y la segunda (Mateos Díaz, Juan Carlos; Contreras Jáquez, Víctor).

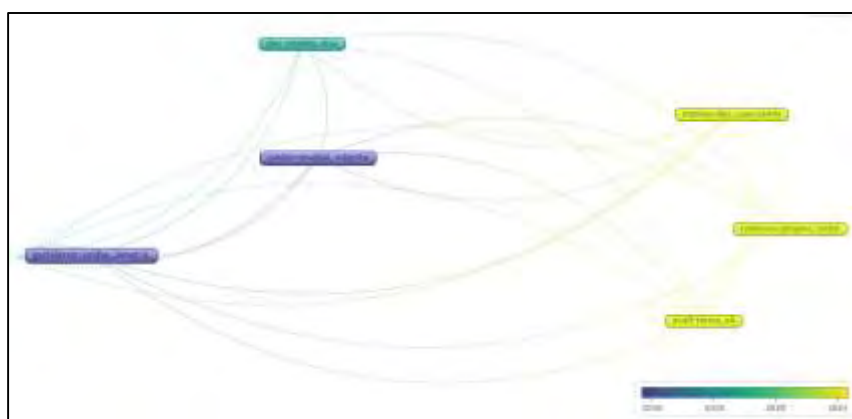


Figura 4. Mapa bibliométrico de autores con publicaciones del residuo nejayote. Nota: Información obtenida del programa VOSviewer (2024).

En la fase 4 con el análisis de 85 documentos, los cuales atienden la problemática contaminante del nejayote en diferentes sectores, se encontró que en ninguno se reporta el tratamiento del nejayote mediante humedales construidos y mucho menos donde se analicen los riesgos socioambientales que ocasionan su vertimiento a los cuerpos de agua. En la fase 5, después de organizar, clasificar y analizar por secciones los 85 documentos, se determinó que el 70% de las investigaciones contribuyen al tratamiento del nejayote con la extracción de compuestos nutrimentales, mientras que solo el 30% de las investigaciones aplican tratamientos físicos, químicos o biológicos al agua residual. De acuerdo con las investigaciones que presentaron un enfoque nutrimental, se encontraron 10 principales áreas de investigación, en las que se destacaron 15 para aplicaciones biotecnológicas, 13 del sector alimentario y siete para fines médicos principalmente (Figura 5).

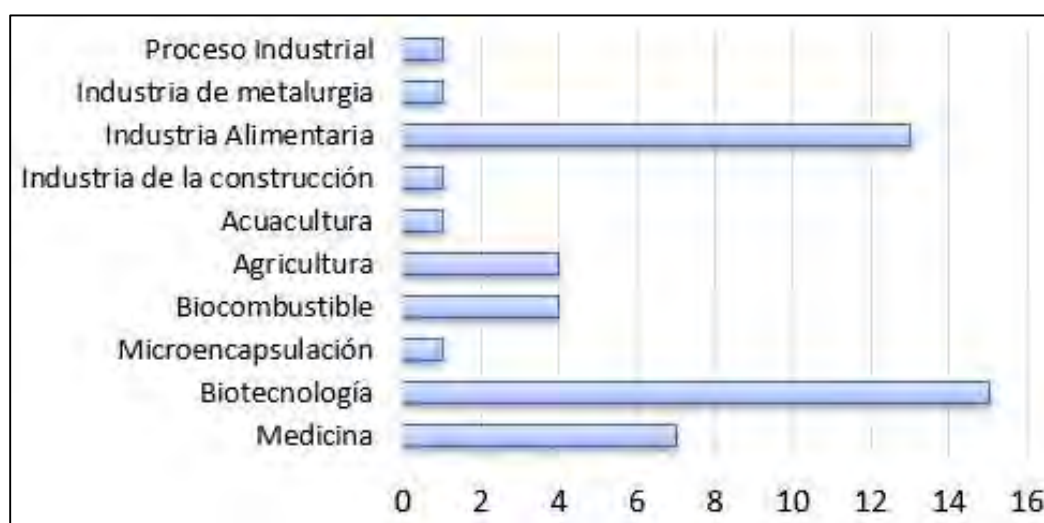


Figura 5. Áreas de investigación con enfoque nutrimental. Fuente: Elaboración propia tomando como referencia la información del programa Dimensions (2023).

Para aplicaciones biotecnológicas se ha evaluado la producción de goma xantana, piocianina, poli(3-hidroxibutirato) proteasa colagenolítica y compuestos fenólicos quimiopreventivos, a base de fermentaciones con bacterias, hongos y sólidos disueltos de nejayote (Castañeda-Ruelas *et al.*, 2021; Antunes-Ricardo *et al.*, 2021). También se encontraron estudios para la caracterización de los minerales e hidrocoloides contenidos en el nejayote (González-Cortés *et al.*, 2017; Vázquez-Banda *et al.*, 2023), así como una evaluación de los efectos de la cocción

alcalina sobre el pericarpio, el almidón y las proteínas del grano de maíz (Şamil-Argun, 2018). En cuanto al sector alimentario se ha evaluado la extracción de componentes nutrimentales del nejayote, principalmente utilizando procesos fermentativos y de ultrafiltración con agua de nejayote para la obtención de arabinoxilanos, ácidos fenólicos y polifenoles, los cuales contienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Peralta-Veran *et al.*, 2022), así como el uso de sólidos de nejayote ricos en calcio, ácido felúrico, actividad inflamatoria y antioxidante para la elaboración de bebidas de maíz (Buitimea-Cantúa *et al.*, 2019), o el mejoramiento de las propiedades microbiológicas, reológicas, texturales y viscoelásticas de la masa nixtamalizada con adición de nejayote y sólidos de nejayote (Valderrama-Bravo *et al.*, 2020; Guzmán-Rodríguez *et al.*, 2022). Para fines médicos se encontraron investigaciones donde se evaluaba la extracción de componentes utilizados principalmente en el área farmacéutica y cosmética con perfiles nutraceuticos como el ácido fenólico y arabinoxilanos por sus capacidades antioxidantes, antiinflamatorias y beneficiosas a la salud (Gastelum-Hernández *et al.*, 2023). Por otro lado, se identificaron 7 áreas de investigación que presentaron un enfoque contaminante, en los que mayormente se destacan 3 principales áreas, 5 documentos donde se utilizan tratamientos biológicos en el agua residual de nejayote, 4 documentos referentes a procesos industriales y 3 documentos para el tratamiento del nejayote con procesos de coagulación y floculación (Figura 6).

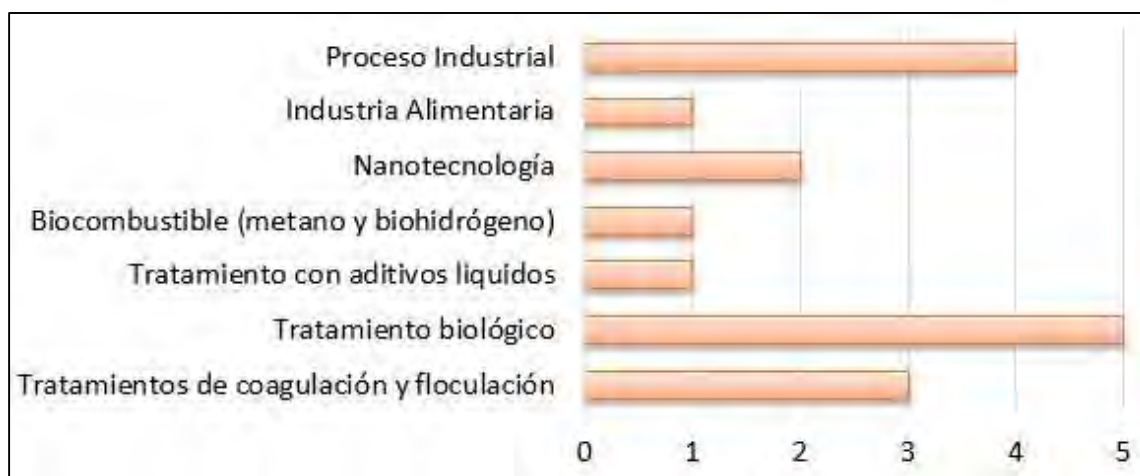


Figura 6. Áreas de investigación con enfoque contaminante. Fuente: Elaboración propia tomando como referencia la información del programa Dimensions (2023).

En cuanto a las investigaciones con tratamientos biológicos, se detectó que principalmente se han evaluado el uso de microalgas y la digestión anaeróbica para el tratamiento del nejayote (Valle-Real *et al.*, 2023). Las investigaciones correspondientes al proceso industrial implementaron tecnologías basadas en el uso de membranas para separar contaminantes a nivel molecular e iónico (Valenzuela *et al.*, 2024). El uso de procesos de separación como el secado por aspersión y filtros prensa para minimizar los residuos del nejayote (Villola-Castrejón *et al.*, 2017; Valderrama-Bravo *et al.*, 2022). Finalmente la elaboración de dispositivos con sensores que permiten cuantificar el bióxido de carbono obtenido a partir de la fermentación del nejayote para obtener la mezcla óptima (Tavera-Romero *et al.*, 2021).

Los documentos referentes al tratamiento con procesos de coagulación y floculación se han enfocado en la eliminación de sólidos suspendidos y disminución de la turbidez utilizando alginato y quitosano por sus propiedades gelificantes (Vacio-Muro *et al.*, 2020; Tenorio-Arvide *et al.*, 2022). En general existen investigaciones en las que se describe que el nejayote es una fuente nutricional para aplicaciones tecnológicas y obtener productos o compuestos para darle un valor comercial en diferentes sectores y otras que describen las características contaminantes del nejayote. Sin embargo, los autores Citiv *et al.* (1984) y Rosentrater *et al.* (1999), mencionan que algunos métodos de tratamiento tienen ciertas desventajas en cuestión de costos y porque en su mayoría solo se utilizan compuestos del propio residuo de nejayote para su transformación o aprovechamiento, por ende, no es posible reducir las cargas contaminantes en su totalidad y por tales motivos sería conveniente implementar procesos biológicos como lo recomienda Rivera *et al.* (2023) para una mejor depuración. De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, no se encontraron investigaciones donde se detalle y mucho menos puntualice sobre los riesgos socioambientales que se podrían originar si el nejayote es desechado sin tratamiento previo, por ello se procede a analizar los contaminantes que se encuentran fuera de los límites permisibles para la descarga de aguas residuales y que podrían presentar un peligro para la salud pública y los ecosistemas.

Caracterización fisicoquímica del nejayote

La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, sin embargo, para complementar el análisis se consultó la modificación

a la NOM-127-SSA1-1994 de Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Por lo cual, es importante conocer la caracterización del agua residual del nejayote descargado, para tal fin, se adecuo la Cuadro 2 obtenida por Rivera *et al.* (2023), donde se enlistan los parámetros normados, sus unidades, los límites máximos permisibles de acuerdo con las normas antes mencionadas.

Cuadro 5. Características fisicoquímicas del nejayote con base a la NOM-001-SEMARNAT-2021 y la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Parámetro	Unidad	NOM-127-SSA1-1994	NOM-001-SEMARNAT-2021*			Nejayote
			Verter ríos	Riego áreas verdes	Infiltración en suelos	
Parámetros para determinar la calidad del agua						
Carbón Orgánico Total (COT)	mg/L	N/A	38	15	38	10,698
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	N/A	150	60	150	31,668
Turbidez	UTN	5				360
Parámetros químicos						
Cianuros totales	mg/L		1	2	1	<0.02
Cloro residual libre	mg/L	0.2 – 1.50	N/A	N/A	N/A	0.19
Cloruros	mg/L	250	N/A	N/A	N/A	151
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500	N/A	N/A	N/A	3,350
Fluoruros	mg/L	1.5	N/A	N/A	N/A	0.848
Fósforo total	mg/L	15	N/A	N/A	N/A	ND
Nitratos	mg/L	10	N/A	N/A	N/A	0.493
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	N/A	N/A	N/A	1.76
nitrógeno Total	mg/L	25	N/A	N/A	N/A	
pH	mg/L	6.5-8.5	6-9	6-9	6-9	10.42
Sólidos disueltos	mg/L	1000	N/A	N/A	N/A	23,213

NOM-001-SEMARNAT-2021*						
Parámetro	Unidad	NOM-127-SSA1-1994	Verter	Riego áreas	Infiltración	Nejayote
			ríos	verdes	en suelos	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	N/A	60	30	100	5,100
Sulfatos	mg/L	400	N/A	N/A	N/A	32.6
Metales pesados						
Aluminio	mg/L	0.2	N/A	N/A	N/A	0.1899
Arsénico	mg/L	0.05	0.2	0.2	0.1	0.0013
Bario	mg/L	0.7	N/A	N/A	N/A	<0.50
Cadmio	mg/L	0.005	0.2	0.05	0.1	0.003
Cobre	mg/L	2	4	4	4	0.099
Cromo	mg/L	0.05	1	0.5	0.5	<0.005
Cianuro	mg/L	0.07	1	2	1	N.D
Hierro	mg/L	0.3	N/A	N/A	N/A	0.422
Manganeso	mg/L	0.15	N/A	N/A	N/A	0.066
Mercurio	mg/L	0.001	0	0.01	0.005	<0.0010
Níquel	mg/L	N/A	2	2	2	N.D
Plomo	mg/L	0.01	0.2	0.5	0.2	<0.005
Sodio	mg/L	200	N/A	N/A	N/A	8.497
Zinc	mg/L	5	10	10	10	0.107
Parámetros físicos						
Temperatura	35°C	35°C		35°C	35°C	35°C
Color verdadero	U Pt/Co	20	N/A	N/A	N/A	2,500
Color Verdadero	Longitud de onda	de Coeficiente de absorción espectral máximo	ND	ND	ND	ND
	436 nm	7 m-1	ND	ND	ND	ND
	525 nm	5 m-1	ND	ND	ND	ND
	620 nm	3 m-1	ND	ND	ND	ND

NA: No Aplica. ND: No detectado. UpH: Unidades de pH. UT: Unidades de Toxicidad. * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. *Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. *Promedio mensual. Fuente: Adecuado de Rivera *et al.* (2023).

Al efectuar el análisis comparativo de acuerdo con los máximos permisibles de cada uno de los contaminantes se señalan en rojo los parámetros fuera de rango, es decir aquellos contaminantes que no cumplen con la normativa, los cuales son: carbono orgánico total (COT) (mg/L), demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L), turbidez (UTN), Dureza total (mg/L CaCO_3), Nitrógeno amoniacal (mg/L), pH (UpH), sólidos disueltos (mg/L), sólidos suspendidos totales (mg/L), Hierro (mg/L), y color verdadero (U Pt/Co), mismos que se analizaron a detalle bibliográficamente (Cuadro 3) para determinar los riesgos socioambientales que podrían ocasionar cada uno de los contaminantes que incumplen con la normativa.

Cuadro 3. Contaminantes que representan un riesgo para la salud pública y los ecosistemas.

Parámetro		Unidad	NOM-127-SSA1-1994	NOM-001-SEMARNAT-2021*			Nejayote	Riesgos socio-ambientales que podrían generarse con su descarga sin tratamiento previo
				Verter ríos	Riego áreas verdes	Infiltración en suelos		
Parámetros para determinar la calidad del agua								
Carbón Orgánico Total (COT)	mg/L	N/A	38	15	38	10,698	Proliferación de amebas identificadas como agentes infecciosos para humanos y animales.	
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	N/A	150	60	150	31,668	NOM-052-SEMARNAT-2005, debe ser considerado como un residuo peligroso debido a que contiene mercurio, plata, y cromo: Bioacumulación, neurotóxico.	
Turbidez	UTN	5				360	Condiciones hipóxicas: mortandad en peces	
Parámetros químicos								
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500	N/A	N/A	N/A	3,350	Efectos a la salud: Inhalación (corrosivo, asfixia) piel: quemaduras, dermatitis, ojos: ceguera. Toxicología: sistemas respiratorio efectos en riñón, hígado, sistema nervioso. Información ecológica: No verter a alcantarillas, evitar la penetración en terrenos.	
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	N/A	N/A	N/A	1.76	Condiciones hipoxicas, eutrofización, muerte de especies, infiltración de nitratos a aguas subterráneas (<10mgg/L); metahemoglobinemia (intoxicación)	
pH	mg/L	6.5-8.5	6-9	6-9	6-9	10.42	pH 2-13 (daños en las agallas y aletas de los peces) cambios abruptos: amoniacó tóxico, favorece crecimiento de algas.	

Parámetro	Unidad	NOM-127-SSA1-1994	NOM-001-SEMARNAT-2021*			Nejayote	Riesgos socio-ambientales que podrían generarse con su descarga sin tratamiento previo
			Verter ríos	Riego áreas verdes	Infiltración en suelos		
Sólidos disueltos	mg/L	1000	N/A	N/A	N/A	23,213	Afectan turbidez, aumentan T. Disminuye oxígeno, ralentiza la fotosíntesis.
Sólidos suspendidos totales	mg/L	N/A	60	30	100	5,100	Altos niveles de microorganismos como protozoos, bacterias y virus: patógenos: cólera, gardiasis.
Metales pesados							
Hierro	mg/L	0.3	N/A	N/A	N/A	0.422	Su presencia en el agua no representa un riesgo para la salud humana. Promueve la proliferación de bacterias ferruginosas produciendo oxidación.
Parámetros físicos							
Color verdadero	U Pt/Co	20	N/A	N/A	N/A	2,500	No se reporta ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el color del agua de uso y consumo humano

Conclusiones

De acuerdo con la revisión, el nejayote es una fuente de nutrientes, siempre y cuando se apliquen una serie de tecnologías generalmente de alto costo para su tratamiento, sin embargo, la aplicación de estas tecnologías en pequeñas localidades se dificulta, por lo que, lo más conveniente es implementar las soluciones basadas en la naturaleza que requieran pocas inversiones. La industria nixtamalizadora al incumplir en la normativa de descarga de aguas residuales a bienes nacionales y municipales, genera riesgos socioambientales, ya que derivado de las altas cargas de contaminantes presentes en el nejayote, estos pudieran ocasionar contaminación y enfermedades al verter el residuo al alcantarillado o suelo sin un tratamiento previo, sin embargo, las ecotecnologías como los humedales construidos podrían contrarrestar estos problemas. En general, la alta carga de contaminantes presentes genera afectaciones directas a los ecosistemas, produciendo condiciones anóxicas en el agua, disminución en la calidad del agua, eutrofización y la mortandad en peces, así como alteración en la fotosíntesis, en consecuencia, la incapacidad de las plantas para absorber todos los contaminantes donde gran parte de ellos se infiltran en aguas subterráneas, en el menor de los casos afectan las propiedades organolépticas del agua, en el peor de los casos transmitir enfermedades por el contenido de hidróxido de calcio, nitritos, metales pesados o agentes patógenos presentes en las aguas contaminadas que podrían producir enfermedades a niños y adultos por beber agua o comer alimentos contaminados, ocasionando efectos tóxicos a la salud humana y los ecosistemas.

Se sugiere prevenir la contaminación del nejayote y aplicar alternativas sustentables en la actividad productiva de la nixtamalización para minimizar tales efectos de contaminación, donde se proponga un sistema de tratamiento de aguas residuales ecológico previo a ser vertido, con la intención de mejorar la calidad del agua de deshecho. Es importante continuar investigando sobre los problemas socioambientales que generan los procesos de nixtamalización. Es necesario migrar a procesos con soluciones basadas en la naturaleza, ya que son de bajo costo, operación y mantenimiento para disminuir el impacto socioambiental que este tipo de residuo genera, por lo que surge la necesidad de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento del nejayote mediante humedales construidos.

Literatura citada

- Antunes-Ricardo, M., Romero-Robles, L. E. y Carrizales-Rabadán, F. 2021. Isolation of ferulic acid from nejayote using centrifugal partition chromatography [conference session]. Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. Virtual <https://doi.org/10.18687/laccei2021.1.1.141>.
- Armijo, M. R. E., Baseguio, B. N. V. y Cofrade, R. B. D 2019. Contaminantes químicos del agua: Contaminación antropogénica. MOLEQLA, 3(2): 1-54.
- Barakat, M. A. 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Arabian Journal Chemistry, 4(4), 361-377. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>.
- Buitimea-Cantúa, N. E., Antunes-Ricardo, M., Villela-Castrejón, J. y Gutierréz-Urbe, J. A. 2019. Changes in cellular antioxidant and anti-inflammatory activity after 12 months storage of roasted maize-based beverages supplemented with nejayote solids. Journal of Cereal Science, 89, 102807. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102807>.
- Castañeda-Ruelas, G. M., Ibarra-Medina, R. K., Niño-Medina, G. y Mora-Rochin, S. 2021. Phenolic extract from nejayote flour: Bioactive properties and its potential use as an antimicrobial agent of alginate-based edible coatings. Cereal Chemistry, 98(6), 1165-1174. <https://doi.org/10.1002/cche.10467>.
- Citiv, E., Durán de Bazúa, G., Engelmann, S. & Harmann, L. 1984. "Anaerobic treatment of maize processing waste water (Nejayote) in a packed bed reactor cascade". Environmental Technology Letters, 5(1): 89-96. <https://doi.org/10.1080/09593338409384257>.

- Reid Walter V., Mooney Harold A., Cropper Angela, Capistrano Doris, Carpenter Stephen R., Chopra Kanchan, *et al.*, 2005. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Informe de Síntesis: Millennium Ecosystem Assessment. 43 p.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>.
- Gastelum-Hernández, A. C., Serrano-Sandoval, S. N., Dávila-Vega, J. P. 2023. Comparison of Minerals, Ferulic Acid, Antioxidant, and Anti-inflammatory Properties of Products from Raw Maize and Germinated Maize with Selenium. ACS Food Science & Technology, 3(2): 318-325. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00345>.
- González, L. 2013. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Revista Mente y Materia, 4(1): 12-13.
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada-Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., Tejero-Jiménez, L. 2017. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(3):669-680. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.326>.
- González, D. M. N., Orozco-Barrenetxea, C., Pérez-Serrano A., Alfayate-Blanco, J. M. y Rodríguez Vidal, F. J. 2002. Contaminación del agua. p. 1-7. In Paraninfo (eds.), Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Ediciones Paraninfo S. A.
- Guzmán-Rodríguez, F, J., Peña-Reyes, R. A., Gómez-Ruíz, L. y Ramírez-Romero, G. A. 2022. Evaluation of nixtamalization temperature and adding nejayote solids on textural and olor properties of dough and tortillas. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 21(2):1-11. <https://doi.org/10.24275/rmiq/alim2737>.
- Kim, S. H. Jin-Kim, J. & Rock-Seo. 2015. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. Journal of Cancer Prevention, 20(4):232-240. <https://doi.org/10.15430/JCP.2015.20.4.232>.

- Monforte, G. M. y Cantú, P. C. 2009. Escenario del agua en México. Cultura Científica y Tecnológica, 30(6): 31-40.
- NUMERAGUA. 2022. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del medio ambiente y recursos naturales.92 p.
https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html#:~:text=NUMERAGUA%202022,%C3%97&text=Publicaci%C3%B3n%20anual%20que%20contiene%20datos,relevancia%20de%20este%20I%C3%ADquido%20vital.
- Peralta-Veran, L., Espinosa-Leal, C., Escalante-Aburto, A. y Preciado-Ortíz, E. 2022. Effects of pozole broth production on phenolic acids and antioxidant activity of specialty maize landraces. Journal of Cereal Science, 107, 103543.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103543>.
- Rivera, M. L., Piña, S. M. y Montellano, P. M. 2023. Caracterización y pruebas de tratabilidad del agua de nixtamalización mediante procesos fisicoquímicos con fines de reuso. [sesión de conferencia] Villa Hermosa, Tabasco: <http://www.amica.com.mx/issn/Tabasco/AMI-132.pdf>.
- Rosentrater, K. A., Flores, R. A. & Bern, C. J. 1999. "Physical and nutritional properties of corn masa by-product streams". American Society of Agricultural Engineers, 15(5): 515-523.
- Salmerón-Alcocer, A., Rodríguez-Mendoza, N. y Pineda-Santiago, V. 2003. Aerobic treatment of maize-processing wastewater (nejayote) in a single-stream multi-stage bioreactor. Journal of Environmental Engineering and Science, 2(5): 401-406.
<https://doi.org/10.1139/S03-046>.
- Şamil-Argun, M. (2018). Başlıca Mısır Bileşenleri Üzerine Alkali Pişirmenin (Nixtamalizasyon) Etkileri. Akademik Gıda, 16(2):231-240. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.449869>.

- Tavera-Romero, F., Ríos-Maravilla, A. y Granados-Samaniego, J. 2021. Gas measurement system for Bio-hydrogen production based on nejayote's dark phase fermentation. Journal of Physics Conference Series, 1723(1):120-158. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1723/1/012058>.
- Tenorio-Arvide, M. G., Vega-Hernández, M. y Soriano-Moro, G. 2022. Treatment of nixtamalization wastewater (nejayote) using electrocoagulation and combined chemical coagulation/electrocoagulation processes. Desalination and Water Treatment, 280:44-51. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.29113>.
- Hernández-Sampieri, R. 2010. Metodología de la investigación 5ta edición. Mc Graw Hill.
- Vacio-Muro, K. J., Lozano-Álvarez, J. A., Sánchez-González, M. N y Chávez-Vela, N. A. 2020. Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 36(3): 1-2. <https://doi.org/10.20937/rica.53185>.
- Valderrama-Bravo, C., Fuentes-Prado, E., Porras-Godínez, M. R. y Ramírez-Ortíz, M.E. 2022. Mechanical separation of a nixtamalization by-product (nejayote) and scaling of filtration conditions from a pilot filter to a press filter of higher area. Journal of Food Engineering, 328, 111. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111058>.
- Valderrama-Bravo, C., Cornejo-Villegas, M. A., Zambrano-Zaragoza, M. L. y Dominguez-Hernández, M. E. 2020. Physicochemical characterization of flours and rheological and textural changes of masa and tortillas obtained from maize fertilized with nejayote and ovine manure. International Agrophysics, 34(2):241-252. <https://doi.org/10.31545/intagr/118411>.

- Valenzuela, E-I., Gutierréz-Urbe, J. A., Franco-Morgado, M. y Cervantes-Avilés, P. 2024. Navigating the waters of nixtamalization: Sustainable solutions for maize-processing wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 911 (1):168-674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168674>.
- Valle-Real, M., Franco-Morgado, M., García-García, R. y Guardado-Félix, D. 2023. Wastewater from maize lime-cooking as growth media for alkaliphilic microalgae–cyanobacteria consortium to reduce chemical oxygen demand and produce biomass with high protein content. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(12): 6775-6783. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16648>.
- Vázquez-Banda, M., Dzul-Cauich, J. G. y Vieyra M. I. 2023. Physicochemical properties of chickpea hull and corn bran gums. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 1(35): 17-22. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i1.2988>.
- Villela-Castrejón, J., Acosta-Estrada, B. A. y Gutiérrez-Urbe, J. A. 2017. Microencapsulation of Corn Wastewater (Nejayote) Phytochemicals by Spray Drying and Their Release Under Simulated Gastrointestinal Digestion. *Journal of Food Science*, 82(7):1726-1734. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13762>.

CONOCIMIENTOS DE CIUDADANOS DE XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO SOBRE HUMEDALES Y SUS SERVICIOS AMBIENTALES

Aarón López Roldán^{454*}, José Luis Marín Muñiz⁴⁵⁴ y María Elizabeth Hernández Alarcón⁴⁵⁵

Resumen

Los humedales urbanos son sitios que se encuentran dentro de la mancha urbana, estos son ecosistemas muy importantes debido a los diversos servicios ambientales que proporcionan, sin embargo, están convirtiéndose en sitios poco conservados y cuidados por la población. En Xalapa, Veracruz, México existen varios humedales urbanos, un ejemplo es “El humedal de la Barrera”, la colonia 6 de junio es aledaña al sitio, desafortunadamente el humedal presenta deterioro, pérdida de territorio, alteración de flora y fauna. Partes del terreno han sido utilizadas para pastoreo, agricultura y tiradero de escombros y basura.

Para conocer cómo la población identifica el área de humedales, este estudio tuvo como objetivo indagar el conocimiento que tienen los habitantes aledaños al ecosistema de Xalapa, Veracruz, México, sobre qué es un humedal, sus servicios ambientales. Se recolectó información casa por casa aleatoriamente, se realizaron 36 entrevistas cara a cara (69% mujeres y 31% hombres), el 61% no ha escuchado hablar sobre los humedales, convirtiéndose en algo preocupante, el 86% desconoce sobre el término de servicios ambientales.

Con el diagnóstico generado se considera necesario la realización de un proceso educativo para que los pobladores conozcan sobre el humedal y sus servicios ambientales, en Xalapa, Veracruz hay diversos humedales urbanos naturales que requieren de protección.

Palabras clave: educación ambiental, ecosistemas urbanos, servicios ecosistémicos y medio ambiente

Introducción

Los humedales son sitios que tienen características tanto terrestres como acuáticas debido a que su suelo es húmedo o este se encuentra inundado la mayor parte del año, bajo estas condiciones crece vegetación adaptada a dichas características, se consideran uno de los ecosistemas más biodiversos, productivos y con diversa oferta de servicios ambientales, sin

⁴⁵⁴ El Colegio de Veracruz. *Autor de correspondencia: aaron.rolescolar@gmail.com

⁴⁵⁵ Instituto de Ecología A. C.

embargo, son muy vulnerables ante el cambio climático y la contaminación (Marín, 2018), algunos de estos ecosistemas al encontrarse en medio de las ciudades, se les conoce como humedales urbanos, estos de igual manera son muy importantes y la única diferencia es que se encuentran fusionados con la sociedad, es decir, están ubicados cerca de hogares con familias, lo cual a su vez los deja vulnerables al deterioro por las actividades antropogénicas. Los humedales proporcionan diversos servicios ambientales para las personas, mitigan inundaciones, protegen de erosiones, son hogar de múltiples especies de flora y fauna, limpian el aire, atrapan carbono, entre otros servicios, también se les está valorando como soluciones basadas en la naturaleza (SEMARNAT, 2012; Rojas *et al.*, 2022), debido a que resuelven diversos problemas socio-ambientales como el regular la calidad del agua, mejoran el ambiente volviéndolo más fresco y limpio.

Sin embargo, la sociedad desconoce normalmente los diversos servicios ambientales, sumado a que estos ecosistemas en contextos urbanos son percibidos de manera negativa, lo que los convierte en una zona con poca atención ante su conservación (Parada *et al.*, 2023), se piensa que los ciudadanos no tienen interés en el área porque desconocen lo que es el sitio y los diversos procesos que hacen para mejorar la calidad de vida de las sociedades.

Un problema que perjudica directamente a los humedales urbanos naturales es el crecimiento poblacional (Rojas *et al.*, 2022). Con la expansión social o territorial muchos de estos ecosistemas son secados y rellenados para posteriormente construir casas, por otro lado, pero también no tan benéfico para los humedales urbanos, estos no son respetados, construyendo alrededor hogares, pero ante el desconocimiento de las personas los sitios no son muy cuidados por sus nuevos habitantes aledaños, Junca (2022), menciona que los pueden llegar a considerar como basureros.

Se considera que lo anterior puede generarse por la escases de conocimiento ante lo que son los humedales y sus servicios ambientales, los servicios ecosistémicos son los beneficios intangibles que los ecosistemas proporcionan a la sociedad de manera natural o por medio de un manejo sustentable (SEMARNAT, 2004), es importante mencionar que los servicios ambientales también pueden ser tangibles, un ejemplo de estos puede ser el fruto que proporcionan algunas especies de flora o algunos animales para el consumo humano como los camarones (Marín, 2018) que estos habitan en diversos humedales, influye mucho que la calidad del agua esté en condiciones idóneas para que la fauna pueda vivir en el ecosistema.

Ante el desconocimiento de todo lo mencionado anteriormente por la población surge la educación ambiental como una opción para promover la importancia de los humedales. Severiche-Sierra et al. (2016), mencionan que la educación ambiental es la herramienta fundamental para que todos adquieran conciencia de la necesidad de preservar su entorno, ser capaces de hacer cambios para modificar valores, conductas, estilos de vida y conocimiento, este último coadyuvará a mitigar los problemas existentes y futuros.

Se considera que con estos procesos educativos la sociedad se pueda informar y conocer más sobre lo que tienen en su entorno, diversas poblaciones viven y se desarrollan junto a humedales, sin embargo, estos no son valorados por las personas. Derivado de lo anterior, el objetivo de la investigación es identificar los conocimientos que tienen los pobladores de la colonia 6 de junio de Xalapa, Veracruz, México sobre humedales y servicios ambientales para a partir de ello identificar si la población necesita conocer sobre el ecosistema.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en Xalapa, Veracruz, México. El humedal urbano tiene un área aproximada de 2.5 ha y se encuentra en el Bulevar Lomas de Santa Fe del municipio de Xalapa Enríquez, a 19° 56' de latitud N y 96° y 88' de longitud W (Figura 1a). El humedal urbano indica tener un nivel de conservación bajo, la población aledaña desconoce del ecosistema y las autoridades competentes no tienen atención sobre el sitio (Figura 1b). Sumado a lo anterior el crecimiento urbano, vertimientos de aguas residuales, pastoreo de vacas, vertimiento de escombros para rellenar y ocupación del espacio para cultivos generan un deterioro y transformación del paisaje afectando la biodiversidad endémica y migratoria de la zona (Junca, 2022).

Esta investigación fue desarrollada con una metodología mixta, se aplicó lo cualitativo y cuantitativo. En la primera etapa se realizó una entrevista estructurada en Google Forms, posteriormente se aplicó a los pobladores de la colonia 6 de junio, son aledaños al humedal. La entrevista se desarrolló con los siguientes incisos: (A) Información personal del entrevistado, (B) Conocimientos sobre humedales urbanos naturales, es importante mencionar que en esta sección se les mostró a los entrevistados una imagen (figura 1b) del humedal

urbano con el objetivo de que ellos supieran de que ecosistema se estaba hablando, debido a que a pesar de tener el humedal urbano cerca puede ser para algunos desconocido o ser conocido por otro nombre y (C) Conocimientos sobre servicios ambientales de los humedales.

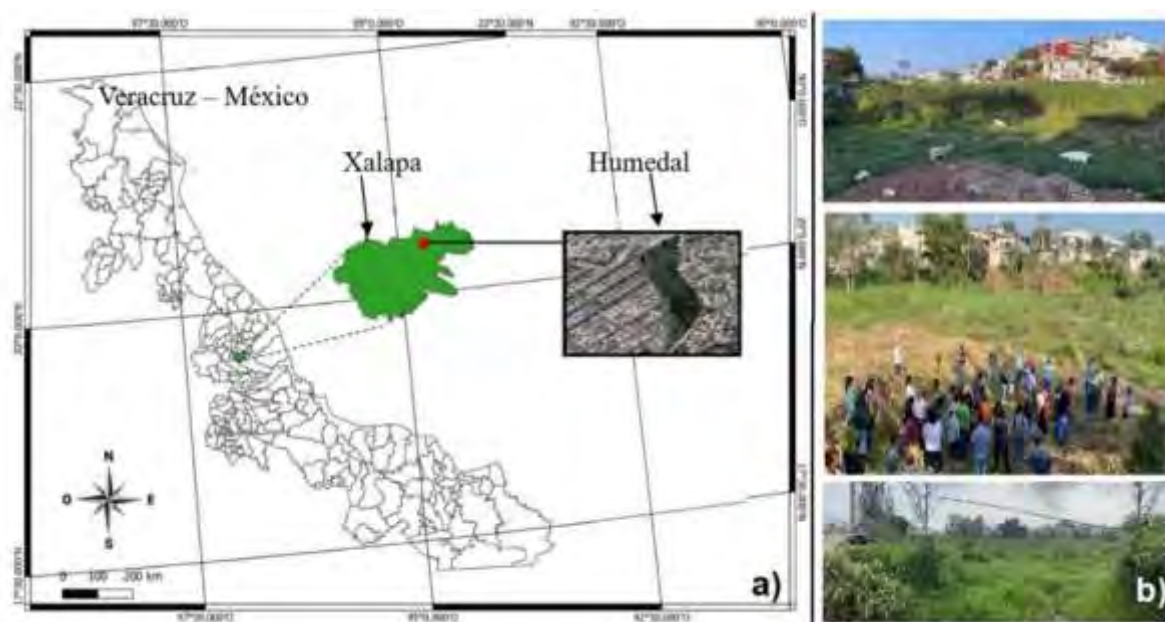


Figura 1. Ubicación de área de estudio. a) Ubicación geográfica, b) fotografías del sitio en su condición actual. Fuente, Modificado de Junca (2022).

Para identificar el número de entrevistas a realizar se consideró la metodología propuesta por Rojas et al. (2014), en donde la determinación de la población y el tamaño de muestra (N), se definió como los habitantes aledaños al humedal, mayores a 17 años debido al uso del celular, por el tema de las redes sociales, sin importar el género. Considerando los datos de INEGI (2020), se detectó la cantidad de hogares para delimitar la zona y obtener el muestreo significativo necesario para realizar las entrevistas. El tamaño de muestra ($n = 32$) se calculó con la ecuación uno para obtener poblaciones finitas. Para obtener las 32 personas que accedieran a participar en un proceso de educación ambiental mediante redes sociales se tuvieron que realizar 36 entrevistas, debido a que no todas las personas quisieron participar.

$$\text{Ecuación 1: } n \geq \frac{(Nz^{2_{1-\alpha/2}} PQ)}{(Z^{2_{1-\alpha/2}} PQ + d^2 (N-1))}$$

Dónde n : representa el tamaño de la muestra, N : colonias alrededor (4-5 manzanas alrededor del humedal), Z : es el valor de distribución normal (95%), P : es la proporción de población

estimada (70%), d : es la precisión (5%), Q : proporción de resultados desfavorables en la población ($q = 1 - p$).

Los valores mencionados anteriormente son establecidos por la propia ecuación. Las entrevistas se desarrollaron con la técnica cara a cara (Galán et al., 2004), se realizaron de forma aleatoria, con los pobladores aledaños a El Humedal de la Barrera (colonia 6 de junio) de Xalapa, Veracruz, México. Los datos se almacenaron en un archivo de Excel. Donde posteriormente fueron analizados.

Resultados y discusión

La mayor parte de la población entrevistada fue del género femenino con un 69%, mientras que el 31% fueron hombres (Figura 2a), esto pudo deberse al horario en que se realizaron las entrevistas.

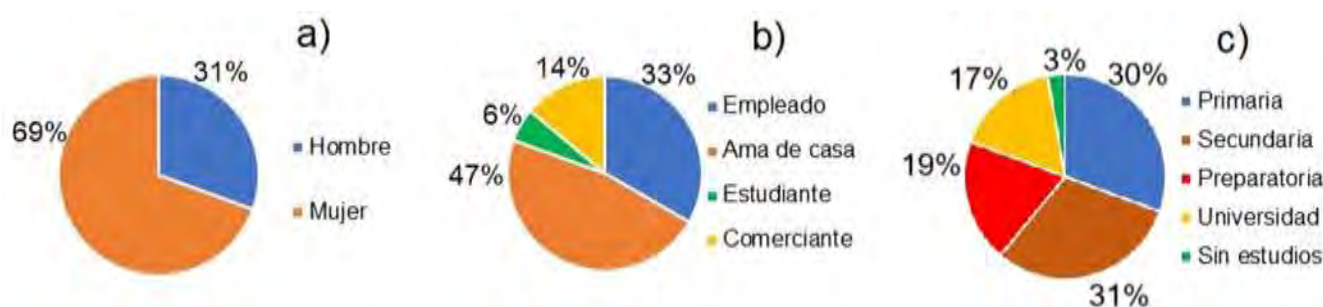


Figura 2. Frecuencia de respuesta sobre el género (a), ocupación (b), nivel de estudios (c).

La mayoría del género masculino pudo haberse encontrado trabajando. Los hombres generalmente son los que se encuentran laborando (INEGI, 2020), se considera que ellos son los principales responsables de ingresos económicos para sus hogares en México.

Se detectó que el 47% de los entrevistados son amas de casa, 33% son empleados, estos mencionan que trabajan en tiendas en la colonia principalmente. El 14% son comerciantes, este porcentaje tiene negocios dentro de la colonia fuera de sus casas, finalmente el 6% se encuentra estudiando (Figura 2b). El quehacer doméstico es una tarea que se relaciona más

con la mujer, socialmente se relaciona el género femenino con el bienestar familiar (Ortiz, 2018), tomando en cuenta que la mayoría de los entrevistados son mujeres, fue el alto porcentaje de amas de casa detectadas.

En cuanto al nivel de estudios de los entrevistados, se observó que el 31% de la población cursó hasta el nivel secundaria, el 30% tiene cursada la primaria, el 17% la universidad, el 19% la preparatoria y únicamente el 3% de los entrevistados no asistió a ninguna institución educativa (Figura 2c), con lo detectado se esperó que la población conociera ciertas características de los humedales, ya que, en México estos tópicos, aunque de manera generalizada, son temas de aprendizaje que en el nivel de educación básica se desarrollan (Jaimes, 2022).

Sin embargo, al analizar las respuestas, se encontró que el 61% de los entrevistados no han escuchado hablar sobre los humedales, es un porcentaje considerable y preocupante debido a que es población aledaña al humedal, con estas respuestas se interpreta que la sociedad aledaña no se relaciona con su entorno natural disponible. El 39% de la población si ha escuchado hablar sobre estos ecosistemas, sin embargo, desconocen que tienen un humedal, ya que, lo relacionan con un espacio pastoso y peligroso. Junca (2022), confirma que la sociedad tiene una percepción sobre los humedales como zonas de peligro, malos olores y áreas descuidadas.

Lo anterior ha dado como resultado que hasta el 54% de la población no visita el lugar, únicamente pasa por la zona del humedal porque les queda de paso, mencionan que no están motivados para ir, desde su opinión es un lugar muy descuidado y estéticamente no es muy agradable. El 29% frecuentemente visita el sitio porque les agradan las cuestiones relacionadas con la naturaleza. Hay un 8% que nunca ha visitado el lugar, mencionan que no tienen interés porque el lugar visualmente no es muy atractivo para ellos.

Por otro lado, las respuestas indican que el 80% de los entrevistados si consideran benéfico la presencia del humedal en la zona. Ellos mencionan que les provee frescura en la zona y sombra. Lo anterior indica que de manera indirecta perciben servicios ambientales, algunos de estos servicios son invisibles (SEMARNAT, 2021), por lo tanto, la sociedad no los identifica. El 20% no considera benéfico la presencia del humedal, principalmente porque lo relacionan con un sitio de inseguridad, ya que, actualmente no hay mucha iluminación en el área, y no hay agentes de seguridad, por lo que resulta importante la intervención municipal para mejorar la

seguridad de los sitios y con ello quizá un mayor acercamiento entre el ecosistema y los colonos, por el contrario, el 80% si lo considera benéfico, lo cual es un punto a favor para realizar un proceso educativo.

El 86% de la población también desconoce sobre el término de servicios ambientales, mientras que solo el 14% mencionaron que si conocía el término. Es necesario que en el proceso de enseñanza aprendizaje se explique la definición del término, ya que, es poca la familiaridad con este. Al preguntar si consideraban que los humedales son proveedores de servicios ambientales, se encontró que el 64% no sabe si los humedales proporcionan servicios ambientales, un 3% dice que no y el 33% menciona que si son proveedores de servicios ambientales. Es importante recalcar que los humedales proporcionan diversos servicios ambientales de forma natural y son benéficos para la sociedad, de allí la importancia de su conservación (Crooks *et al.*, 2014; Zamora *et al.* 2022), y también la importancia de que toda estrategia de educación ambiental que emane incluya este tópico a detalle.

Al mencionar algunos servicios ambientales específicos de estos ecosistemas, para saber si los reconocían, se detectó que un 78% desconoce si los humedales almacenan carbono, el 14% dice que no y el 8% menciona que si. Estos ecosistemas se caracterizan por almacenar carbono no solo en su vegetación, si no en sus suelos, resultado de la descomposición paulatina de la materia orgánica por las condiciones anaerobias de tales ambientes (Hernández, 2010), y es reconocido como uno de sus múltiples servicios ambientales. Por lo anterior, se requiere impulsar también estos conocimientos. Es importante recalcar que este servicio ambiental coadyuva a mitigar el calentamiento global, lo cual, al saberlo, podría apoyar en sensibilizar sobre cuidar y valorar más a los humedales.

También se encontró que un 58% de los entrevistados mencionaron que los humedales evitan problemas de inundación, recalcando que cuando es temporada de lluvia, toda el agua que escurre se va para el ecosistema. El 36% lo desconoce y el 6% dice que los humedales no evitan que la zona se inunde. Aunque es solo un poco más de la mitad de los entrevistados son los que sí han visualizado el papel de los humedales en evitar inundaciones, es importante que se empiece a valorar por servicios como este, la existencia del humedal en su entorno. Hernández y Bastián-Lima (2022) también han detectado desconocimiento de tal función por los humedales, entre habitantes de otro humedal urbano de Xalapa (Molinos de San Roque), describiendo además, que hay colonias aledañas que en ciertas temporadas se inundan,

resultado de alteraciones a las condiciones naturales hidrológicas en el humedal, por lo que impulsar estrategias de educación ambiental sobre estos temas, podría prevenir inundaciones en el futuro, si se favorece la conservación y cuidado del humedal aledaño.

Respecto al servicio ambiental de mejorar la calidad del agua, el 50% de los entrevistados mencionaron que los humedales si mejoran la calidad del agua, comentan que lo saben, sin embargo, desconocen el proceso, un tema que resalta, es importante de incluir en la creación de cualquier estrategia de educación ambiental. En el mismo tópico, el 39% no supo sobre dicho servicio y el 11% mencionó que este ecosistema no mejora el recurso hídrico. Por lo tanto, es importante que la sociedad conozca cómo los humedales mejoran la calidad del recurso hídrico.

Por otro lado, también se cuestionó sobre el servicio ambiental de mejoramiento de la calidad del aire por la presencia de humedales, al respecto el 78% de los entrevistados hicieron saber que los humedales si mejoran la calidad del aire, sin embargo, un 22% lo desconoce. Sustentando los dos párrafos anteriores, Ramsar (2018) indica que el suelo y la vegetación de los humedales funcionan como un filtro de agua debido a que absorben toxinas, y que la presencia de vegetación en estos sitios produce aire refrescante y purificante de manera natural.

En cuanto a la importancia de los suelos de humedales como captadores naturales hídricos, el 70% si reconocían que los humedales captan y retienen agua, un 22% lo desconocieron y el 8% lo negaron. Marín-Muñoz (2018) menciona que los humedales almacenan agua y este proceso favorece el ciclo hidrológico en diversas cuestiones, genera remoción de sedimentos limpiando el agua, hay un reservorio importante del vital líquido para la sociedad, regula los mantos acuíferos, etc. Se considera muy importante que la sociedad conozca los diversos beneficios de servicios ambientales que realizan los humedales, y aún más en estos temas que resultan prioritarios ante la escasez de agua que cada vez es más común en la región, como señalan López *et al.* (2022).

A la par de lo anterior, también se cuestionó sobre el posible aprovechamiento de las plantas del humedal, en tal sentido, se observó que el 61% si conocía que con algunas de las plantas de los humedales se pueden crear artesanías, algunos pobladores mencionan que con las plantas de El Humedal de la Barrera se han creado cojines para los caballos, estos se ponen

encima del caballo y funcionan como silla para los humanos, también comentan que han visto a personas externas realizar escobas. Por el contrario, un 39% desconoce sobre el tema.

Un caso de estudio donde crean artesanías a partir de plantas es en Ajalpan, Puebla, en la zona aprovechan el carrizo (*Phragmites australis*) que es una planta típica de humedal, principalmente para crear canastas, cuentan con 21 modelos diseñados a partir del uso de la planta y la población genera capital económico (Flores, Pereda, Morales y Rodríguez, 2019). Por lo anterior, es pertinente que la sociedad conozca las alternativas u opciones que el ecosistema le proporciona de una manera natural, puede convertirse en un aprovechamiento del recurso para la zona y quizá con ello sea mayor el interés de cuidar a los humedales.

El 61% de las personas mencionaron también que en los humedales si se pueden realizar actividades recreativas como ir con la familia a realizar deporte, ejercicio, actividades de relajación, caminata, etc. El 28% menciona que en el humedal no se pueden realizar actividades de ningún tipo porque el sitio no es favorable, está saturado de pasto y puede haber diversos animales peligrosos para los niños. El 11% comenta que desconoce si en el humedal se pueden realizar actividades recreativas, sin embargo, uno de los servicios ambientales de los humedales es el aportar espacios idóneos para realizar diversas actividades recreativas, entre ellas el turismo, la relajación o el descanso (SEMARNAT, 2021). Se considera que es necesario comunicar a la sociedad estos aspectos, dado que, puede ser una fuente de inspiración para que la sociedad este interesado en cuidar el ecosistema, sin embargo, es tarea de todos y no únicamente de unos cuantos, es prioritario cuidar el sitio modificando algunas acciones, por ejemplo, es importante que no tiren basura en el sitio, algunos vecinos comentan que en ocasiones han observado que va la gente a tirar bolsas grandes de basura al humedal, porque no le ven otro beneficio al sitio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diagnóstico, se confirma que es necesario realizar una estrategia educativa, ya que la sociedad realmente desconoce sobre los humedales, al no conocer el sitio la sociedad no tiene interés en conservarlo, se piensa que si se informa a la sociedad sobre lo qué es y sus servicios ambientales que proporciona, la colonia tendría posiblemente interés en cuidar y recuperar el sitio. Vecinos de mayor edad (80 años) mencionan que anteriormente había diversidad de animales y el sitio contaba con calidad de agua funcional para los aledaños, actualmente el agua que está en el humedal no es utilizada para nada debido a la contaminación existente en el ecosistema.

Los humedales son hábitat de gran variedad de animales, en estos ecosistemas pueden contener fauna de invertebrados (arañas, escarabajos, insectos acuáticos, etc.), anfibios (rana, sapo común, etc.), peces (farfet, sábalo, capitán enano, lamprea, etc.), reptiles (tortugas, etc.), aves (flamencos, avión zapador, martín pescador, patos, gaviotas, etc.), mamíferos (coipo, nutria, castor, carpicho, etc.), (Bordino, 2021), sin embargo, con la actividad humana y los malos hábitos se han degradado los ecosistemas ocasionando eliminación de especies y contaminación.

Algunos habitantes de la colonia 6 de junio mencionaron que han visto vacas, es un sitio donde no debería haber este tipo de fauna, pero las insertan en el ecosistema porque actualmente el sitio está saturado de pasto, es decir, alimento de ganado, pero no típico de tales ambientes. También se detectó, aunque con menos frecuencia el caballo, esto también es derivado de que es un sitio donde el animal puede encontrar comida, y al no haber tanta agua en el sitio, los animales pueden habitar.

Conclusiones

Los habitantes aledaños al humedal de la colonia 6 de junio de Xalapa, Veracruz, México desconocen sobre lo que es un humedal y sus servicios ambientales, por lo que, es pertinente generar un proceso de educación ambiental sobre el tema. Algunos ciudadanos saben que con la presencia del humedal se mejora la calidad de aire y agua, sin embargo, no lo perciben como un servicio ambiental. Es necesario la realización de un proceso educativo con el propósito de coadyuvar en los cambios de conocimiento que apoyen en detectar los servicios y entender la importancia de proteger, cuidar y conservar los humedales. Se considera que si los vecinos conocen más sobre el sitio se animaran a cuidar mejor de él.

Literatura citada

Bordino, J. 2021. Flora y fauna de los humedales. Ecología verde. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/flora-y-fauna-de-los-humedales-3569.html>

- Flores, V. F., Pereda, L. A., Morales, J. A. y Rodríguez, S. M. 2019. Producción artesanal de la canasta de carrizo en Ajalpan, Puebla. *Revista Brasileira de Educação do Campo* 4:1-16.
- Crooks, S., Rybczyk, J., O'Connell, K., Devier, D.L., Poppe, K., y Emmett-Mattox, S. 2014. Blue Carbon Opportunity Assessment for the Snohomish Estuary: The Climate Benefits of Estuary Restoration; *Report by Environmental Science Associates*, Western Washington University, Earth Corps, and Restore America's Estuaries: Bellingham, WA, USA.
- Galán, I., Rodríguez-Artalejo, F. y Zorrilla, B. 2004. Comparación entre encuestas telefónicas y encuestas cara a cara domiciliarias en la estimación de hábitos de salud y prácticas preventivas. *Gac Sanit*, 18(6): 440-450.
- Hernández-M. E. y Bastián-Lima, V. A. 2022. Diagnóstico sociohidrológico de tres humedales urbanos Xalapa, Ver., México. *Revista Ambiens techné et Scientia México*. 10(2):189-205.
- Hernández, M. E. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2):139-147.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Censo de población y vivienda. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Jaimes, K. L. 2022. La educación Ambiental en el nivel primaria: plan y programas de estudio, acciones y Covid-19. *Diálogos Sobre Educación*, 13(24): 2-18.
- Junca, D. A. 2022. Diagnóstico y gestión socioambiental de tres humedales urbanos para su conservación y obtención de servicios ambientales en el municipio de Xalapa, Veracruz, México. Tesis de Maestría. El Colegio de Veracruz. 168 p.

- López, A., Marín-Muñiz, J. L. y Céliz, M. C. 2022. Percepciones sobre el uso y reuso del agua y del conocimiento de sistemas sustentables para limpiar las aguas residuales. p. 161-174. *In*: Ortega G. y Rodríguez E (coordinador). Reconstrucción de una economía social. Universidad Martí.
- Marín, J. L. 2018. Humedales, riñones del planeta y hábitat de múltiples especies, Xalapa, Ver; México, Editora de Gobierno del Estado de Veracruz.
- Ortiz, J. 2018. Corresponsabilidad de labores domésticas y de cuidados. Una mirada a las familias biparentales con doble ingreso del instituto del centro de México, campus Querétaro. Tesis de especialidad. Universidad Autónoma de Querétaro. 99 p.
- Parada, M., Montes, B. I., Jiménez, J., Cervantes, J., Parada, P. C. y Torres, V. 2023. El humedal como depurador de agua y percepciones sociales: caso parque Molino de San Roque, Xalapa. *Universita Ciencia* 11(30): 163-176.
- Ramsar. 2018. Humedales: esenciales para un futuro urbano sostenible. Ficha informativa 10. https://www.ramsar.org/sites/default/files/urbanwetlands_sp.pdf
- Rojas, O., Sáez, K., Martínez, C. y Jaque, E. 2014. Post-catastrophe social-environmental effects in vulnerable coastal areas affected by the tsunami of 27-F 2010 in Chile. *Interciencia*, 39(6):383-390.
- Rojas, C., Jorquera, F. y Steiniger, S. 2022. Acceder caminando a los humedales urbanos. *Revista Urbano*, 25 (46): 56-67.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2004. Introducción a los servicios ambientales. México: Miguel Ángel Domínguez (coord. gral.) 73 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2021. Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/servicios-ambientales-o-ecosistemas-esenciales-para-la-vida>

Severiche-Sierra, C., Gómez-Bustamante, E. y Jaimes-Morales, J. 2016. La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. Telos, 18(2): 266-281.

Zamora, S., Zitácuaro-Contreras, I., Betanzo-Torres, E.A., Herazo, L.C.S., Sandoval-Herazo, M.; Vidal-Álvarez, M. y Marín-Muñiz, J.L. 2022. Carbon Pool in Mexican Wetland Soils: Importance of the Environmental Service. Life, 12:1032.

EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE VINAZAS EN HUMEDAL HÍBRIDO SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO

José Antonio Fernández Viveros⁴⁵⁶, Pedro Adrián Ortega Cervantes⁴⁵⁶, Jacel Adame García^{456*}
y Félix David Murillo Cuevas⁴⁵⁶

Resumen

La vinaza es un desecho de la fabricación de alcohol, y se ha convertido en un gran problema debido a que su presencia en mantos acuíferos es un foco de contaminación que afecta a la flora y fauna existente en ese espacio. En la actualidad existen alternativas para mitigar los daños ocasionados por este tipo de contaminantes. Una de ellas es el uso de humedales construidos híbrido para el tratamiento de aguas residuales como la vinaza, estos humedales realizan el proceso de depuración por medio de procesos físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. En los procesos microbiológicos la presencia de bacterias juega un papel fundamental para que éste sea eficiente. Por lo que el objetivo de este trabajo fue cuantificar las bacterias presentes en la vinaza durante su tratamiento en humedales construidos híbridos. Para ello se emplearon diluciones al 10%, 20%, 30% y 50% de vinaza con agua de grifo. Se tomaron muestras de vinaza antes de entrar al humedal y en las salidas, posteriormente se realizó la cuantificación de las bacterias presentes en cada uno de los tratamientos. Los resultados obtenidos mostraron que la mayor cantidad de bacterias en las muestras de entrada se presentó en las de menor concentración de vinaza en comparación con las muestras con una mayor concentración. En lo que respecta a las muestras de salida, las que contenían una concentración del 10% de vinaza fueron las que presentaron menor cantidad de bacterias, un promedio de 13.83×10^{-2} UFC/mL y las de la salida con 30% es la que cuenta con mayor composición bacteriana con 41.96×10^{-2} UFC/mL.

Palabras clave: aguas residuales, bacterias, contaminación, biorremediación

Introducción

Uno de los grandes retos que enfrenta la industria alcoholera es la gran cantidad que se produce de vinaza por litro de alcohol ya que se estima que por cada litro de alcohol producido se puede generar entre 12 a 18 L de vinaza como residuo. Estos residuos generalmente son

⁴⁵⁶ Tecnológico Nacional de México/IT de Úrsulo Galván. *Autor de correspondencia jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

utilizados como fertilizantes líquidos, pero si llegan a mantos acuíferos pueden generar contaminación afectando flora y fauna debido a que presenta alta carga de materia orgánica, además de contener compuestos con estructuras químicas complejas y resistentes a la degradación como las melanoidinas, que le confieren un intenso color marrón (Gonzalez *et al.*, 2006; Wadt, 2008).

Una opción de solución a este problema es tratar este tipo de aguas en humedales construidos, los cuales de manera general son ecosistemas donde se realiza un proceso de depuración por medio de mecanismos físicos, químicos y microbiológicos, permitiendo así la eliminación de materia orgánica y de compuestos contaminantes (Stefanakis *et al.*, 2014).

Las condiciones que ofrecen los humedales permiten el desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos, levaduras y protozoarios (Delgadillo Foreno, 2015). Dentro de estos, las bacterias, son principalmente los organismos más importantes ya que son las responsables de la transformar y degradar las sustancias contaminantes (Delgadillo *et al.*, 2010). El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene la vinaza en diferentes concentraciones sobre el desarrollo de las bacterias.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo correspondió al trabajo de Titulación para la obtención del título de Licenciatura en Biología. Se llevó a cabo en el humedal construido ubicado dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván ubicado en el Km. 4.5 de la carretera Cardel-Chachalacas en las coordenadas 19°24'43"N 96°21'31"W, ubicado en el municipio y localidad de Úrsulo Galván en el estado de Veracruz.

Diseño y unidad experimental

El humedal construido híbrido Figura 1 está diseñado por ocho humedales combinando secciones A) verticales (HCV) y B) horizontales (HCH). Estos humedales fueron diseñados a escala mesocosmo para permitir la experimentación al aire libre y la interacción con el ambiente.

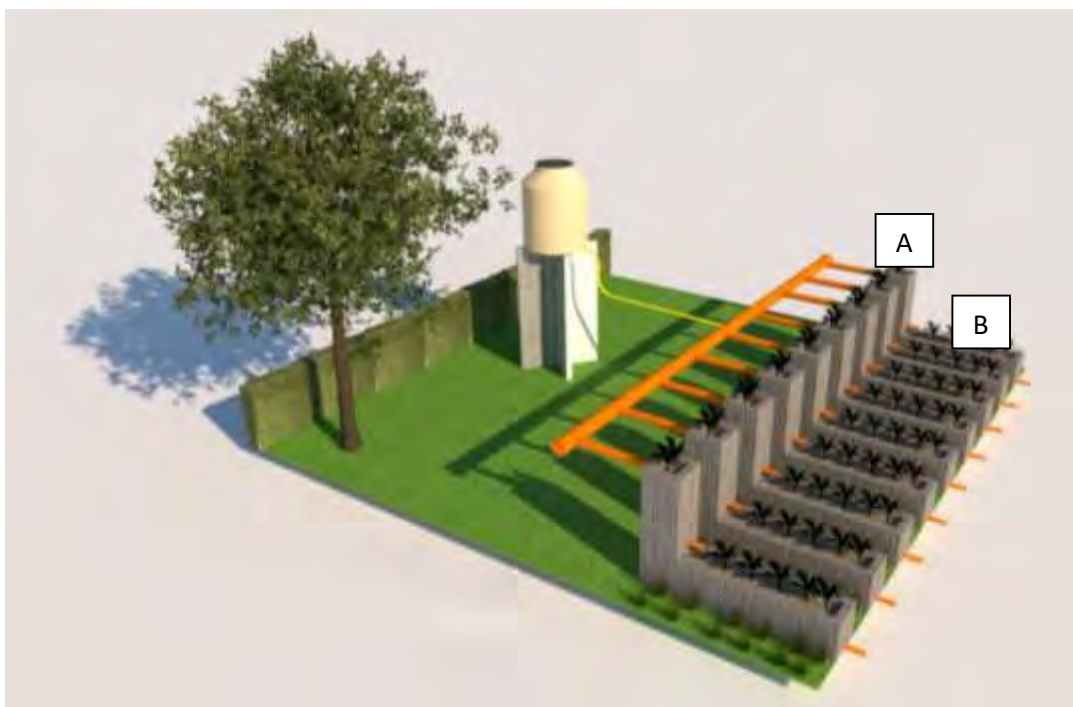


Figura 1. Humedal Construido Híbrido.

El HCV diseñado en forma rectangular vertical con flujo libre conectado a un HCH parcialmente saturado en forma rectangular horizontal, ambos de cemento con dimensiones: a) HCV: 50 cm x 50 cm de ancho y 1 m de altura; y b) HCH: 50 cm x 50 cm de ancho y 3 m de largo. Ambas secciones del humedal funcionan en condiciones de flujo libre y cuentan con tres componentes: a) Sustrato de piedra volcánica roja; b) vegetación que corresponde a la especie *Canna indica*; y c) la vinaza como agua residual a tratar.

Se evaluaron cuatro tratamientos que contenían agua residual agroindustrial vinaza en distintas concentraciones, T1 al 10%; T2 al 20%; T3 al 30% y T4 al 50%. Los tratamientos se montaron por duplicados (cada uno en un humedal) a la misma concentración y se sembró la planta *Canna indica*. Esta especie fue recolectada de las comunidades aledañas, las cuales fueron aclimatadas en los humedales, iniciando con riegos de vinaza a las concentraciones de 0%, 1%, 5% y finalmente 10% cada 15 días. Posteriormente se continuó el trabajo durante 10 meses con la aplicación de vinaza en concentraciones correspondientes a cada tratamiento.

Conteo de bacterias

Después de diez meses de estar tratando las aguas, se realizó el muestreo para el conteo bacteriano tanto de la entrada de vinaza de los diferentes tratamientos (10%, 20%, 30% y 50%) y de su respectiva salida, para lo cual se utilizaron frascos estériles de 100 ml con dos celdas por cada concentración obteniendo así ocho muestras de salida. Una vez tomadas las muestras, se trasladaron en hielera al Laboratorio de Usos Múltiples y Biología Molecular del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván donde se trabajaron los análisis microbiológicos.

Se realizaron diluciones seriadas (1:10) en solución de fosfatos 0.25 M de K_2HPO_4 (NOM-110-SSA-1994). Las muestras se inocularon con espátula de Drigalsky sobre la superficie del medio de cultivo Luria Bertani (LB) sólido, debido a que se trata de un medio no selectivo y es recomendado para bacterias. Las cajas Petri se incubaron a 30°C en estufa (Ecoshel®) y se realizó el conteo de bacterias de las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} , a las 24 y 48 h posterior a la siembra.

Resultados y discusión

Una vez transcurrido el tiempo de incubación de los medios inoculados, a las 24 y 48 h se realizó el conteo de bacterias en cada uno de los tratamientos en las muestras de entrada. En la muestra de entrada, se observó que a medida que aumentaba la concentración de la vinaza disminuía la cantidad de bacterias, esto debido a la concentración de vinaza y a su pH bajo alrededor de 4.8 (Figura 2).

En la Figura 3 se muestra el desarrollo bacteriano a las 48 h de incubación en medio de cultivo LB inoculado con el agua residual de vinaza de la entrada del humedal (sin tratar) con sus respectivas concentraciones (10%, 20%, 30% y 50%), donde se distingue que el crecimiento bacteriano está relacionado con la concentración de vinaza ya que a medida que ésta aumenta, la cantidad de bacterias disminuye.

En la Figura 4 se muestra el desarrollo de unidades formadoras de colonias y Figura 5 se muestra el desarrollo bacteriano a las 48 h de incubación en medio de cultivo LB inoculado con el agua residual de vinaza de las salidas del humedal con sus respectivas concentraciones (10%, 20%, 30% y 50%), donde se distingue que el crecimiento bacteriano está relacionado

con la concentración de vinaza ya que a medida que ésta aumenta, la cantidad de bacterias disminuye.

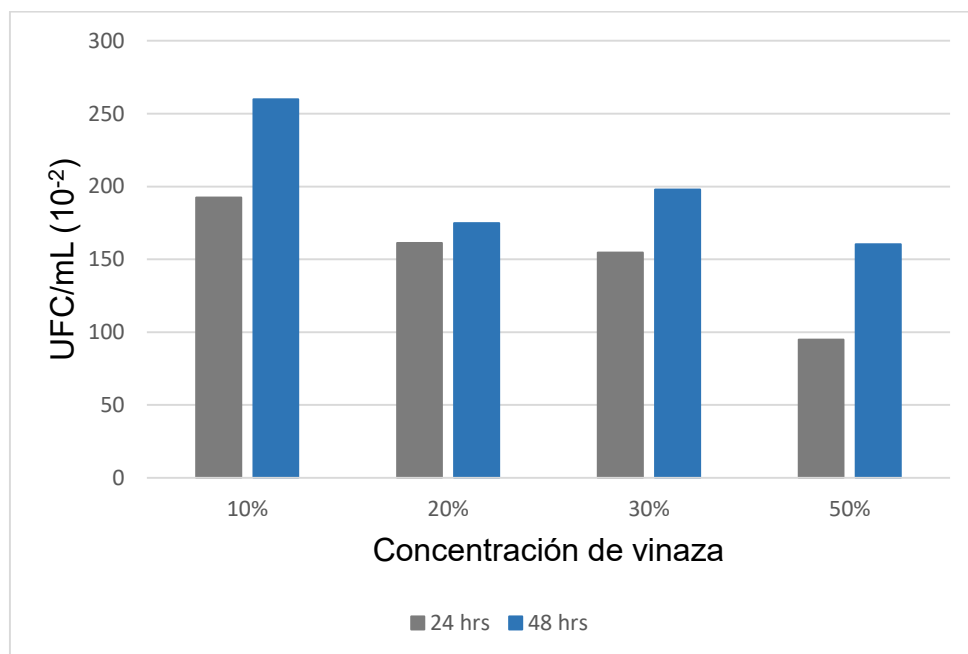


Figura 2. Unidades formadoras de colonias bacterianas que se desarrollaron a las 24 y 48 h en las muestras de vinaza de entrada al humedal, muestras sin tratar.

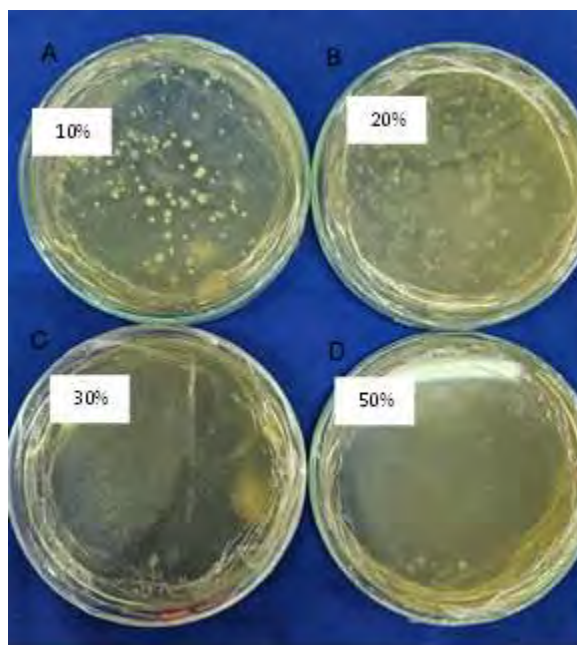


Figura 3. Crecimiento de colonias bacterianas en las muestras de entrada al humedal (sin tratar).

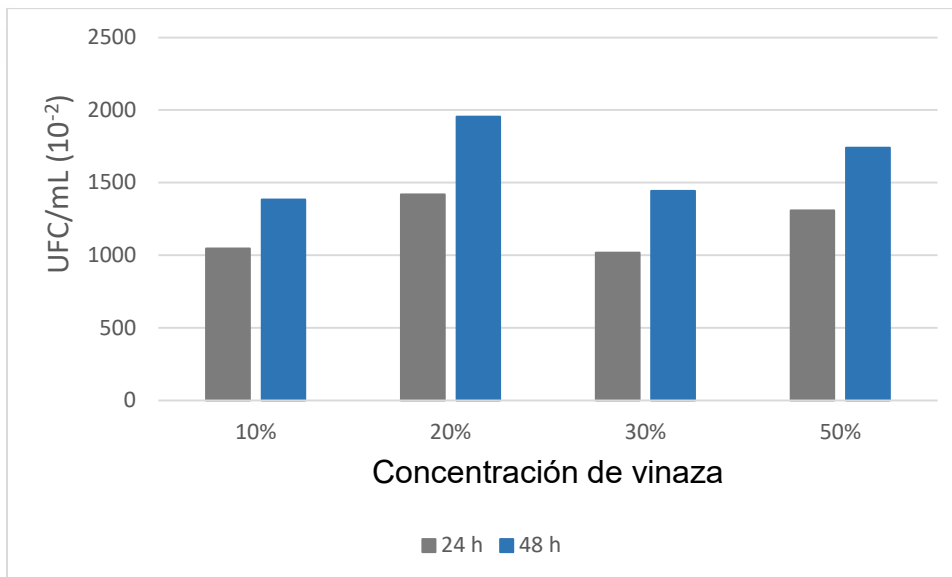


Figura 4. Unidades formadoras de colonias bacterianas que se desarrollaron a las 24 y 48 h en las muestras de vinaza de salida del humedal.

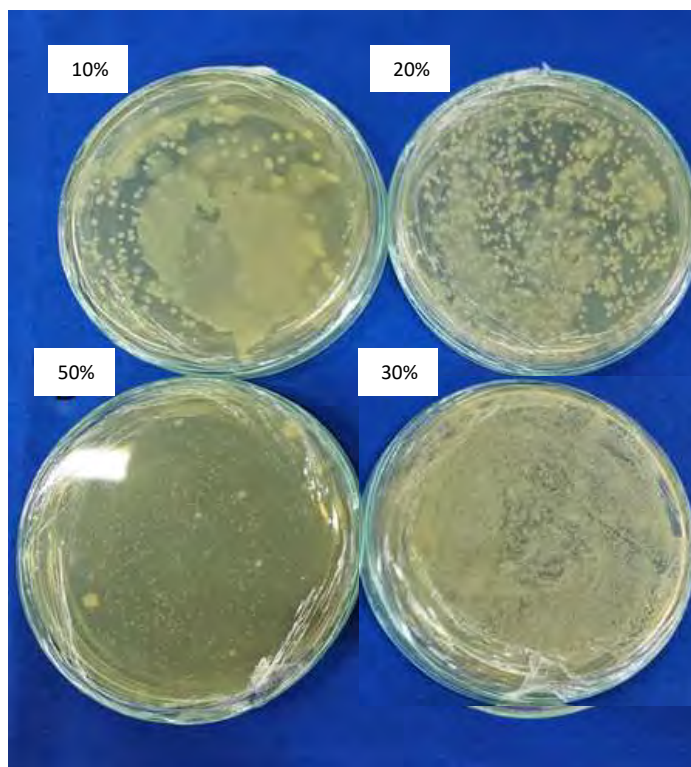


Figura 5. Crecimiento de colonias bacterianas en las muestras de salida del humedal (con tratamiento).

Con base a los resultados obtenidos en el conteo de bacterias de las muestras de salida inoculadas, el tratamiento con 10% de vinaza es el que cuenta con menor cantidad de UFC/mL de bacterias después de 48 h de incubación (138.4×10^{-3} UFC/mL), seguida del tratamiento con 30% de vinaza con 144.4×10^{-3} UFC/mL. El tratamiento que contó con la mayor cantidad de bacterias fue el tratamiento con 20% de vinaza con un crecimiento de 195.4×10^{-3} UFC/mL, y por debajo de ella se encuentra el tratamiento con 50% de vinaza con 174.1×10^{-3} UFC/mL. La presencia de bacterias en cada una de las muestras demostró que la cantidad de vinaza influye en el desarrollo de estas. Otro factor importante es la presencia de las plantas ya que la vegetación está directamente relacionada con las bacterias, en este trabajo las condiciones de la vinaza (pH 4.8) provocó que las plantas de *Canna indica* no sobrevivieran en algunos de los tratamientos y al no estar presente esta vegetación en los humedales también se vio afectado el desarrollo bacteriano.

Algunos autores reportaron que el tipo de bacterias va a depender de la presencia de las plantas, por ejemplo, al muestrear la rizosfera, en los primeros muestreos, el número de bacterias nitrificantes fue mayor en comparación con las desnitrificantes; mientras que en las muestras de sustrato en ambos muestreos se presentaron valores similares tanto de bacterias nitrificantes como de bacterias desnitrificantes (Quintero *et al.*, 2021).

Asimismo, Pérez-Peláez *et al.* (2011) realizaron un conteo de bacterias heterótrofas, encontrando que la mayor población bacteriana se presentó dentro del humedal control, seguido del humedal sembrado con *Phragmites australis* y finalmente el humedal plantado con *Heliconia psittacorum*. Para el caso de bacterias nitrificantes, el humedal plantado con *P. australis* fue el que presentó mayor población, mientras que el humedal plantado con *H. psittacorum* presentó una menor población bacteriana. Concluyeron que existe una relación directa de la densidad bacteriana con el flujo de agua y el tipo de vegetación.

Por otra parte, Zahui *et al.* (2021) evaluaron la densidad bacteriana de bacterias aerobias y anaerobias presentes en el sustrato de humedales contruidos de flujo vertical. Los autores mencionan que se presenta una mayor densidad de bacterias aerobias que anaerobias en todos los lechos de los humedales contruidos de flujo vertical con la excepción del lecho que no presentaba ningún tipo de vegetación. En cuanto, a densidad bacteriana total, los humedales plantados fueron superiores al humedal sin plantar.

Conclusiones

Los humedales contruidos con su vegetación permiten el desarrollo de bacterias, al ser parte importante del proceso de degradación de los contaminantes presentes. A la concentración de vinaza del 50% que fue la mayor, el desarrollo de bacterias se vio afectado disminuyendo considerablemente su cantidad. La concentración de vinaza del tratamiento al 20% fue en la que se desarrollaron mejor las bacterias.

Literatura citada

- Delgadillo Forero, N. 2015. Descripción de comunidades microbianas cultivables en las raíces de especies seleccionadas en el estudio de humedales contruidos en el páramo Chingaza. Universidad de los Andes.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.
- González, T.; Yagüe, S.; Terrón, M.; Carbajo, J.M.; Arana, A.; Téllez, A.; González A.E. 2006. Enzimas fúngicas: ¿una alternativa para la decoloración de los efluentes de destilería? ICIDCA. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 40(1):3-12.
- Pérez-Peláez, N. R., Peña-Varón, M. R., & Sanabria, J. 2011. Comunidades bacterianas involucradas en el ciclo del nitrógeno en humedales contruidos. Ingeniería y Competitividad, 11(2), 83–92.

- Quintero García, K. L., Rodríguez Zúñiga, D. P., González Duque, M. E., & Arroyave Rojas, J. A. 2021. Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Ingeniería y Región*, 25, 82–94.
- Stefanakis, A. I., Akratos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. 2014. Introduction to Constructed Wetlands. In *Vertical Flow Constructed Wetlands* (pp. 1–16). Elsevier.
- Wadt, L. C. 2008. Cultivo de *Pleurotus* spp. Em vinhaça visando A produção de biomassa e exopolissacarídeos. Dissertação. Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 72p.
- Zahui, F. M., Ouattara, J. M. P., Kamagaté, M., Coulibaly, L., & Stefanakis, A. I. 2021. Effect of plant species on the performance and bacteria density profile in vertical flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment in a tropical climate. *Water*, 13(3485). <https://doi.org/10.3390/w13243485>

PRESENCIA DE *Vibrio* spp. (*parahaemolyticus*) EN LA ZONA DEL PNSAV Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD ANTROPOGÉNICA

Lady Cecilia Espinoza Tepepa⁴⁵⁷, Fátima Jael Olvera Muñoz⁴⁵⁷, Christian Reyes Velázquez⁴⁵⁷,
y María del Refugio Castañeda Chávez⁴⁵⁷

Resumen

Las actividades antropogénicas tienen impacto en el medio ambiente marino. En el Golfo de México, se puede destacar al Puerto de Veracruz, que durante la última década ha incrementado su actividad antropogénica exponencialmente, por el proyecto de la ampliación del puerto. El presente estudio tuvo como objetivo identificar la presencia o ausencia de *Vibrio parahaemolyticus*, en muestras de agua circulante al Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). El trabajo consistió en coleccionar muestras a 30 cm de profundidad, dentro de la zona del PNSAV, conservándose a una temperatura aproximada de 4°C durante su traslado, continuando la cadena de custodia hasta su entrega al laboratorio donde fueron procesadas con métodos de siembra en agar selectivo para vibrios spp y posteriormente se identificó por morfología colonial, marcando colonias aisladas de interés para aplicar pruebas presuntivas y observar su reacción a las enzimas oxidasa y catalasa. El trabajo microbiológico permitió realizar el análisis de resultados, donde se determinó la presencia positiva para *V. parahaemolyticus* para el 50% de las muestras en la zona del PNSAV. Debido a que esta bacteria es de origen marino, se adapta a las altas concentraciones de salinidad y resiste elevadas cantidades de materia orgánica, podría ser de utilidad para detectar la contaminación de origen antropogénico de manera eficiente, sobre todo en sistemas costeros tropicales como el Puerto de Veracruz. Es por esto que su estudio en aguas costeras debería ser de suma importancia, y de interés para las ciencias medioambientales y la salud, debido a su alta patogenicidad y las severas afectaciones que puede causar.

Palabras clave: patogenicidad, medio ambiente, Puerto de Veracruz

⁴⁵⁷ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Boca del Río. María del Refugio Castañeda Chávez. mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx

SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS DE FOLLAJES DE CORTE: UN ENFOQUE PARA EL MANEJO SUSTENTABLE

Gregorio Briones Ruiz^{458*}, Julio Díaz José⁴⁵⁸, Otto Raúl Leiva Ovalle⁴⁵⁸ y Noé Aguilar Rivera⁴⁵⁸

Resumen

Los sistemas socio-ecológicos (SSE) representan una opción de estudio de la intrincada interconexión entre sociedad y naturaleza. El análisis SSE permite la comprensión de procesos sociales en varias dimensiones como gobernabilidad, sistemas y unidades de producción. Por tanto, los sistemas socio-ecológicos son la unidad analítica para la investigación de los sistemas manejo de recursos naturales como los follajes de corte, los cuales son sistemas socio-ecológicos, diseñados no controlados con componentes de alto grado de autonomía; que constituyen un ejemplo de SSE. El objetivo de este estudio fue regionalizar y caracterizar los SSE que aprovechan follajes, que podrían fungir como unidades espaciales para su manejo. Para lo cual se aplicó un cuestionario, a 304 productores de Coetzala, Naranjal, Omealca, Tepatlaxco, Tezonapa y Zongolica utilizando un muestreo por conveniencia, para después desarrollar estadística descriptiva. Se identificaron tres SSE, los cuales se diferencian por la especialización en el aprovechamiento de *Chamaedorea elegans* (SSE 1. Tepatlaxco), *Chamaedorea tepejilote* (SSE 2. Zongolica-Coetzala) y *Cordyline sp.* (SSE 3. Cuichapa, Omealca, Naranjal, Tezonapa), sistemas de producción de 1.4 hectáreas en promedio, con sistemas de recolección y siembra, tradicionales hasta intensivos, densidades de 30 a 100 mil plantas ha, con pendientes >20%. Un tercio de los terrenos utilizados para el cultivo de follajes tuvieron un uso agrícola previo. Respecto a las características socioeconómicas, los tres SSE presentan altos porcentajes de relevo generacional (90%) y acceso a mercados y proveedores. Sin embargo, indicadores como la vinculación y la gobernabilidad muestran valores bajos (alrededor del 20%). Los ingresos constantes son el principal factor que impulsa el cultivo en los tres SSE, siendo mencionados por el 60% de los entrevistados. En las tres regiones, el trabajo es unipersonal, lo que representa un desafío para el desarrollo de prácticas sustentables. El estudio destaca la necesidad de fortalecer la investigación, la organización y el acceso a la información como elementos clave para el manejo sustentable. La identificación y caracterización de los SSE presentados en este trabajo constituyen un primer paso fundamental para lograr este objetivo.

Palabras clave: palmas, regionalización, PFNM

⁴⁵⁸ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: gbriones@uv.mx

CONCENTRACIONES DE CLORURO DE LANTANO SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LECHUGA EN RAÍZ FLOTANTE

Guadalupe Contreras Martínez⁴⁵⁹, Danna D. Vázquez Morales⁴⁶⁰, Isabel Alemán Chávez⁴⁵⁹, Doris G. Castillo Rocha⁴⁵⁹, Luis G. Hernández Montiel⁴⁶¹ y Liliana Lara Capistrán^{459*}

Resumen

La demanda de especies hortícolas ha incrementado día con día, lo que implica el uso de sistemas hidropónicos en combinación con bioestimulantes agrícolas, encontrándose el lantano (La). Este elemento permite incrementar variables de crecimiento, desarrollo y calidad en diversos cultivos de importancia agrícola, destacado el aumento de pigmentos fotosintéticos, mejorando la vida de anaquel, absorción de nutrimentos, longitud de raíz y número de hojas. No obstante, su uso es contraproducente en las plantas, dado que concentraciones altas provoca efectos inhibitorios en procesos fisiológicos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar diversas concentraciones de cloruro de lantano sobre el crecimiento, desarrollo y estado nutricional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema de raíz flotante en invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos: T1 (Solución nutritiva), T2 (Solución nutritiva + 25 μM LaCl_3), T3: (Solución nutritiva + 50 μM LaCl_3); T4: (Solución nutritiva + 75 μM LaCl_3) y T5: (Solución nutritiva + 100 μM LaCl_3), cada uno con 14 repeticiones, con un total de 70 unidades experimentales., las cuales se establecieron en un sistema hidropónico de raíz flotante. A los 34 días después del trasplante se evaluó altura de la planta, número de hojas, peso fresco y seco de follaje y raíz, contenido foliar de N, P, Ca, Mg, C y La. Los datos fueron analizados mediante la prueba de medias de Tukey al 0.05%. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos para la mayoría de las variables (Tukey, $P \leq 0.05$), siendo mejor concentración 50 μM LaCl_3 en altura, número de hojas, peso fresco de follaje y raíz con incrementos del 9%, 46.15%, 21% y 13.8% respectivamente en comparación con las plantas testigo. Sin embargo, concentraciones superiores a 75 μM LaCl_3 causan un efecto inhibitorio en la mayoría de las variables de crecimiento., se encontró una buena relación entre el contenido de N, P, Ca y Mg en 50 μM , de La. En conclusión, se puede recomendar el uso de LaCl_3 a dosis de 50 μM para mejorar el crecimiento y desarrollo de lechuga orejona bajo un sistema de raíz flotante.

Palabras clave: hidroponía, hormesis, lantánidos, bioestimulante

⁴⁵⁹ Estudiante de Doctorado en Ciencias en Ecología y Biotecnología. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA). Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte. Ave. Cultura Veracruzana No. 101, Emiliano Zapata, C.P. 91094 Xalapa-Enríquez, Ver.

*Autor de correspondencia lilara@uv.mx

⁴⁶⁰ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México. *Autor de correspondencia lilara@uv.mx

⁴⁶¹ Grupo de Nanotecnología & Biocontrol Microbiano, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz 23096, Baja California Sur, México.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN DEL FLUJO DE AIRE CON LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN REACTORES TIPO AIRLIFT UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE MICROALGAS (*Chlorella vulgaris*)

Gerardo Evaristo González Landero⁴⁶², Anselmo Osorio Miron⁴⁶², Luis Alberto Sánchez Bazan⁴⁶², Ignacio Sánchez Bazan⁴⁶² y Eduardo Hernández Aguilar^{462*}

Resumen

Hoy en día el agua es un recurso natural que tiene una gran demanda a nivel industrial, pero que no siempre se usa de manera racional generándose altos volúmenes de agua residual. Por lo que se requieren métodos de tratamientos adecuados para cumplir con los estándares de descarga de efluentes, dentro de estos tratamientos se encuentran los procesos biológicos mediante el uso de algas (*Chlorella vulgaris*), las cuales son idóneas para altos contenidos de materia orgánica. En este contexto, se pretenden alcanzar rendimientos óptimos de mezclado, por lo cual es necesario estudiar los perfiles de velocidad y tiempos de retención. Así, el objetivo principal de este trabajo es estudiar el comportamiento de burbuja, los perfiles de velocidad y los tiempos de retención de un biorreactor airlift. El método empleado es el uso de trazadores y la dinámica de fluidos computacional (CFD), para obtener los perfiles de velocidad y las fases gaseosas, que permitan identificar zonas muertas y poder proponer una solución optimizada. Se realizaron tres corridas con diferentes valores de flujo volumétrico de aire alimentado al biorreactor, C1= 4.8 L/min, C2= 3.2 L/min y C3= 1.6 L/min; se tomaron propiedades reológicas a diferentes temperaturas y fotos digitales para poder determinar el diámetro de la burbuja. Con estas condiciones se procedió a simular en el software de Comsol Multiphysics. Se utilizó el modelo de flujo de burbujas turbulento κ - ϵ , para modelar el líquido con burbujas dispersas. Los resultados numéricos muestran que el flujo de 4.8 y 3.2 L/min, con diámetro de burbuja de 2.5 mm y tomando una densidad de gas efectiva de 1.184 gr/cm³, se tiene una mayor concentración de CO₂, favoreciendo al crecimiento de la microalga respecto a otras concentraciones.

Palabras clave: agua residual, CFD, burbujas

⁴⁶² Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia:

DIAGNÓSTICO DEL SUELO PARA SU CONSERVACIÓN, EN LAS COMUNIDADES AGUA DE LOS PESCADOS Y EL CONEJO DEL PARQUE NACIONAL COFRE DE PEROTE

Benito Hernández Castellanos^{463*}, Héctor V. Narave Flores⁴⁶³,
Ma. De Los Ángeles Chamorro Zárate⁴⁶³, Yadeneyro De la Cruz Elizondo⁴⁶³,
Ma. Del Rosario Pineda López⁴⁶⁴ y Julio César Castañeda Ortega⁴⁶³

Resumen

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) brindan diversos servicios ecosistémicos, en el caso del suelo este participa en la retención de carbono, en la regulación del clima, en el ciclo de nutrientes, en la purificación del agua mediante la filtración, brinda macro y micronutrientes a las plantas entre otros servicios ecosistémicos. Por lo que su cuidado y protección es necesaria en ANP, en el Parque Nacional Cofre de Perote en las comunidades Agua de los Pescados y El Conejo los procesos de deforestación han impactado al suelo, por lo que es importante conocer tanto en el bosque como en las zonas agrícolas cual es el estado de este. En cada una de las comunidades se eligieron tres zonas de uso agrícola (cultivos) y tres zonas de uso forestal (bosque), se realizaron transectos en zig zag a diferentes distancias y se colectaron muestras de suelo de los primeros 20 cm de la superficie según especificaciones de la NOM-021 RECNAT-2000. Las muestras fueron procesadas en campo para la determinación de variables físicas y químicas como pH, nitrógeno, fósforo, potasio entre otras, la información fue procesada para el respectivo análisis. Los suelos de bosque presentaron un pH ácido, así como una gran cantidad de materia orgánica, al igual que de nitrógeno, potasio y una baja cantidad de Fósforo. Mientras que los suelos agrícolas presentaron menor cantidad de materia orgánica y una cantidad alta de fósforo. Los suelos de bosque y agrícola tuvieron en general un buen balance de nutrientes, sin embargo, por las prácticas agrícolas que se han venido incrementando la estructura de los suelos agrícolas está cambiando lo que favorece la erosión del suelo y limita los servicios ecosistémicos que el suelo brinda. Por lo que es necesario impulsar acciones que favorezcan la conservación, el cuidado del suelo y el medio ambiente, mediante la capacitación en la mejora de las prácticas agrícolas, considerando la participación activa de la población de estas comunidades.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, restauración, nutrimentos, materia orgánica

⁴⁶³ Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. Zona Universitaria, C.P. 91090. Xalapa, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: benihernandez@uv.mx

⁴⁶⁴ Centro de Ecoalfabetización y diálogo de saberes (EcoDialogo). Universidad Veracruzana. Av. De las Culturas Veracruzanas No. 101, Col. Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Ver.

TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN MÉXICO Y PROPUESTA PARA EL PERIODO 2025-2030

Laura Gómez Tovar^{465*}, Manuel Ángel Gómez Cruz⁴⁶⁶ y Esmeralda Cisneros Villegas

Resumen

Hay una serie de cambios en las políticas públicas orientadas al sector agropecuario caracterizados como la transición agroecológica en la agricultura mexicana, en el periodo 2018-2024. Varias dependencias a nivel federal y en diferentes estados y municipios apoyan y fomentan dicha transición que consiste en promover la producción agroecológica, reduciendo el uso de insumos de síntesis química por nuevas prácticas que utilizan recursos locales, se apoyan en diálogo de saberes, dando acompañamiento técnico a productores, con cursos, talleres y apoyos económicos, entre otros. La presente investigación tuvo como objetivo analizar los cambios de la política pública relacionada con la transición agroecológica y contribuir con una propuesta para el periodo 2025-2030. La metodología utilizada consistió en el análisis del discurso tomando como referencia información periodística, artículos científicos, rueda de prensa, y comunicados a la opinión pública. Obteniendo como resultados que una serie de dependencias y programas se avocaron a promover la transición agroecológica incorporando a miles de pequeños productores en todas las regiones y privilegiando a los campesinos en el sureste del país. La transición agroecológica se enfrentó con los siguientes problemas: arraigo en los agricultores de la utilización de agrotóxicos para la producción, falta de capacitación agroecológica de los técnicos involucrados en los programas federales, estatales y municipales, excesivos procedimientos burocráticos en los programas gubernamentales, así como la oposición al cambio de la agricultura comercial-industrial. A pesar de los grandes problemas que significa el cambio, hoy en México existen mejores condiciones que en cualquier otro momento histórico para promover y desarrollar un gran movimiento exitoso en pro de la agroecología. Por lo que se concluye que es necesario incorporar líderes comunitarios agroecológicos para garantizar la continuidad de la transición agroecológica independientemente de estar en un programa o en un periodo presidencial, así como dar apoyos para formar y consolidar faros agroecológicos en cada región que aseguren la consolidación y la persistencia de la transición agroecológica, a la par de instrumentar una política pública integral de fomento agroecológico en el periodo 2025-2030 y no solo parcial como en el periodo actual.

Palabras clave: problemática, alternativas para el campo, política pública

⁴⁶⁵ CIIDRI-Depto. De Agroecología-Universidad Autónoma Chapingo. *gomezlaura@yahoo.com.

⁴⁶⁶ CIIDRI-Universidad Autónoma Chapingo

ANÁLISIS DE UN PROGRAMA DE REFORESTACIÓN COMO ACCIÓN DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PARQUE NACIONAL PICO DE ORIZABA

Adriana Ixmattlahua Ruiz^{467*}, Bernabé Colohua Citlahua⁴⁶⁸ y Eric Pascal Houbbron⁴⁶⁷

Resumen

Actualmente el cambio climático representa el desafío más importante al que se enfrenta la humanidad, por lo tanto, se deben implementar acciones de mitigación que contrarresten sus efectos en el planeta. Desde el siglo XIX, las acciones antropogénicas han sido las principales responsables de impulsar el cambio climático. Por ello, es fundamental que se promuevan programas de reforestación y protección de los ecosistemas, ya que estos son cruciales en la absorción de dióxido de carbono y mitigación del calentamiento global. El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar el potencial de un programa de reforestación como acción de mitigación ante el cambio climático. El área de estudio fue en el Parque Nacional Pico de Orizaba, se realizó un muestreo al azar en zonas de reforestación con la especie *Pinus hartwegii*, establecidas anualmente desde el año 2012 al 2022. Se realizaron mediciones de altura (cm) y diámetro a la base (mm), estado fitosanitario y vigor. Los parámetros medidos permitieron evaluar el estado fisiológico de los árboles plantados los cuales en un 95% presentan un buen vigor. Las alturas varían de 17 a 120 cm en función del año plantado. El contenido de carbono del *Pinus Hartwegii* se estimó utilizando el coeficiente de 50.81%. Las plantaciones en promedio almacenan 38.4 kg/ha de carbono. En estas poblaciones se encontró que los primeros años presentan crecimiento bajo en altura, posteriormente la acumulación gradual de biomasa es exponencial y confirma el potencial de almacenamiento de carbono como uno de los servicios ambientales, de los programas de reforestación y su contribución en la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: *Pinus hartwegii*, Pico de Orizaba, carbono, reforestación

⁴⁶⁷ Facultad de Ciencias Químicas, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: adrina.ixm@gmail.com

⁴⁶⁸ Parque Nacional Pico de Orizaba. Orizaba, Veracruz.

CALIDAD FISICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA GENERACIÓN DE COMPUESTOS BIOPOLÍMEROS

Guadalupe Dolores Gutiérrez Sampieri⁴⁶⁹, Melva Jaime Leyva Romero⁴⁶⁹, José Proudinat Suarez⁴⁶⁹
e Itzel Galaviz Villa⁴⁶⁹

Resumen

Los residuos agroindustriales tienen su origen en los cultivos y no son aprovechados para el consumo humano; estos residuos incluyen tallos, hojas, cáscaras y semillas provenientes de cereales, frutas, verduras, entre otros. Anualmente, se generan, aproximadamente, 3,045 millones de toneladas de residuos agroindustriales. El café (*Coffea* spp.) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) son los principales cultivos industriales en México; de ambas industrias se generan diversos residuos, destacando la cascarilla de café y el bagazo de caña. Ambos residuos son fuente principal de componentes estructurales como la lignina, celulosa y hemicelulosa. Por lo anterior, se determinaron las características fisicoquímicas de la celulosa extraída de los residuos agroindustriales del café (*Coffea* spp.) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para formulación de biopolímeros. Se realizó la extracción de celulosa de dichos residuos por medio de tratamientos químicos por blanqueo, hidrólisis álcali y ácida. Se hizo una caracterización fisicoquímica de los mismos, obteniendo altos porcentajes de α -celulosa de alta pureza de la cascarilla de café (88.80%) y del bagazo de caña de azúcar (83.28%), así como, mayor rendimiento de la celulosa extraída de la cascarilla de café (32.75%). Se desarrollaron dos tipos de biopolímeros de composición: A, 100% celulosa de cascarilla de café y B, 75% de fibra de bagazo de caña y 25% celulosa de cascarilla de café. Se encontró que el biopolímero A presentó las mejores características fisicoquímicas de humedad celulósica, vapor de agua y solubilidad para el desarrollo de biopolímeros. La prueba de biodegradabilidad indicó que, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, ambos biopolímeros son compostables en un periodo de 110 días; degradándose en 84.41 y 77.49%, respectivamente, resultando, en ambas formulaciones, en materia orgánica y CO₂.

Palabras clave: residuos agrícolas, celulosa, cascarilla de café, bagazo de caña de azúcar, hidrólisis

⁴⁶⁹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río. Laboratorio Multidisciplinario de Ciencias Ambientales, Laboratorio de Ecotecnologías. Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. Autor de Correspondencia: *itzelgalaviz@bdelrio.tecnm.mx

COMPONENTES TECNOLÓGICOS CON APORTES SIGNIFICATIVOS A LA PRODUCTIVIDAD DE SORGO DULCE EN VERACRUZ

Sergio Uribe Gómez^{470*}, Rosa Laura Rebolledo García⁴⁷⁰, Noé Montes García⁴⁷¹
y María Guadalupe Aguilar Uscanga⁴⁷²

Resumen

Los medios modernos de transporte demandan grandes cantidades de energía, proveniente de combustibles fósiles, cuya disponibilidad es limitada. Además, su uso provoca calentamiento acelerado de la atmósfera que origina grandes pérdidas económicas y problemas ambientales. El uso de biocombustibles líquidos contribuye a satisfacer las necesidades de energía y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero. Las especies más utilizadas para la elaboración de etanol son caña de azúcar y maíz, pero este uso compete con la producción de alimentos. El sorgo dulce es una especie con potencial para la elaborar bioetanol, pero falta desarrollar tecnologías específicas en diferentes regiones para hacer rentable esta actividad. El objetivo de este trabajo fue identificar componentes tecnológicos significativos para enfocar la generación de tecnología de producción de sorgo dulce en Veracruz, como materia prima para elaborar etanol. En el Campo Experimental Cotaxtla se realizó un experimento factorial 2^4 en bloques al azar con tres repeticiones, para explorar el efecto de: genotipo (RB-Cañaveral y Etanol), densidad de población (60,000 y 120,000 plantas/ha), nitrógeno (69 y 184 unidades de N/ha) y potasio (0 y 90 unidades de K_2O /ha). Las variables evaluadas fueron altura y diámetro de planta, biomasa fresca de tallo y sólidos solubles totales. Los efectos medios de los factores en estudio se calcularon con el método de Yates. El genotipo resultó significativo en todas las variables evaluadas. La densidad de población y nitrógeno fueron significativos para la biomasa fresca de tallos, mientras que el potasio no registró diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas. Se concluye que los factores que contribuyen en mayor medida a la productividad de sorgo dulce para elaborar etanol en Veracruz son: genotipo, densidad de población y fertilización nitrogenada, por lo que el proceso de generación de tecnología para sorgo dulce debe enfocarse en la optimización de estos componentes.

Palabras clave: genotipos, densidad de población, nitrógeno y potasio

⁴⁷⁰ INIFAP- Campo Experimental Cotaxtla. * Autor de correspondencia: uribe.sergio@inifap.gob.mx

⁴⁷¹ INIFAP-Campo Experimental Río Bravo.

⁴⁷² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz-UNIDA.

IMBIBICIÓN DE SEMILLAS Y ASPERSIÓN AL SUSTRATO DE VANADIO AFECTAN EL CRECIMIENTO INICIAL DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*)

Víctor Hugo Carbajal Vázquez^{473*}, Fernando Carlos Gómez Merino⁴⁷³, Libia Iris Trejo Téllez⁴⁷³, Jazmín Lavin Castañeda⁴⁷⁴ y Juan Valente Hidalgo Contreras⁴⁷⁵

Resumen

La caña de azúcar se cultiva en más de 130 países y territorios alrededor del mundo. En México se cultiva en 15 estados y genera unos 500 mil empleos directo y 2.4 millones indirectos. El uso de fertilizantes en este cultivo genera aportes importantes de vanadio (V), elemento que puede resultar tóxico para algunos organismos, aunque en dosis bajas puede producir respuestas positivas. En este estudio se analizó el efecto del V aplicado a yemas de caña de azúcar (cv. Mex 69-290, Mex 09-341 y CP 72-2086) en fase de imbibición y posterior a la siembra, vía foliar, en variables de crecimiento inicial. Los tratamientos fueron diferentes concentraciones de V (0, 15 y 30 μM V). Las yemas tuvieron entre 8 y 10 cm y se colocaron en imbibición por 18 h en cada tratamiento. Enseguida, cada yema se sembró en una maceta negra de plástico (13 x 14 x 18.5 cm), con una mezcla de turba blanca (Super Terra ST1 Hawita) y tezontle (1:1/ v:v) como sustrato; para después ser asperjadas a los 10, 20 y 30 días después de la siembra (dds) con 100 mL de cada solución con V directo al sustrato. A los 40 días después de la siembra, se midieron la altura de planta (AP) y el diámetro de tallo (DT), y se contabilizó el número de hojas (NH). Se realizó un análisis descriptivo de los resultados. Los resultados obtenidos indican que la dosis 15 μM V afectó negativamente DT, AP y NH en 19.4, 19.8 y 13.6%, respectivamente, al compararse con el tratamiento testigo en Mex 69-290. Por otro lado, en Mex 09-341 la dosis 30 μM V mejoró las variables DT, AP y el NH en 36.8, 41.0 y 20%, respectivamente, en comparación con el testigo. En CP 72-2086 la dosis 30 μM V mejoró las variables DT y NH en 5 y 9.5%, respectivamente, en comparación con el testigo; aunque la dosis 15 μM V decreció la AP en 7%, con respecto al testigo. Se concluye que el V tiene efectos diferenciales dependiendo del genotipo, destacando los efectos positivos en el crecimiento en Mex 09-341 a los 40 dds.

Palabras clave: elementos benéficos, bioestimulación, crecimiento inicial

⁴⁷³ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México *Autor de correspondencia: carbajal.victor@colpos.mx

⁴⁷⁴ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Manlio F. Altamirano, Veracruz.

⁴⁷⁵ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Amatlán de los Reyes, Veracruz.

INNOVACIÓN DE MÁQUINA COMO PROTOTIPOS SUSTENTABLES PARA LA RECUPERACIÓN DE PLÁSTICOS PET EN COMUNIDAD RURAL

Israel Robles Hernández^{476*}, Isabel Lagunes Gomes⁴⁷⁶ y Francisco Enrique Cab Jiménez⁴⁷⁶

Resumen

Se diseñó un prototipo de máquina sustentable para recuperar plásticos PET en una comunidad rural. Enfocada en la eficiencia energética, esta máquina tritura envases de PET, facilitando su reutilización en la industria del reciclado. Los resultados preliminares muestran una notable reducción en el tamaño de las partículas de PET, optimizando su posterior procesamiento industrial. Este proyecto de investigación es la propuesta de un prototipo innovador en las áreas de mecánica y eléctrica, para la recuperación de plástico PET en envases comerciales desde 150 mL hasta de 1500 mL de contenido, para convertirlo en una transición tecnológica. El proyecto de investigación es la construcción de una máquina portátil, de dimensión media, que convierta la energía eléctrica en energía mecánica capaz de moler envases de plásticos en la clasificación de Polietileno de tereftalato por sus siglas en inglés PET (Polyethylene Terephthalat). Para su reúso en la industria o comercio de reciclado. La investigación se basó en metodologías de diseño mecánico, la metodología TRIZ y eficiencia energética. Se aplicaron principios de innovación tecnológica y se siguieron los procedimientos necesarios ante las instituciones gubernamentales pertinentes para desarrollar un prototipo que cumple con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos. Las pruebas realizadas al prototipo 1.0, tanto destructivas como no destructivas, permitieron evaluar su rendimiento mecánico y eléctrico. Un hallazgo clave fue la significativa reducción del tamaño de las partículas de PET, lo que mejora su reutilización en procesos de termoformado y su valor en el mercado de reciclado.

Palabras clave: innovación, reúso de plástico PET, sustentable

⁴⁷⁶ Tecnológico Nacional de México/Instituto tecnológico superior de Alvarado (ITSav) Escolleras Norte S/N. Col. La Trocha, C.P. 95278 Alvarado, Veracruz. *Autor de correspondencia israelrobles@itsav.edu.mx

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE 2016-2021 DEL MUNICIPIO DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ, A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES

Rodolfo Campos Tenorio^{477*}, Itzel Galaviz Villa⁴⁷⁷, Hirvin Gorospe Zetina⁴⁷⁷, Mario Adrián López Ortiz⁴⁷⁷ y María Guadalupe de los Santos Zavala⁴⁷⁷

Resumen

La teledetección es una herramienta que permite generar información sin que exista contacto directo entre el sensor y el objeto de interés. El objetivo del trabajo fue analizar el cambio de cobertura y uso de suelo de 2016 a 2021, en el municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México; mediante imágenes satelitales del sensor Sentinel 2B. Se empleó una clasificación supervisada, se generó una matriz de transición de uso y cobertura vegetal, se evaluó el nivel de precisión y exactitud. Se obtuvieron dos capas de uso y cobertura, encontrando coincidencia en las categorías: cuerpos de agua, bosque tropical perennifolio (selva), ganadería y agricultura de temporada.

La actividad ganadera mostró un incremento de 3,644.2 ha durante el periodo evaluado y disminución de zona boscosa. Los rangos de las tasas de deforestación fluctúan entre 75,000 ha/año a cerca de 1.98 millones de ha por año. En ese sentido, para demostrar la tasa de deforestación para el municipio de Jesús Carranza se tomaron los valores de bosque tropical perennifolio de los años 2016 y 2021 respectivamente con los datos necesarios para dicho cálculo. Los mapas obtenidos indican una predominancia de áreas dedicadas a la actividad ganadera, con una transición de las zonas de bosque tropical perennifolio a zonas de actividad ganadera. Las zonas que comprenden los bosques tropicales perennifolios del municipio analizado presentaron una pérdida de 4709.3 ha en los años comprendidos entre 2016 y 2021. La tasa de deforestación para el municipio es de -0.522%, representando 1350.4 ha/año en el periodo estudiado. En el caso de las áreas dedicadas a la agricultura de temporal, se evidencia un incremento de 1918 ha, utilizándose para esta actividad los márgenes de los cuerpos de agua, lo que va desplazando a su vez los bosques de galerías, los cuales cumplen con la importante labor de proteger los recursos hídricos, además de funcionar como fajas hidrorreguladoras.

Palabras clave: teledetección, cobertura vegetal, cambio de uso de suelo

⁴⁷⁷ Tecnológico Nacional de México, Campus Jesús Carranza. *Autor de correspondencia: campostenorio@itsjc.edu.mx

CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DE PASO DE OVEJAS Y SU VIABILIDAD PARA CONSUMO HUMANO

Mario Torres Becerril⁴⁷⁸ y Gustavo López Romero^{478*}

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua de la microcuenca de Paso de Ovejas, Veracruz y determinar si es apta para el consumo humano. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos (acidez, alcalinidad, cloruros y materia orgánica total) de muestras de agua tomadas de diferentes ríos que forman parte de la microcuenca. Se observó que la alcalinidad (946.66-946.66 mg/L CaCO_3) y contenido de materia orgánica (147.36-147.56 mg O_2/L) era elevado en ambas muestras, mientras que los valores de acidez de las muestras de agua analizadas fueron de 17.33-26.33 mg/L CaCO_3 . Los resultados obtenidos para los parámetros de calidad del agua en la muestra tomada en la parte media de los ríos tuvieron valores dentro de lo establecido por la norma en comparación con la muestra tomada en la orilla, esto es especialmente pronunciado en términos de conductividad. Debido a los altos niveles de alcalinidad, las muestras de agua son aptas para riego. Sin embargo, el agua de la microcuenca no cumple con la normatividad para consumo humano, aunque se requieren más análisis para determinar con mayor precisión lo anterior.

Palabras clave: parámetros físicos, parámetros químicos, agricultura

⁴⁷⁸ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *Autor por correspondencia: gustavolr@colpos.mx

CUBIERTA VEGETAL Y ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PUYACATENGO DEL AÑO 2000 AL 2020

Victorino Gómez Valenzuela^{479*}, Carlos Eduardo Marín González⁴⁷⁹, Salvador Martínez Romero⁴⁷⁹, Tania Crisbel De la Cruz Moreno⁴⁷⁹, Vicia Cipriano Bautista⁴⁷⁹, Lizbeth Guadalupe Sánchez Graniel⁴⁷⁹ y Jesús Antonio Vásquez Ozuna⁴⁷⁹

Resumen

La microcuenca del río Puyacatengo, se encuentra en la confluencia de los estados de Chiapas y Tabasco, México, ésta se caracteriza por su importancia ecológica y por ser una zona de descarga de humedad, la cual abastece de agua a comunidades río abajo. Las actividades agropecuarias realizadas en esta microcuenca, así como, la extracción de recursos naturales, juegan un papel importante en la economía de dichas comunidades. El presente estudio constituye un análisis retrospectivo de este espacio, con énfasis en la cobertura vegetal y las actividades productivas que han tenido lugar en la zona a través del tiempo. Se analizaron los cambios en la cobertura vegetal y su relación con las actividades productivas en la microcuenca desde el año 2000 al 2020. Para lo cual, se utilizó una combinación de datos históricos, imágenes de satélite, registros documentales y entrevistas. La selva alta perennifolia mejoró su presencia al pasar de 650 a casi 800 ha en el lapso de veinte años del estudio, incremento ligeramente superior a 128 ha en total. La actividad ganadera pasa de 9 000 a casi 10500 ha durante las dos décadas analizadas, incrementándose de casi 1450 ha en total, con promedio anual de 289.5 ha. Esta actividad es la más beneficiada durante el período analizado. La vegetación secundaria arbustiva también experimenta incrementos, en veinte años logra incrementar su extensión de 584 a 996 ha, un aumento de 412 ha en total. Por el contrario, la agricultura de temporal decreció en 242.86 ha, pasando de poco más de 1000 a 777 ha. Un fenómeno similar ocurre con la vegetación secundaria arbórea, casi desaparece durante los veinte años analizados, reduciéndose de 1900 a menos de 150 ha, una disminución drástica. El estudio proporciona una visión integral de la evolución de la cobertura vegetal y las actividades productivas en la microcuenca del río Puyacatengo en veinte años, lo que permite comprender los impactos ambientales. Estos resultados sirven de base para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas de manejo y conservación sostenible de recursos naturales en la región.

Palabras clave: impactos, actividades productivas, vegetación, Teapa, Tabasco

⁴⁷⁹ Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo. *Autor de correspondencia: E-mail: vgomezv@chapingo.mx.

DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN CULTIVO DE TILAPIA EN VERACRUZ

Dalia Guadalupe Mendoza López^{480*}, María del Refugio Castañeda Chávez⁴⁸⁰
y Fabiola Lango Reynoso⁴⁸⁰

Resumen

El aumento de la población mundial y el mal manejo de desechos, producto de las actividades humanas han provocado que los plásticos se hayan convertido en contaminantes presentes en todos los ambientes incluido el acuático. La degradación de los plásticos a través de procesos fisicoquímicos ha derivado en un problema de creciente preocupación: la presencia de microplásticos (partículas < 5 mm) a nivel global, incluyendo cultivos acuícolas para consumo humano y de importancia económica. Los microplásticos pueden ingresar a las granjas acuícolas mediante las fuentes de abastecimiento de agua, pero también puede deberse al desgaste de los instrumentos y equipos de uso diario, incluso en el alimento balanceado suministrado a los organismos. Existen estudios que demuestran la presencia de microplásticos en agua, sedimentos y organismos acuáticos en regiones costeras del Golfo de México. En Veracruz el cultivo de tilapia destaca por su importancia económica. Hay antecedentes acerca del impacto negativo que la exposición a microplásticos puede tener en la salud de la tilapia. Sin embargo, no se tiene registro de estudios de microplásticos en granjas acuícolas productoras de tilapia del país, por lo que es importante realizar investigaciones que sirvan como punto de partida para identificar el estado actual de las granjas productoras del estado.

El objetivo de este estudio fue determinar la presencia, variedad y cantidad de microplásticos en el agua de cultivo de tilapia del centro de Veracruz. La selección de granjas ($n = 10$) y calendarización de muestreo se realizó en acuerdo con el comité estatal. En cada granja se colectó agua de 3 puntos (3 L en cada sitio): fuente de abastecimiento, estanques y desagüe; las cuales fueron transportadas al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos del Tecnológico Nacional de México Campus Boca del Río para su análisis de acuerdo con la metodología de la NOAA con modificaciones. Los resultados de los análisis mostraron presencia de microplásticos, en el 60% del agua de abastecimiento y en la de estanques, mientras que en agua de desagües se encontraron en el 90% de las granjas, siendo las fibras azules, negras y transparentes las más abundantes.

Palabras clave: agua, contaminación, acuacultura

⁴⁸⁰ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *Autor de correspondencia: dalia.ml@bdelrio.tecnm.mx

EVALUACIÓN DEL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD EN PAPAYA EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

Román Morales Pablo⁴⁸¹, Genaro Aguilar Gutiérrez⁴⁸², Alejandra Soto Estrada⁴⁸¹,
Itzel Galaviz Villa⁴⁸³, Eliseo García Pérez⁴⁸¹ y Alejandra Ramírez Martínez^{481*}

Resumen

El color puede medirse a través de tres parámetros: L^* (luminosidad) a^* (tonalidad de verde a rojo) y b^* (tonalidad de amarillo a azul). Las pérdidas y desperdicios de alimentos (PDA) se definen como la disminución en cantidad y/o calidad de éstos en etapas iniciales y finales de la cadena agroalimentaria, respectivamente. La papaya es un alimento susceptible de convertirse en PDA en estado fresco en cortos periodos de tiempo. El color es una de las principales características que se consideran para evaluar su madurez o para desecharla. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el color de la papaya en frutos de los municipios de Cotaxtla y Manlio F. Altamirano, Veracruz, considerados por el productor como de primera, segunda y tercera calidad. La evaluación del color se realizó mediante el análisis de los parámetros L^* , a^* y b^* en imágenes obtenidas de frutos durante siete días consecutivos. La información obtenida se procesó con el software Image J. En el 66% de las muestras se presentó una disminución gradual de los valores de L^* a excepción de frutos de tercera calidad, lo que se relacionó con la aparición de hongos. En el caso de los valores de a^* , los de la mediana mostraron un incremento gradual en frutos de primera ($a^*=15.22$) y segunda calidad ($a^*=14.11$), mientras que, en frutos de tercera calidad se presentó una disminución a partir del día cinco. En general, se presentó un aumento de b^* en los primeros tres días (a excepción de frutos de tercera calidad) y, posteriormente, un descenso. Esto se asoció con la aparición de color amarillo (madurez de consumo). El grado de madurez de la papaya, así como la aparición de plagas, se pueden determinar mediante análisis de imágenes y ser una herramienta importante para reducir las PDA.

Palabras clave: calidad de consumo, bioeconomía, mermas

⁴⁸¹ Colegio de Postgraduados, campus Veracruz. *Autor de correspondencia: ramirez.alejandra@colpos.mx

⁴⁸² Escuela Superior de Economía. Instituto Politécnico Nacional, Cd. México.

⁴⁸³ Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río, Veracruz.



Agroecosistemas

EFFECTO DEL VALOR AGREGADO EN EL MARGEN DE INTERMEDIACIÓN DE LOS ALIMENTOS

Víctor Hugo Beltrán García⁴⁸⁴, Diego Esteban Platas Rosado^{484*}, Roselia Servín Juárez⁴⁸⁵
y María del Carmen Álvarez Ávila⁴⁸⁴

Resumen

El Margen de intermediación (MI) es la diferencia en el precio pagado por el consumidor final y el precio pagado al productor primario, menos los costos de operación como: producción, acopio, transformación, almacenamiento, transportación, distribución y comercialización. Es importante lo que dicen estos márgenes sobre las relaciones entre los actores de la Cadena Agroalimentaria (CaA), y lo que el Valor Agregado aporta a los Pequeños Productores Locales (PPL), para identificar oportunidades de desarrollo económico. El objetivo de la investigación fue evaluar el aporte del valor agregado a la utilidad de los PPL. La investigación fue de carácter cualitativo y cuantitativo, empírico, de corte transversal. El área de estudio fue la zona conurbada Veracruz-Boca del Río y municipios de la región del Sotavento en el Estado de Veracruz. Se evaluó la disposición de los consumidores a pagar por alimentos producidos con técnicas agroecológicas; y se compararon los Precios Pagados en Huertas (PPH) al productor, con el Precio Offline (P-Off) y el Precio Online (P-On), en puntos de venta al detal, de 33 productos de la región que se comercializan en el área de estudio. Los datos fueron recabados mediante la aplicación de una encuesta semiestructurada a consumidores y la consulta de puntos de venta mayorista y minoristas de destino, bases de datos, informantes clave y productores locales. Entre los resultados, el 76% de los consumidores están dispuestos a pagar más por alimentos producidos con técnicas agroecológicas. Se observan diferencias significativas entre el PPH, y el P-Off y P-On. Los alimentos frescos ofrecen menor retención de utilidades para el PPL, en promedio entre 27 y 32%. Se concluye que los productores que le dan valor agregado al producto, retienen hasta el 75% de cada peso al que venden su producto al comparar los grupos con el precio de venta final. Los consumidores ven a la agroecología como valor agregado diferenciador y, están dispuestos a pagar hasta un 20% más, sobre el valor del mismo producto en el mercado. Esto tiene amplias implicaciones en el análisis y desarrollo de estrategias de comercialización, centradas en el consumo local.

Palabras clave: desarrollo rural, consumo local, comercio justo

⁴⁸⁴ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz-Veracruz. *Autor de correspondencia: dplatas@colpos.mx

⁴⁸⁵ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba-Veracruz.

Introducción

Schwentesius y Gómez (2004) explicaron que el MI, es la ganancia que obtienen los intermediarios en la CaA por su participación en el proceso de mercadeo, al brindar servicios como: producción, acopio, transformación, almacenamiento, trasportación, distribución y comercialización de mercancías. Las limitaciones económicas y materiales que los productores viven, y factores como la cantidad, constancia y homogeneidad de su producción, hacen necesaria la adición de estos eslabones. En términos éticos, el margen de intermediación que un actor obtiene dentro de la CaA, debería provenir directamente de una actividad realizada, que añade valor real al producto. Sin embargo, no todos los intermediarios cumplen esta función; algunos, aprovechando su posición estratégica dentro de la CaA, obtienen mayores utilidades a costa de actores como los PPL. Aprovechan la información que obtienen de los mercados, y que el productor desconoce (asimetría de información), para manipular la CaA y mejorar sus ingresos. Gaudin y Padilla (2020) identifican tres factores determinantes en la apropiación del valor generado por un producto, que integran valor en el proceso: 1) las capacidades productivas y tecnológicas de los productores; 2) la capacidad de producción tanto de intermediarios como de productores y 3) la estructura de mercado y el tipo de gobernanza que caracterizan la cadena. Este margen puede variar dependiendo de factores como: competencia, costos operativos, oferta y demanda, eficiencia logística, entre otros. Las prácticas productivas y el procesamiento y/o transformación de la producción, son dos actividades que el PPL puede realizar para agregar valor a su producción y mejorar su participación en el mercado. Diversificar, además, los métodos para la agregación de valor le permiten conservar un mayor MI.

El valor agregado de un producto en la cadena agroalimentaria, Rojas (2013) lo define como aquel producto que ha sido tratado, procesado o transformado con el fin de adecuarlo a los requerimientos de los consumidores. Estos procesos de transformación pueden ser: a) Físicos: sometidos a un procesamiento que aumentan su tiempo de vida de anaquel, facilitar su almacenamiento, conservación, transporte, empaque y consumo; b) Diferenciadores: incorporan técnicas de producción que garantizan inocuidad, denominación de origen, protección ambiental y responsabilidad social, entre otros; c) Mecanismos de innovación:

aprovechan mejor los recursos, subproductos, generaran bioenergías y aprovechan la biodiversidad nativa.

Al respecto, Salvador (2016) enfatiza en la importancia de diferenciar entre precio y valor, términos que pueden, ser confundidos con facilidad. Por un lado, el precio se define como el valor monetario en que se estima algo, mismo que procede de los costos de producción, transformación, almacenamiento, transporte y comercialización; y, por otro lado, el valor de un producto se relaciona con la capacidad de dicho producto, de ofrecer bienestar al consumidor y satisfacer sus necesidades. Además, menciona que los conceptos relacionados al valor agregado son dinámicos, dado que evolucionan paralelos a las necesidades del mercado. De acuerdo con Riveros (2014), la agregación de valor al producto agroalimentario de origen, incrementa los ingresos familiares de los productores primarios y mejorar las condiciones de la agricultura familiar, su participación en el mercado y, además, permite el desarrollo y fortalecimiento de asociaciones de productores y agronegocios. Un área de oportunidad para alcanzar el desarrollo rural y la centralización del consumo de alimentos.

El valor agregado obtenido a través del procesamiento físico de los alimentos, en Mexico, esta categorizado por la Clasificación NOVA, que según el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP, 2020), jerarquiza los alimentos por los procesos físicos, químicos y biológicos a los que han sido sometidos antes de su consumo. Dicha clasificación los divide en:

NOVA 1: alimentos sin procesar o mínimamente procesados. Alimentos frescos como frutas, hortalizas, carnes, pescado, huevo, leche, semillas, hongos, entre otros. Y mínimamente procesados como: cortado, tostado, secado, molido, pasteurizados, refrigerado, congelado, empaquetado. Estos alimentos se encuentran libres de ingredientes como: grasas, edulcorantes, aditivos o azúcares.

NOVA 2: Alimentos Culinarios procesados. Son ingredientes usados en la preparación de alimentos frescos y que, a su vez, proceden de ellos como: aceites, mantequillas, hierbas aromáticas, especias, azúcares y sales.

NOVA 3: Alimentos procesados. Alimentos derivados de la combinación de los dos primeros grupos como panes, pastas, quesos, ciertos tipos de carnes y pescados, ahumados, salados, conservas de frutas y verduras, entre otros. Este proceso, puede, además, potenciar las propiedades de los alimentos.

NOVA 4: Alimentos ultraprocesados. Alimentos elaborados directamente con aditivos como: sueros, proteínas, gluten, extractos, técnicas emulsionantes, colorantes, texturizantes, entre otros. Que simulan ser alimentos reales, con poco o nada de alimento natural.

Por su parte, la “agroecología” es un valor agregado, que pueden obtener los alimentos como un diferenciador. Según la define la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (s.f.), es una conjunción de prácticas y disciplinas científicas y sociales que estudian la interacción del agroecosistema, los sistemas agrícolas sostenibles y, la optimización y estabilización de la producción agroalimentaria que, promueve la justicia social, la identidad cultural y la viabilidad económica del sector rural, colocando a la agricultura familiar como el eje de la producción de alimentos. Busca la optimización de la producción alimentaria con un enfoque de justicia social, identidad cultural y viabilidad económica, para alcanzar sistemas agroalimentarios justos y sostenibles. Según el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT, 2022), consiste en aprovechar la interacción natural de algunas especies para obtener cultivos saludables e inocuos, sin la necesidad de agentes químicos externos; es decir que, eliminan el uso de agroquímicos sintéticos y pesticidas por abonos orgánicos y biofertilizantes; protege los suelos y diversifica los alimentos ofreciendo más opciones de ingreso para las familias. Nicholls *et al.* (2017) mencionan que la diversificación ecológica, rompe la naturaleza de los monocultivos, y activa procesos como el reciclaje de nutrientes, acumulación de biomasa, conservación del agua y los suelos y, el balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales; manteniendo así la salud de los agroecosistemas, su productividad y sostenibilidad.

Comprender y cuantificar el rol del valor agregado en el MI, es algo que debe hacerse en el contexto de cada región y CaA, dado que los actores que las integran tienen características particulares. Entender estas interacciones, nos aproxima a la realidad del PPL, y es importante para la estructuración de estrategias de desarrollo rural, consumo local, la toma de decisiones e iniciativas de gobernanza que buscan la soberanía alimentaria y la producción y consumo sostenibles. Es por ello que el objetivo de la investigación fue evaluar el aporte del valor agregado a la utilidad de los PPL.

Materiales y métodos

La investigación se realizó, principalmente, en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, ubicada en la región costera central del Estado de Veracruz. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), el municipio de Veracruz cuenta con una población estimada de 751 mil 759 habitantes y una extensión territorial de 286.5 km². Se trata de la décimo novena urbanización más poblada del país y la mayor del estado, con el 7.2% de la población estatal. Por su parte, el municipio de Boca del Río, cuenta con una población estimada de 144,550 habitantes, y una superficie de 37.2 km². El área de estudio, se extendió, además, a algunos municipios aledaños, que pertenece a la región del Sotavento veracruzano.

Diseño de investigación

La investigación realizada es de carácter cualitativo y cuantitativo, empírico y de corte transversal. Se dividió en dos etapas:

Etapas1. Valor agregado por prácticas agroecológicas. Realizada entre 20 de mayo y 10 de julio del 2023. Se aplicó una encuesta semiestructurada a 102 consumidores participantes a través de Google Forms. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos y se evaluaron variables como: disposición de pago y percepción sobre prácticas agroecológicas.

Etapas 2. Margen de intermediación y valor agregado por transformación o procesamiento. Realizada entre el 15 de agosto y el 30 de septiembre de 2023. Se realizó un sondeo de precios de 33 productos frescos y procesados producidos y comercializados en la región. El sondeo se realizó en 32 puntos de venta mayorista y minorista de destino dentro del área de estudio. Se evaluaron variables como: precio pagado al productor, precio al consumidor Offline (P.Off) y precio al consumidor Online (P-On). Se aplicaron análisis estadísticos descriptivos para determinar la distribución de los precios y calcular el MI.

Muestra

Etapas1. La muestra se recolectó a través de medios digitales y se alcanzó por bola de nieve. Se consideraron a todos los consumidores que desearon participar en la encuesta, de forma voluntaria; en el periodo seleccionado para su aplicación a través de redes sociales y mensajería instantánea. Se estipularon dos condicionantes para los participantes: a) ser mayor

de edad y b) habitar en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (área de estudio). La muestra colectada fue un grupo de 102 consumidores participantes.

Etapas 2. La muestra fue seleccionada de forma intencionada, por conveniencia y se evaluaron tres tipos de negocios de venta de alimentos al detalle: supermercados, mercados y verdulerías en los que se recopilaban los P-Off y P-On.

Los supermercados analizados fueron: Chedraui, Aurrera, Soriana y Walmart. Se visitaron seis sucursales de cada uno de ellos, dispersar por el área de estudio, a excepción de Walmart que solo cuenta con dos sucursales en la ciudad, en los sectores Sur y Norte.

Los mercados visitados fueron: el mercado Malibrán, mercado Hidalgo, mercado Unidad Veracruzana, mercado Zaragoza, mercado Polvorín y mercado de la Boticaria. El sector Poniente no cuenta con un mercado propio.

Las verdulerías visitadas fueron, algunas cadenas de verdulerías como las Guadalajara y otras verdulerías locales con una ubicación próxima a algunos de los supermercados o mercados visitados.

El PPH se recopiló con información de agentes claves, campesinos de localidades aledañas como: Paso de Ovejas, Soledad de Doblado, Medellín, Piedras Negras y Jamapa; bases de datos de fuentes oficiales de consulta del sector agropecuario como el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y la Unión Ganadera Regional de la Zona Centro del estado de Veracruz (UGRZC). En la Figura 1 se muestra el mapa del área de estudio. Puede observarse la división en sectores, realizada para facilitar la segmentación de los consumidores participantes y los puntos de venta al detal seleccionados para el estudio.

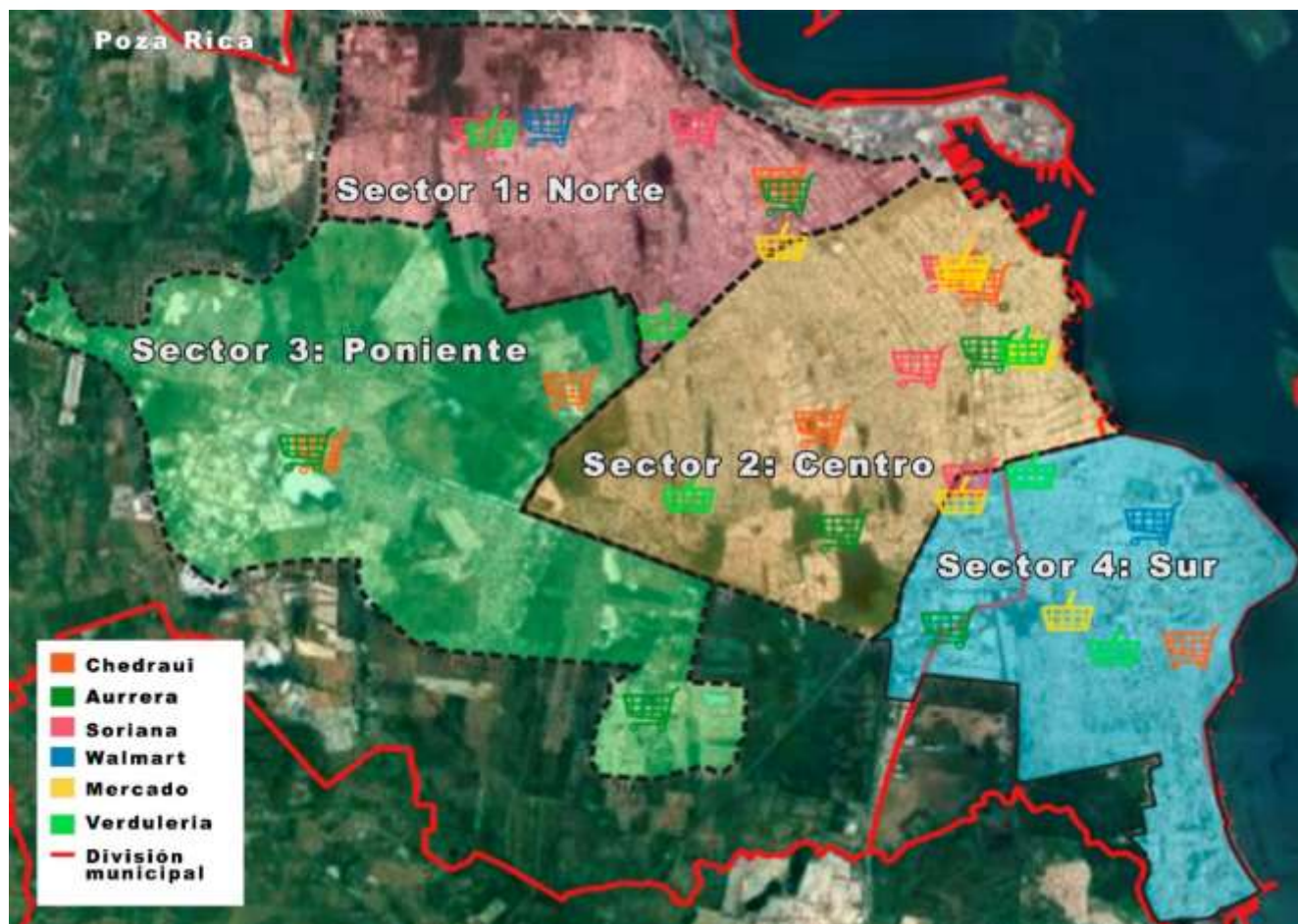


Figura 1. Sectorización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en Qgis ®.

Herramienta

Etapas1. Se elaboró una encuesta semiestructurada con opciones de respuesta abierta, dicotómica, de escala de Likert y de opción múltiple. Previo a su aplicación se realizó una prueba piloto con 62 consumidores. La encuesta, analizó entre, otros aspectos, las percepciones sobre las prácticas agroecológicas y la disposición de pago por las mismas, percibidas como valor agregado:

1. La importancia que el consumidor le da al uso de prácticas agroecológicas.
2. Su disposición a pagar por alimentos producidos con estas prácticas.
3. El porcentaje que está dispuesto a pagar por estos productos, sobre productos que no han sido producidos con estas técnicas.

Etapas 2. Se realizó un sondeo de precios recolectando información sobre 33 productos, entre los que se incluyeron: frutas, verduras, semillas, cárnicos y procesados, producidos y comercializados en la región de estudio. Los productos seleccionados para esta recopilación de precios se muestran en el Cuadro 1; los cuales fueron seleccionados de la base de datos proporcionada por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) sobre los productos de origen local comercializados en el Mercado Malibrán y de forma empírica en el caso de los alimentos procesados.

Cuadro 1. Grupos de alimentos comparados en la investigación.

Frutas	Hortalizas	Cárnicos	Procesados
Naranja de jugo	Tomate saladette	Pulpa de Cerdo	Longaniza
Mango Ataúlfo	Cebolla blanca	Pollo entero	Carne enchilada
Piña miel	Chayote s/espinas	Pulpa de res	Carne molida
Papaya maradol	Chile habanero	Tilapia	Chicharrón de hoja
Plátano roatán	Frijol negro	Camarón chico	Leche entera
Limón s/semilla	Pepino verde	Huevo 30 pz	Crema
Sandía rayada	Calabacita italiana		Queso Oaxaca
Toronja	Elote pz		Café Tostado
Coco	Arroz		Miel

Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico

Etapas 1. Los datos obtenidos en las encuestas fueron vaciados en el software Excel y posteriormente analizados en el software R-Studio. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos a las respuestas de los consumidores, para determinar el perfil del consumidor participante, su disposición de compra con PPL y su percepción sobre las prácticas agroecológicas.

Etapas 2. Los precios recopilados fueron capturados y analizados en Excel y R-Studio. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos de los precios; análisis correlacional por sector, diferencias entre P-Off y P-On, MI, dispersión de precios y calculó el porcentaje de retención

del productor por su producto comercializado en el área de estudio comparando los alimentos analizados por grupos.

Resultados y discusión

Etapas. Valor agregado por prácticas agroecológicas

En la encuesta, al evaluar la disposición de pago por alimentos producidos con prácticas agroecológicas, con la pregunta: ¿Estaría usted dispuesto(a) a pagar más por alimentos orgánicos/agroecológicos producidos localmente? El 44.6% expresó “Si” tener disposición a pagar más por adquirir alimentos producidos con técnicas agroecológicas, mientras el 24%, no estuvo interesado (Figura 2); es probable que la condicionante para esta decisión tenga relación con los gustos y preferencias.

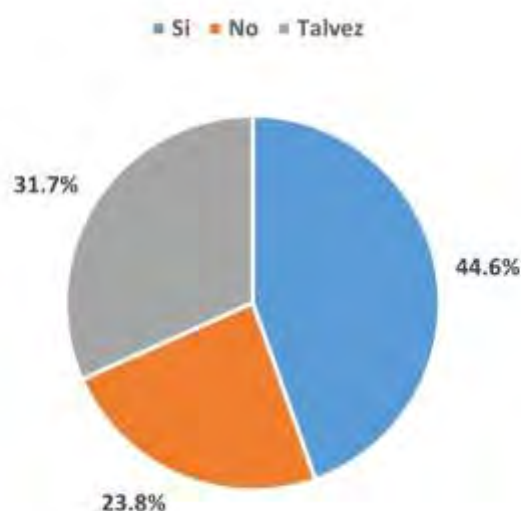


Figura 2. Disposición a pagar de los consumidores por alimentos agroecológicos.

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

En este mismo tenor, se realizó una exploración de cuanto más estarían dispuestos a pagar los consumidores por alimentos agroecológicos, para ello se planteó la siguiente pregunta:

¿Cuánto más estaría usted dispuesto (a) a pagar por la compra de alimentos orgánicos/agroecológicos?, con opción de respuesta abierta.

En promedio, los consumidores estuvieron dispuestos a pagar un 20% más del precio en el mercado, por alimentos que han sido producidos de manera agroecológica (Figura 3).

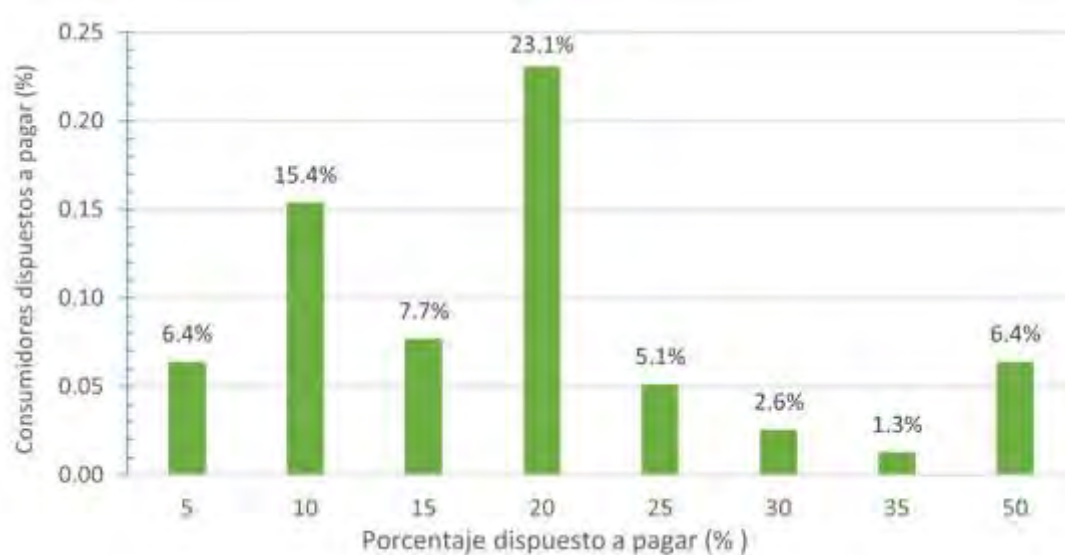


Figura 3. Disposición de pago del consumidor por alimentos de producción agroecológica. Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

Etapas 2. Margen de intermediación y valor agregado por transformación o procesamiento. Para analizar los MI y obtener un valor de referencia aproximado para el valor agregado, comparando los grupos de alimentos frescos con los procesados, primero se compararon los valores promedio por cada canal. Las medias se obtuvieron por la sumatoria del precio de todos los grupos de alimentos analizados (frutas, hortalizas, cárnicos y procesados), para cada uno de los canales (PPH, P-Off y P-On).

Al comparar la distribución de precios de los tres canales, por cada grupo de alimentos, se observan claras diferencias en la distribución sus medias. Como es de esperarse, dado que el productor se encuentra al principio de la CaA y el consumidor al final de la misma, el valor promedio de los alimentos en los puntos de venta al detalle (P-Off y P-On) y el PPH promedio, difieren entre sí. Sin embargo, en este sentido, existen diferencias claras entre los grupos (Figura 4). Puede notarse, por ejemplo, que la diferencia entre el PPH en el grupo de frutas es

mucho mayor que la diferencia entre el PPH del grupo de alimentos procesados, al compararlos con sus promedios correspondientes a sus canales de P-Off y P-On. Se hace evidente, al observar las distribuciones en las gráficas Boxplot, que existen diferencias entre los MI, en función del grupo de alimentos. Esto podría tener relación con aspectos de oferta y demanda, temporal y valor agregado.

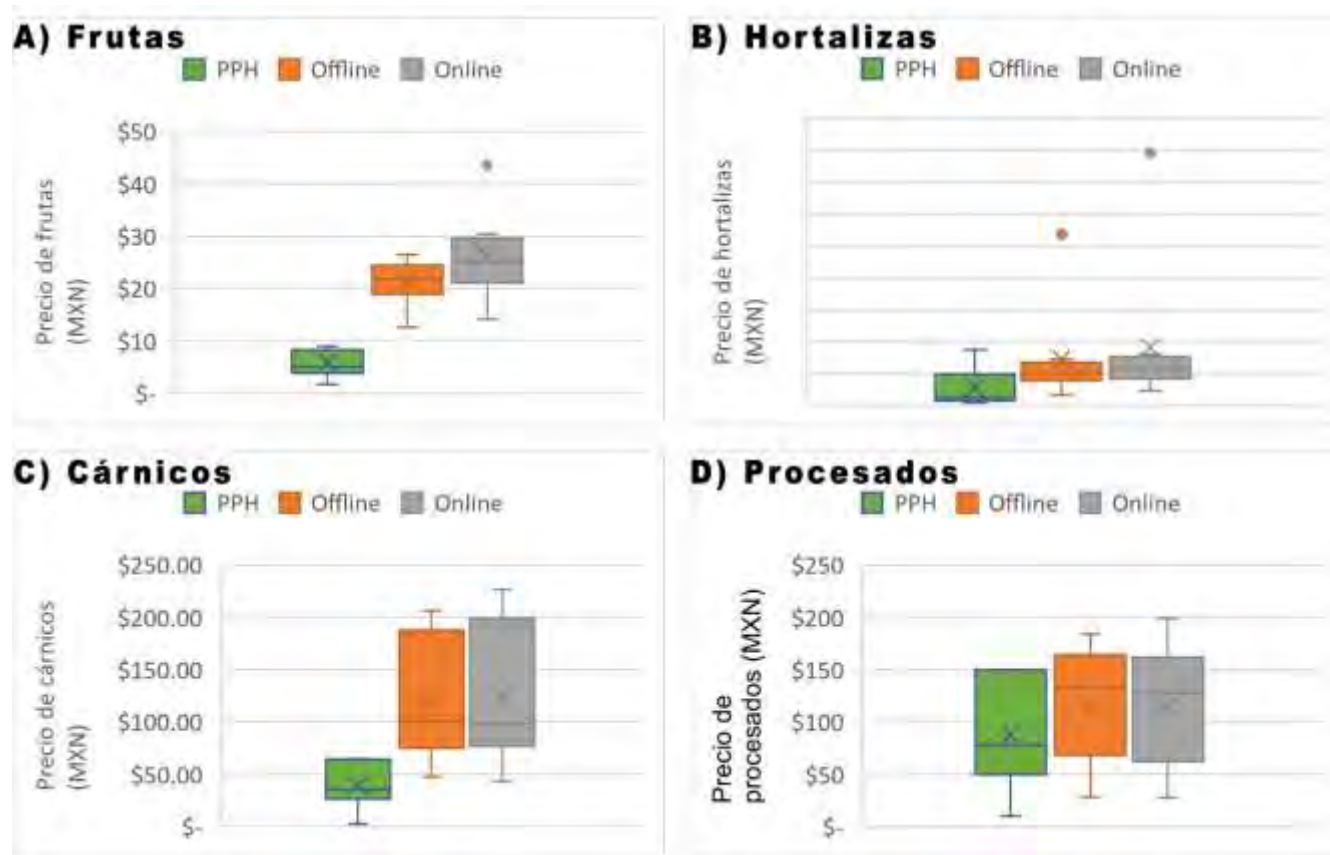


Figura 4. Distribución de medias de los precios en los canales PPH-Offline-Online.
 Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

Finalmente, con base en los datos de precios de los productos analizados, se calculó la cantidad que retiene el productor en origen (PPH), por cada peso al que se comercializa su producto en el área de estudio (Cuadro 2). Los resultados resaltan que los alimentos procesados, es decir, aquellos que han adquirido un valor agregado físico, le permiten al productor conservar, en promedio, hasta el 75% del valor final de dicho producto. Se hace evidente también, que los productos frescos con poco o nulo valor agregado, no ofrecen una

retención de valor significativa al productor, pues su rango de utilidad oscila entre el 27% y el 32% con respecto a su costo final.

Cuadro 2. Promedio de retención del productor por cada peso al que se comercializa su producto.

Producto	Precio, zona conurbada (\$/kg)	Precio al productor (\$/kg)	% de retención en origen
Frutas	\$197.90	\$52.60	27
Hortalizas	\$225.19	\$67.00	30
Semillas	\$49.93	\$19.20	38
Cárnicos	\$730.99	\$235.50	32
Procesados	\$1,060.76	\$793.00	75

Fuente:Elaboración propia con datos de la investigación.

Los resultados obtenidos tienen consonancia con diversos estudios realizados en la CaA. Un ejemplo es el análisis realizado por Gaudin y Padilla (2020) mediante estudios de caso, en la apropiación y generación de valor en CaA en países como Guatemala y El Salvador. En el caso de Guatemala, analizaron la CaA de hortalizas de exportación. Determinaron que los intermediarios cuentan con capacidades avanzadas, para gestionar los procesos de intermediación y adecuar la producción a los requerimientos del mercado; capacidades con las que no cuentan los productores primarios. En este panorama, el productor obtiene una ganancia del 50% sobre lo invertido en su producción, absorbiendo el riesgo implícito, mientras que los intermediarios pueden alcanzar una ganancia de hasta el 200%, aunque, esto puede justificarse por los costos de procesamientos, empaque y cadena de frío. Otro caso analizado ocurrió en El Salvador, con la CaA de tomate y chile verde dulce. El estudio de caso determinó que existen dos tipos de productores: el productor a cielo abierto y el productor que tiene la capacidad de gestionar la producción bajo condiciones protegidas. La diferencia en la ganancia de uno a otro es significativa; mientras la producción a cielo abierto ofrece bajas utilidades, solo un 1% al productor y un 66% al intermediario; en la producción en condiciones protegidas la ganancia para el productor es del 67% y para el intermediario de un 150%. Ambos estudios de casos relacionan la importancia del valor agregado, para la generación de utilidades y la

necesidad de planes estratégicos y modelos de organización, inversión y comercialización (gobernanza) que brinden opciones para el desarrollo de los PPL a través del financiamiento, la tecnificación y el acceso a información del mercado; una necesidad que también se hace evidente dentro de las CaA en México.

En el caso de México y de acuerdo con SAGARPA (2019), ya se está generando un marco de políticas para la gestión de la CaA, que buscan atender las necesidades del mercado interno y externo, y aprovechar las oportunidades de capitalización a través del aprovechamiento sustentable de los recursos, mediante la diversificación y agregación de valor a la producción primaria. Esto significa apoyar la estructuración de colectivos de productores y empresas familiares, y la celebración de convenios entre la industria y los productores primarios. Como se ha mencionado antes, el consumidor no solo ve valor agregado en la transformación de un producto, sino también, y cada vez más, en aspectos relacionados con los métodos de producción y el aprovechamiento sustentable de los recursos, lo que se refleja de forma directa en los MI obtenidos. Aprovechando esta tendencia, las estrategias deberían considerar, además de modelos de desarrollo enfocados en el PPL, el desarrollo de la capacidad de agencia y la revalorización del consumidor hacia el producto local y su valor agregado.

Conclusiones

Los consumidores están interesados en adquirir alimentos producidos con técnicas agroeconómicas, y están dispuestos a pagar, en promedio, un 20% más por estos productos. Esto significa que los consumidores son conscientes de la importancia de la implementación de estas estrategias y los perciben, además, como un valor agregado.

Por otro lado, los resultados de los márgenes de intermediación y la retención de la utilidad en el origen, por cada peso del valor final de los productos frescos y procesados; apuntan de forma clara a la importancia de agregar valor físico a los productos. Los alimentos procesados, fueron los que aportaron mayor ingreso a los PPL, pues les permitieron conservar, en promedio, el 75% del pago final de los productos.

Estos resultados apuntan a la necesidad de facilitar las herramientas necesarias para que los PPL puedan gestionar el procesamiento de su producción, agregando valor al mismo. Y, al

mismo tiempo, hacen evidente que la población es cada vez más consiente de la necesidad de reducir nuestro impacto en el medio ambiente y, además, lo percibe como un valor agregado, por el que está dispuesto a pagar. El desarrollo de estrategias de comercialización debe considerar la agregación de estos valores.

Literatura citada

CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías). 2022. Manejo ecológico integral de arvenses en México. Gaceta Informativa 15: 1-14.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f. Agroecología y Agricultura Familiar. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20es%20una%20disciplina,optimizan%20y%20estabilizan%20la%20producci%C3%B3n>.

Gaudin, Y., & Padilla, R. (eds.) 2020. Los intermediarios en cadenas de valor agropecuarias: un análisis de la apropiación y generación de valor agregado.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave. Censo de población y vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825198039>

INSP (Instituto Nacional de Salud Pública). 2020. Clasificación NOVA para alimentos. Actualización: 26 de agosto de 2020. <https://www.insp.mx/infografias/clasificacion-nova-alimentos-2019.html>

Nicholls, C. I., Altieri, M. A., & Vázquez, L. L. 2017. Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. Agroecología, 10(1): 61–72. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741>

Riveros S. H., Heinrichs, W., y Productivo, D. 2014. Valor agregado en los productos de origen agropecuario: aspectos conceptuales y operativos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/3069>

Rojas, J. 2013. Productos de valor agregado. Consultado 25.

Salvador, G. M. 2016. Agregado de valor: compartiendo conceptos. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/900>

Schwentesius R., R., & Gómez C., M. Á. 2004. Márgenes y costos de comercialización: Aspectos conceptuales. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/181>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación). 2019. Enfoque internacional sobre el desarrollo de cadenas agroalimentarias. <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-enfoque-internacional-sobre-el-desarrollo-de-cadenas-agroalimentarias.pdf>

IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DURANTE LA TRANSICIÓN DE LA FINCA GANADERA “LA PALMA” A DIVERSIFICADA

Yuseika Olivera Castro^{486*}, Néstor Francisco Núñez García⁴⁸⁷, Wendy Mercedes Ramírez Suárez⁴⁸⁶,
Manuel Hernández Hernández⁴⁸⁸, Abel Hernández Herranz⁴⁸⁶, Odalys Caridad Toral Pérez⁴⁸⁶
y Jairo Urguellés Rodríguez⁴⁸⁶

Resumen

El objetivo de este trabajo consistió en implementar algunas buenas prácticas agroecológicas para lograr, en tres años, la transición de la finca ganadera “La Palma” a una finca diversificada. La finca “La Palma” del propietario Pablo Brichel Sánchez Cárdenas, pertenece a la CCS “Ramón Rodríguez Milián” del municipio Perico, provincia de Matanzas, Cuba. El predio tiene un total 26.84 ha. La evaluación de la transformación se realizó del 2017 al 2019. Se introdujeron varias prácticas agroecológicas, entre las que estuvieron la implementación de cercas vivas, el establecimiento de sistemas silvopastoriles, que variaron de 2.5 ha (2017) a 14.19 ha (2019); ello propició la disminución de las áreas de pastos naturales; otra de las prácticas fue la utilización de productos biológicos como el compost, estiércol vacuno, humus de lombriz, el microorganismo IH-Plus BF®, biochar y la gallinaza. Además, se incorporaron dos áreas para potenciar la producción agrícola (autoconsumo y semiprotegido). Después de tres años, se concluye que la implementación de las prácticas agroecológicas en la finca, favoreció su transformación de ganadera a una diversificada. Todo ello contribuyó a lograr el manejo sostenible de los recursos, y a estimular el uso de las riquezas disponibles en el predio y otros insumos orgánicos que ayudan a minimizar el impacto ambiental y a reducir los costos energéticos de la producción.

Palabras clave: prácticas agroecológicas, transformación de la finca, diversificación

Introducción

Los desafíos actuales exigen un nuevo y más complejo enfoque respecto al pasado, cuando los esfuerzos se centraron en el incremento productivo. Frente a esta realidad, la agroecología

⁴⁸⁶ Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba. *Autor por correspondencia: yuseika@ihatuey.cu; yuseika2007@gmail.com

⁴⁸⁷ FUM “Dora Alonso”, Perico.

⁴⁸⁸ Universidad Autónoma de Chiapas-Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Catazajá, Chiapas, México.

parece abrir un camino para optimizar las interacciones entre los seres humanos y el medioambiente (Sabourin *et al.*, 2017).

En Cuba, han sido muchos los programas, estrategias y proyecciones que han sido muestra concreta de la política agraria (Vázquez *et al.*, 2017). Pero existe incertidumbre sobre los modelos productivos (convencional o agroecológico) que están implantando los usufructuarios en sus fincas. Es necesario interiorizar en la adopción de las prácticas agroecológicas y se debe considerar que todos los territorios agrícolas no son iguales desde el punto de vista biofísico y socioeconómico.

La agroecología aparece como alternativa a las consecuencias negativas que ocasionaba la agricultura moderna a nivel social, económico, cultural y sobre todo ambiental; se presenta como uno de los nuevos paradigmas para promover un desarrollo local sostenible. Las iniciativas agroecológicas pretenden transformar los sistemas de producción a partir de la transición de los sistemas alimentarios, basados en el uso de combustibles fósiles y dirigidos a la producción de cultivos de agroexportación y biocombustibles, hacia un paradigma alternativo que promueve la agricultura local y la producción nacional de alimentos por campesinos y familias rurales (Altieri y Toledo, 2011).

Este trabajo se realizó con el objetivo de implementar buenas prácticas para transformar la finca ganadera “La Palma” en una finca diversificada.

Materiales y métodos

Selección del lugar de estudio

Para la selección de la finca, se emplearon diferentes elementos de los enfoques participativos de investigación, métodos de investigación funcional e interactiva, la técnica de observación directa y talleres, entre otros realizados a campesinos y directivos de diferentes instancias de la ANAP y el MINAG, en el municipio Perico.

Se seleccionó la finca “La Palma” considerando que en el año 2015 se le otorgó, por la resolución 259 del MINAGRI, 13.42 ha de tierra al campesino Pablo Brichel Sánchez Cárdenas, quien es el propietario en usufructo. Anteriormente, esas tierras estaban destinadas al cultivo de la caña de azúcar y pertenecían a la CPA “XXI de Abril”; además, a finales del año

2016 se le otorgan otras, por la resolución 300, 13.42 ha, por lo que esta entidad productiva tiene, actualmente, 26.84 ha. Asimismo, el usufructuario demostró disposición para lograr una transformación de la finca e integrarse a proyectos de innovación, desarrollados por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey.

A partir de marzo del 2014, este productor se incorporó al proyecto: Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL), en función de perfeccionar la capacitación para lograr una transformación de la finca; y en mayo del 2015 se integró al proyecto Bases Ambientales para la Soberanía Alimentaria (BASAL), ya que fue una de las fincas seleccionadas por la Delegación Municipal de la Agricultura, como finca escuela del proyecto

Ubicación de la finca

La finca “La Palma”, es aledaña al poblado de El Roque, en el centro-este del municipio Perico, ubicado en el centro de la provincia de Matanzas, Cuba. Esta entidad productiva pertenece a la CCS Ramón Rodríguez Milián.

Generalidades

La metodología experimental empleada se basó en un estudio de caso con un enfoque de sistema como herramienta, para comprender las necesidades para la transformación de la finca ganadera a diversificada. Esa metodología permite el estudio de las particularidades del sistema evaluado (la finca) en función de su estructura, componentes y funcionamiento. Se realizó una caracterización del agroecosistema, se analizó la disponibilidad de las tierras y el agua, la fuerza laboral, las condiciones de la vivienda y las principales limitaciones del lugar para definir las buenas prácticas por implementar para así lograr la transformación de la finca. El monitoreo e implementación de las buenas prácticas se realizó durante tres años consecutivos (enero del 2017 hasta diciembre del 2019), para evaluar temporal y espacialmente dicha transformación.

Resultados y discusión

Una de las prácticas agroecológicas que se implementó desde el primer año de estudio fue el uso de las cercas vivas para la delimitación de las áreas, tanto perimetral como interna; las cuales se intercalaron con postes de marabú (*Dichrotachys cinerea* L. Wight & Arn.).

En este sentido, se plantea que los sistemas productivos con cercas vivas son una estrategia de manejo del paisaje rural, que no solo contribuye a la recuperación de la diversidad biológica sino también, al aumento de la productividad y los rendimientos económicos de los sistemas productivos. Además, son una alternativa económica al establecimiento de postes de madera y se han considerado una opción para promover la conservación en paisajes agrícolas (Morantes-Tolosa y Renjifo, 2018). Desde el punto de vista ecológico, las cercas vivas funcionan como zonas de refugio, nichos ecológicos y sitios de paso para ciertos organismos como insectos, aves y mamíferos pequeños.

Al respecto, las plantas usadas fueron la *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (matarratón o árbol florido) y *Spondia lutea* L. (ciruelón), especies que se emplean para este fin y cumplen varias funciones en el diseño agroecológico, ya que además de establecer los límites físicos de la finca y de los cuartones son nichos para la reproducción de una vida silvestre funcional; en cuanto a la regulación de plagas, actúan como reservorio de sus enemigos naturales.

Para garantizar el alimento animal, se realizaron transformaciones en las áreas. Al respecto, la producción de forraje obtuvo, principalmente, mediante dos especies: la caña de azúcar y el king grass (Cuadro 1). En los pastos naturales o naturalizados hubo predominio del complejo *Dichanthium-Bothriochloa* y las áreas de sistemas silvopastoriles (SSP) estuvieron formadas por la presencia de dos especies arbóreas: leucaena [*Leucaena leucephala* (Lam.) De Wit] y el matarratón o árbol florido (*G. sepium*), así como *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs (hierba de guinea) como pasto base; en este caso, el cultivar Likoni, variedad comercial y muy adaptada a las condiciones edafoclimáticas tropicales.

Cuadro 1. Área de alimento animal.

Nombre científico	Nombre común	Cantidad (ha)		
		2017	2018	2019
Forraje				
<i>Saccharum officinarum</i> L	Caña de azúcar	0.5	1.3	1.0
<i>Cenchrus purpureus</i> (Shumach) Monrone	King Grass	1.0	1.0	1.0
Pastos naturales				
<i>Dichanthium caricosum</i> (L.) A. Camus	Jiribilla	19.9	4.2	4.2
<i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf.	Pitilla,			
<i>Dichanthium aristatum</i> (Poir.) C.E.Hubb.	Angleton,			
<i>Bothriocloa pertusa</i> L.	Camagüeyana			
Sistema Silvopastoriles				
<i>Leucaena leucephala</i> (Lam.) De Wit	Leucaena			
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp	Árbol florido	2.5	15.39	14.19
<i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simón & Jacobs	Guinea Likoni			

Es importante resaltar que el productor, en el transcurso de los años, fue mejorando y aumentando las superficies de alimento animal, ello se evidencia en el incremento del área de forraje para la caña, la cual se utiliza principalmente en la época poco lluviosa como suplemento, por la disminución de la disponibilidad de alimento en los cuarterones.

Otra de las prácticas recomendables con el fin de aumentar la disponibilidad de alimento es el incremento de las especies dentro de la finca, así como su diversificación, mediante la introducción del sistema silvopastoril; lo anterior garantiza un balance alimentario adecuado para los animales en las dos épocas del año. Este sistema combina de forma simultánea árboles o arbustos con plantas herbáceas o volubles (Apan-Salcedo *et al.*, 2021) y desempeña un papel crucial en la reducción de los impactos negativos de la agricultura en la conservación de la biodiversidad, ya que retiene una parte sustancial de las especies presentes en la vegetación original.

Se debe señalar que en junio de 2019 hubo afectaciones meteorológicas por intensas lluvias que provocaron inundaciones en 1.2 ha de SSP, ya intervenidas; esas áreas, asimismo, tenían un alto grado de compactación y a causa de ello, el pasto base se deterioró.

Esta situación nunca había sucedido, por lo que el productor no tenía conocimiento de ello; por lo que, se trazó como estrategia hacer un levantamiento de las áreas susceptibles a inundaciones y las mismas están siendo, nuevamente cultivadas con pastos mejorados, resistentes al encharcamiento; entre los recomendados están *Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen, *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga, *Urochloa dictyoneura* (Fig. & De Not.) Veldkamp y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst.

También, en el ámbito ganadero, los arbustos forrajeros, entre ellos *L. leucocephala* y *G. sepium* mejoran la calidad y la disponibilidad del pasto base, producen gran cantidad de follaje y presentan contenidos de proteína bruta (PB) y de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) dos o tres veces superiores al de los pastos tropicales, lo cual avaló la funcionalidad de estas especies y su papel en el agroecosistema, razones por las que el productor consideró importante incorporarlas en las áreas de SSP.

Otra de las prácticas reactivadas en la finca, a partir del año de reconversión, fue la producción y utilización de abonos orgánicos (compost, estiércol vacuno, gallinaza y humus) y otros productos orgánicos como los microorganismos eficientes y el biochar. El uso de los mismos se ha convertido en la base para el desarrollo de la agricultura orgánica.

Estos productos orgánicos tienen efecto sobre las propiedades físicas del suelo, ya que forman agregados que dan estabilidad estructural, facilitan la penetración del agua y su retención, disminuyen la erosión y favorecen el intercambio gaseoso, entre otros. En las propiedades químicas del suelo, aumentan la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y facilitan su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorecen los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal que sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Graetz, 1997).

En el Cuadro 2 se muestra como fue el incremento de la utilización de productos orgánicos en la finca, de inicio fue de 3 t y en el 2019 se logró producir o adquirir 8 t. Entre las materias orgánicas usadas el compost, estiércol vacuno y el humus de lombriz se producen en la propia finca.

Cuadro 2. Uso de bioabonos en la finca.

Materiales orgánicos	Toneladas*		
	2017	2018	2019
Compost	1.0	1.2	1.8
Estiércol vacuno	1.3	1.5	3.0
Humus sólido de lombriz	0.3	0.3	0.5
IH-Plus BF® (L)	0.0	500	1 500
Biochar	0.0	0.0	0.2
Gallinaza	0.4	0.5	1.0
Total	3	4	8

*Excepto el IH-Plus BF® que es líquido y se contabilizó en litros (L).

El microorganismo eficiente (IH-Plus®) y el biochar, el productor los adquirió de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey y la gallinaza la obtiene de las granjas avícolas cercanas a la finca (El Roque y X Aniversario, en el batey San Juan) del municipio Perico.

Con la inclusión de estos productos orgánicos, se demuestra que es posible reducir y eliminar el empleo de los fertilizantes químicos y aumentar la capacidad de utilización de fertilizantes orgánicos.

Además, la utilización de bioproductos (Huerta-Muñoz et al., 2019) en conjunto con otras buenas prácticas de manejo, como la siembra de árboles, leguminosas y arbustos se usan con gran efectividad para mantener e incluso incrementar la disponibilidad de materia orgánica; mejorar la fertilidad del suelo y elevar la calidad del alimento animal, todo ello en beneficio del campesino y del lugar donde está ubicada la finca.

Dentro de las modalidades de producción de alimentos para la subsistencia, está el autoconsumo que a su vez se puede conformar por los huertos y las granjas familiares, que son sistemas de producción que contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y la economía de los pequeños agricultores.

En el Cuadro 3 se muestra el comportamiento del área de autoconsumo; como se puede observar las mismas fueron en aumento a través de los años.

Cuadro 3. Cultivos implementados en el área de autoconsumo.

Especies	Área (ha)		
	2017	2018	2019
Yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	0.2	0.5	0.7
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	0.5	0.7	1.0
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.0	1.3	1.3
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	0.4	0.5	0.5
Total	2.1	3.0	3.5

Es importante destacar que antes de la intervención para la reconversión de la finca, las producciones agrícolas eran prácticamente nulas, pues solo se tenían áreas dedicadas al pastoreo de animales. Sin embargo, a partir del primer año, se comenzaron a obtener producciones de varios cultivos que se fueron sembrando en el área de autoconsumo. Entre los principales están el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el maíz (*Zea mays* L.), la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Es preciso señalar que los cultivos de frijol y tomate, a partir del año 2018, no tuvieron variación de área, pero sí aumentaron los rendimientos en comparación con el año 2019. Ello debido a la utilización de algunas prácticas tales como, el uso de abonos orgánicos (desde la preparación del suelo), el de biorproductos (IH-Plus BF® y biochar) y de barreras vivas, entre otras.

Además de esta área para los cultivos, el productor también creó un área para la siembra de hortalizas en cultivo semiprotegido, como otra de las prácticas implementadas para la transformación de la finca.

El cultivo protegido se reconoce hoy día como una tecnología agrícola de avanzada, que puede influir eficazmente en la producción de hortalizas frescas durante todo el año. Su importancia ha ido creciendo en la medida en que el productor ha determinado la tecnología y ha obtenido resultados satisfactorios (MINAG, 2010).

En el Cuadro 4 se aprecia como a partir del año 2019 se pone en producción un área de 0.5 ha bajo el concepto de cultivo semiprotegido, y a pesar de que fue en un área pequeña, se sembró una diversidad de especies que contribuyó al autoabastecimiento del productor. La

infraestructura fue entregada por el proyecto PIAL y la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”.

Cuadro 4. Cultivos sembrados en el área destinada a la modalidad de semiprotegido en el año 2019.

Especies	Área (ha)
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	0.06
Calabaza (<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne)	0.04
Pimiento (<i>Capsicum anum</i> L.)	0.10
Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	0.04
Perejil [<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss]	0.07
Ajo (<i>Allium sativus</i> L.)	0.03
Habichuela [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.]	0.06
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.)	0.04
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	0.06
Total	0.50

Estas acciones (producciones en el área de autoconsumo y semiprotegido) han propiciado estabilidad y sostenibilidad económica al productor, mediante una producción diversificada que contribuye a incrementar la soberanía alimentaria. Es pertinente mencionar que los conocimientos adquiridos por el productor durante la capacitación, en cuanto a los beneficios del área de autoconsumo y el área de cultivo semiprotegido, lo motivó a implementar estas modalidades, a partir del primer año de reconversión de la finca, además de que, con el transcurso del tiempo, incrementó su área y diversidad de cultivos.

Conclusiones

La implementación de las prácticas agroecológicas, como las cercas vivas, los sistemas silvopastoriles, la utilización de los productos orgánicos y el desarrollo de áreas de cultivos

varios como el autoconsumo y el semiprotegido son algunas de las prácticas implementadas que favorecen la transformación de una finca ganadera a una diversificada. Todo ello, contribuye a lograr el manejo sostenible de los recursos, y estimulan el uso de las riquezas disponibles en el predio y otros insumos orgánicos que ayudan a minimizar el impacto ambiental y a reducir los costos energéticos de la producción.

Literatura citada

- Altieri, M. A. and V. Toledo M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *J. Peasant Stud.* 38 (3):587-612.
- Apan-Salcedo, G. W., G. Jiménez-Ferrer, J. Nahed-Toral, E. Pérez-Luna y Á. Piñeiro-Vázquez, T. 2021. Masificación de sistemas silvopastoriles: Un largo y sinuoso camino. *Trop. Subtrop. Agroecosyst*, 24, 103. ISSN: 1870-0462.
- Graetz, H. A. 1997. Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
- Huerta-Muñoz, E., J. Cruz Hernández y L. Aguirre Álvarez. 2019. La apreciación de abonos orgánicos para la gestión local comunitaria de estiércoles en los traspatios. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29 (53):2-24.
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2010. Lineamientos para el desarrollo del Sistema Productivos de cultivos Protegidos. La Habana, Cuba: Liliana. IIH "Liliana Dimitrova". 32 p.
- Morantes-Tolosa, J. L. y L. Renjifo M. 2018. Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical* 66 (2): 739-753.

Sabourin, E., V. Bianchini y P. Petersen. 2017. As políticas públicas a favor da agroecologia na América Latina e Caribe: conclusões e perspectivas do estudo. Seminario Políticas Públicas para Agroecologia na América Latina e Caribe, Brasil.

Vázquez, L.L., J. Marzin y N. González. 2017. Políticas públicas y transición hacia la agricultura sostenible sobre bases agroecológicas en Cuba. pp 139-157. *In*: Políticas públicas a favor de la agroecología en América Latina y El Caribe. Porto Alegre Brasil.

INCREMENTO PRODUCTIVO DE LA FINCA “LA PALMA” DURANTE LA TRANSICIÓN DE FINCA GANADERA A DIVERSIFICADA

Odalys Caridad Toral Pérez^{489*}, Yuseika Olivera Castro⁴⁸⁹, Néstor Francisco Núñez García⁴⁹⁰, Wendy Mercedes Ramírez Suárez⁴⁸⁹, Manuel Hernández Hernández⁴⁹¹, Abel Hernández Herranz⁴⁸⁹ y Jairo Urguellés Rodríguez⁴⁸⁹

Resumen

El objetivo de este trabajo fue corroborar el incremento de la productividad agrícola y pecuaria durante el proceso de transición, en los tres años de estudio, de finca ganadera a diversificada. La investigación se realizó en el predio “La Palma”, que pertenece a la Cooperativa de Crédito y Servicios (CCS) “Ramón Rodríguez Milián” del municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba. Durante tres años (2017-2019), se determinó la productividad; se evaluó la producción de leche (L/vaca), producción de carne vacuna (t/año), producción de carne de cerdo (t/año) y la producción de los diferentes productos agrícolas (t/año). Estas variables de producción están relacionadas con la biodiversidad y las prácticas agroecológicas introducidas durante esta etapa de reconversión de la finca. Las vacas en ordeño produjeron un promedio de 3 y 5 L/vaca para el 2017 y 2019, respectivamente; la producción de carne de cerdo aumentó de 0.64 t (2017) a 1.02 t (2019). La producción agrícola también aumentó durante la etapa de reconversión de la finca. Los resultados demostraron que los sistemas diversificados e integrados poseen un potencial para lograr niveles aceptables de productividad con el uso de los recursos propios de la finca, lo que contribuyó a la soberanía alimentaria y a un incremento productivo de la misma.

Palabras clave: rendimiento agrícola, producción de leche y carne

Introducción

La agricultura familiar es una forma de organizar la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la pesca, administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende primariamente del trabajo familiar. La familia y la granja están vinculadas, coevolucionan y combinan diferentes funciones como las económicas, ambientales, sociales y culturales (Burgo, 2021).

⁴⁸⁹ Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.

*Autor de correspondencia: otoral@ihatuey.cu; odalys41@gmail.com

⁴⁹⁰ FUM “Dora Alonso”, Perico.

⁴⁹¹ Universidad Autónoma de Chiapas-Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Catazajá, Chiapas, México.

Como alternativa para el desarrollo de un modelo agropecuario que permita la integración de todos los elementos constituyentes de los sistemas de producción manejado por el productor y su familia; un modelo que sea menos dependiente de factores externos, más endógeno, autogestionado, apoyado en la productividad y rendimiento de aquellos recursos que realmente existen en la finca (Torres y Forero, 2023).

En el logro de agroecosistemas soberanos en la alimentación, el uso de la tecnología y la energía lleva implícito los principios de la agroecología, y tiene como objetivo final el desarrollo de fincas familiares campesinas resilientes, con capacidad para hacer frente a cambios de cualquier índole: climatológicos, de mercado o políticos (García *et al.*, 2022), y absorber creativamente la transformación sin perder su identidad como tal.

Cuba realiza esfuerzos notables para contrarrestar los problemas generados por la agricultura convencional. Se trabaja en el rediseño de esos sistemas hacia otros de carácter agroecológico, con la diversificación productiva y la integración de sus componentes, en los que predomine la producción agropecuaria ambientalmente sana, sostenible desde el punto de vista ecológico, viable en lo económico y socialmente justa. La finca representa también el sitio ideal para lograr producciones estables, con un enfoque agroecológico y principios de sostenibilidad (Morgado *et al.*, 2019).

La inclusión de prácticas agroecológicas en la finca “La Palma” (Olivera *et al.*, 2023) es importante; una de sus metas es diversificar las fincas monotemáticas a fincas diversificadas y con ello potenciar la productividad de la misma.

En la ganadería, estos enfoques se centran en optimizar la producción animal, reducir la huella ambiental y mejorar el bienestar de los animales y en la agricultura, para beneficiar la salud del suelo, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el incremento en la captura de carbono y la diversificación de los ingresos.

El objetivo de este trabajo fue corroborar el incremento de la productividad durante el proceso de transición de finca ganadera “La Palma” a diversificada.

Materiales y métodos

Ubicación de la finca

La investigación se realizó en la finca “La Palma”, perteneciente a la cooperativa de crédito y servicios (CCS) Ramón Rodríguez Milián, del municipio de Perico, provincia Matanzas, Cuba. Tiene una superficie de 26.84 ha.

Selección de la finca en estudio

La finca se seleccionó para el estudio por encontrarse en el tránsito hacia un sistema sostenible, constituye una muestra de confianza de algunos proyectos nacionales e internacionales como el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL) y el de Bases Ambientales para la Soberanía Alimentaria (BASAL), en Matanzas. Además, fue uno de los escenarios seleccionados por la Delegación Municipal de la Agricultura, como finca escuela y de referencia en la región. Se tomó en consideración su historia, tiempo de explotación y carácter innovador del productor y su liderazgo.

Variables estudiadas

Durante los tres años del estudio (2017-2019) se evaluó la producción de leche (L/vaca), producción de carne vacuna (t/año), producción de carne de cerdo (t/año) y producción agrícola diversa (t/año). Estas variables están relacionada con la biodiversidad presente en la finca (Olivera *et al.*, 2022) y las prácticas agroecológicas introducidas (utilización de cercas vivas, rotación e intercalamiento de cultivos, incremento de árboles frutales y maderables, implementación de los SSP, siembra de áreas forrajeras, empleo de abonos orgánicos y bioproductos, establecimiento de áreas de producción de alimento animal, entre otros) en el proceso de transformación de la finca (Olivera *et al.*, 2023).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestra la cantidad de animales por categorías presentes en la finca, así como la producción obtenida en los años de estudio. Como se observa, se presentó un

aumento progresivo de 68 a 115 en el total de animales vacunos; ello tuvo repercusión en el aumento de la producción total de leche (32 915; 44 024 y 46 678 L, para los años 2017, 2018 y 2019, respectivamente) y a su vez en el promedio de litros por vacas, que aumentó en un promedio de 2 litros por vaca en el último año de estudio; ello también se benefició por la mejora que se realizó de las áreas de pastoreo, al introducir la tecnología del silvopastoreo, según lo planteado por Olivera *et al.* (2023).

Cuadro 1. Animales por categoría bovina y rendimiento productivo por año.

Categoría	Cantidad de animales (Producción)		
	2017	2018	2019
Vacas	28	31	43
Vacas en ordeño	17 (3 L)	23 (5,5 L)	28 (5 L)
Terneras	2	5	9
Terneros	2	8	7
Novillas	5	11	24
Añojos	2	4	1
Toros de ceba	9	9(3.24 t)	--
Toro Celador	1	1	1
Buey	2	2	2
Total	68	94	115

L: Litros de Leche por vacas, t: Toneladas de carne producida.

Hubo un aumento en el número total de vacas; sin embargo, el número de vacas en ordeño disminuyó, en el 2018 había un 74.0% de vacas en ordeño y en el 2019 el 65.0%, debido, principalmente, a que no todas las vacas cayeron en celo y no se cubrieron; esto como resultado de un mal manejo en la reproducción que derivó en muchas vacas vacías, entre otros aspectos de manejo. No obstante, para las condiciones en que se realizó este estudio el porcentaje de vacas en ordeño es aceptable, según las consideraciones del Dr. C. Iglesias-Gómez en comunicación personal.

La ceba y venta de toros al cárnico se comportó de forma moderada al entregar en el 2018, 3.24 t de carne vacuna. El productor obtiene esos animales, de su propio movimiento de rebaño, por lo que no tiene que realizar ninguna inversión económica para adquirirlos.

Según el listado de precio oficial (MINAG, 2020), para la entrega de carne vacuna al matadero, se reporta que para los productores privados el animal de primera oscila entre 350-400 kg de peso y para las entidades productoras con suplementos es a partir de 400 kg, por lo que este productor al vender sus animales, los catalogaron como aminaes de primera, ya que tuvieron un promedio de 360 kg de peso.

Como estrategia, el productor, de sus propios animales, obtuvo los dos bueyes, los mismos se utilizan como medio de transporte para trasladar los forrajes y en la preparación de tierra en la finca. Es importante destacar que el productor posee un toro recelador, que realiza esa función y además se emplea en la monta directa a las vacas en celo y presta ese servicio a las vacas en celo, de otros productores de la zona.

En la finca han introducido, otras especies de animales domésticos como el cerdo. Durante los años en estudio aumentaron progresivamente el número de individuos de esta especie y por ende de la cantidad de carne producida (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad y producción (t) de cerdos en la finca.

Especies	Cantidad de animales (Producción, toneladas)		
	2017	2018	2019
Cerdos	8 (0.64)	10 (0.85 t)	12 (1.02 t)

La producción de carne porcina se realizó por medio de convenios de ceba terminal. En el Cuadro 2 se observa un incremento anual en la cantidad de cerdos y producción de carne. Esto se debe a que el productor incrementó la base alimentaria para esta especie, principalmente con plantas proteicas (moringa) y subproductos de cosechas (yogurt de yuca, maíz molido, frutos no comercializables de tomate, aguacate, calabaza, mango, entre otros). En la finca además de las áreas dedicadas a la alimentación animal, a frutales y forestales, también se incrementaron las áreas de producción de alimento de cultivos agrícolas.

La producción agrícola enfrenta cambios que alteran directamente los rendimientos, por lo que la adaptación de los sistemas agroalimentarios es una de las principales razones por las que

se desea desarrollar más a fondo y así mantener la producción de alimentos. Esto permite tratar con mejores herramientas la situación ante el cambio climático, causa de preocupación entre los científicos, ya que las variables climáticas son esenciales para el crecimiento de los cultivos, principalmente la precipitación y la temperatura, que provocan afectaciones e impactarán la producción agrícola (Altieri y Nicholls, 2009).

En Cuba, entre las modalidades de producción de alimento para la subsistencia, se encuentran los huertos y granjas familiares para el autoconsumo. Son sistemas de producción de alimentos que contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y la economía de los pequeños agricultores. Según su dimensión y nivel de productividad, pueden llegar a proporcionar una variedad de alimentos de origen vegetal y animal durante varios meses o todo el año. Los productos del huerto y la granja permiten a la familia consumir su propia producción, permitiéndoles ahorrar los recursos que se destinarían a adquirirlos en el mercado. Adicionalmente pueden generar ingresos por la venta de los productos excedentes. Por lo anterior, el mejoramiento o la promoción de huertos y granjas en las familias de áreas rurales, tiene gran importancia para el mejoramiento de los niveles de seguridad alimentaria y nutricional de las mismas (Cruz, 2020).

El huerto y la granja familiar constituyen un sistema de producción de alimentos complementarios, llamados así porque complementan aquéllos básicos (arroz, maíz y yuca, entre otros). Generalmente está bajo el manejo y control de los componentes del grupo familiar. Los alimentos producidos pueden estar destinados exclusivamente al consumo familiar, o una parte al consumo y una parte a la venta, o estar dirigidos principalmente a la venta (Hernández *et al.*, 2019).

El Cuadro 3 muestra el incremento en área y, por ende, en el rendimiento de los cultivos en el área de autoconsumo de la finca en estudio. Es importante destacar que antes de la intervención de esta reconversión de la finca, las producciones agrícolas eran prácticamente nulas, pues solo se contaban con áreas dedicadas al pastoreo de animales. Sin embargo, a partir del primer año (2017), ya se comenzaron a obtener producciones de varios cultivos que se fueron sembrando en esta área de autoconsumo. Entre los principales cultivos están el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el maíz (*Zea mays* L.), la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Cuadro 3. Área de autoconsumo y rendimiento de los cultivos.

Especies	Área (ha) y rendimiento (t/ha)		
	2017	2018	2019
Yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	0.2 (2.0)	0.5 (3.1)	0.7 (4.6)
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	0.5 (2.2)	0.7 (3.0)	1.0 (3.6)
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.0 (0.7)	1.3 (1.1)	1.3 (1.5)
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	0.4 (8.0)	0.5 (12.0)	0.5 (17.4)
Total	2.1 (12.9)	3.0 (19.2)	3.5 (27.1)

Con este nivel de producción se suple el autoabastecimiento familiar y se cumple el plan de entrega a la base productiva. También se benefician otras personas de la familia y vecinos cercanos. A partir de los dividendos, se obtienen recursos para suplir otras necesidades básicas. Además, los residuos de las producciones son aprovechados por los animales y para la elaboración de compost, práctica que se incorporó en la finca a partir de la disponibilidad de recursos.

Es importante destacar que los cultivos de frijol y tomate a partir del año 2018, no tuvieron variación de área, pero si aumentaron los rendimientos en comparación con el año 2019. Lo anterior debido a la utilización de algunas prácticas tales como, la utilización de abonos orgánicos (desde la preparación de suelo), uso de bioproductos (IH-Plus® BF, biochar), utilización de barreras vivas, entre otras.

Al hacer una comparación con la media de los rendimientos reportados a nivel de país (MINAG, 2020), para el frijol (0.93 t/ha) y el tomate (10 t/ha); se pudo apreciar que los resultados estuvieron por encima de lo reportado, con rendimientos de 1.1 y 12.0 t/ha, para frijol y tomate, respectivamente.

Además de esta área para los cultivos, el productor creó un área para la siembra de hortalizas en una casa de tapado o semi protegido; es una de las alternativas para atenuar este impacto y seguir produciendo alimentos y en Cuba ha ganado auge en los últimos años (Elías, *et al.*, 2020).

Esta modalidad se reconoce hoy día como una tecnología agrícola de avanzada, que puede influir eficazmente en la producción de hortalizas frescas durante todo el año. La importancia

del mismo ha ido creciendo en la medida en que el productor ha desarrollado la tecnología (MINAG, 2010).

En el Cuadro 4 se aprecia como a partir del año 2019 se pone en producción un área de 0.5 ha bajo el concepto de cultivo semiprotegido. La infraestructura fue entregada, al productor, mediante su vinculación al proyecto PIAL y la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”.

Cuadro 4. Área del cultivo semiprotegido y rendimiento (t/ha) de los cultivos.

Especies	2019	
	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	0.06	8.4
Calabaza (<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne)	0.04	26.3
Pimiento (<i>Capsicum anum</i> L.)	0.10	16.0
Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	0.04	4.6
Perejil [<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss]	0.07	0.006
Ajo (<i>Allium sativus</i> L.)	0.03	0.23
Habichuela [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.]	0.06	13.2
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.)	0.04	4.3
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	0.06	24.0
Total	0.50	97.09

En cuanto a la producción es importante resaltar los rendimientos obtenidos en pepino, calabaza y pimiento (24.0; 26.3 y 16.0 t/ha. respectivamente) ya que están por encima del estimado de la media nacional (13.0; 9.0 y 11.0 t/ha. respectivamente). según lo reportado por el MINAG (2020). La producción se favoreció con la implementación de prácticas agroecológicas utilizando abonos orgánicos y bioproductos (Olivera *et al.*, 2023).

La producción está destinada. además. del abastecimiento familiar para entregar a la escuela y el mercado estatal del poblado donde está ubicada la finca.

Estas tecnologías de producción agrícola (producciones en el área de autoconsumo y semi protegido) han propiciado estabilidad y sostenibilidad económica al productor. mediante la

diversificación que contribuye a aumentar la soberanía alimentaria. En términos productivos, se logran incrementos en todos los rubros y positivos costos por pesos.

Es pertinente destacar que estos resultados fueron posibles con la participación del productor en varios talleres de capacitación, relacionados con los beneficios que se obtienen al implementar estas tecnologías por los campesinos en sus predios y según lo reportado por Oramas y Hernández (2019) la capacitación es una de las principales vías para poder incentivar a los productores a adoptar una tecnología.

Evidentemente, con los resultados expuestos y con la integración del productor a los proyectos de desarrollo local, se evidenció un cambio importante de la finca en cuanto a la biodiversidad y productividad de la misma.

Conclusiones

Los sistemas diversificados e integrados poseen un potencial para lograr niveles aceptables de productividad con el uso de los recursos propios de la finca, contribuyendo a la soberanía alimentaria y a un incremento productivo de la misma.

Literatura citada

- Altieri, M.A. y C. Nicholls I. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología. 14: 5-8.
- Burgo, B. O. B. 2021. El conocimiento tradicional y la etnobotánica en la gestión de la agricultura familiar. Revista Universidad y Sociedad. 13(4): 431-438.
- Cruz, A. B. 2020. Acceso a los alimentos en Cuba: prioridad, dificultades y reservas para mejorar. Economía y Desarrollo. 164 (2). ISSN: 0252-8584.

- Elías, V. Y., P. Rodríguez F. Y. E. Fung B., E. Isaac A., A. Ferrer D. y G. Asanza K. 2020. Producción de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en casa de cultivo semiprotegido Bajo riego con agua magnetizada. Ciencia en su Ciencia en su PC 1: 75-86.
- García, V. I., D. García B. y S. López LI. 2022. Empoderamiento de la mujer rural en la agricultura familiar de la cooperativa René Rodríguez (Yaguajay). Revista Márgenes. 10(2): 110-129.
<https://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/workflow/index/1483/5>.
- Hernández, B. Y., N. León O. A., G. Valdés P. R., M. Ledesma P. L. y P. Mirabales R. D. 2019. Agricultura familiar y seguridad alimentaria en una finca del municipio de Sancti Spíritus. Pastos y Forrajes. 42(2): 181-188.
- Torres, L. y G. Forero A. 2023. Análisis productivo. económico y ambiental de un sistema integrado de producción de tipo VAC. Estudio de caso: Finca El Cielo del Municipio de Arauca (Colombia). Inventum. 18 (34): 13-26. DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.18.34.2023.13-26.
- MINAG. Ministerio de la Agricultura. 2010. Lineamientos para el desarrollo del Sistema Productivos de cultivos Protegidos. La Habana. Cuba: Liliana. IIH "Liliana Dimitrova". 32 p.
- MINAG. Ministerio de la Agricultura. 2020. Síntesis del informe de balance del sistema de la agricultura del año 2019. <https://www.minag.gob.cu/sites/default/files/noticias>.
- Morgado, M. M., G. Pérez G. A. y F. Expósito C. 2019. Diseño y manejo de la biodiversidad en dos fincas de la provincia de Ciego de Ávila. Universidad y Ciencia. 8:380-394.
<http://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1370/2069>.

Olivera, C. Y., N. Núñez G. W. Ramírez S. and M. Hernández H. 2023. Implementation of agroecological practices for the transformation of “La Palma” cattle farm into a diversified farm. Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical. 3(2). DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2022.03.08>

Olivera, C. Y., N. Núñez G. y W. Ramírez S. 2022. Determinación de la biodiversidad y evolución de la complejidad en la finca “La Palma” del municipio de Perico. Pastos y Forrajes. 46:e03.

Oramas, M. J. y M. Hernández C. 2019. Las políticas y programas agrícolas y la agricultura familiar. Desafíos de la seguridad alimentaria en cuba. Revista OIDLES. N°. 26. En línea: <https://www.eumed.net/rev/oidles/26>.

ORIGEN, EVOLUCIÓN, CORRIENTES DE PENSAMIENTO E IMPLICACIONES METODOLÓGICAS DEL CONCEPTO DE AGROECOSISTEMAS: UNA REVISIÓN

Ángel Capetillo Burela^{492*}, Felipe Gallardo López⁴⁹³, Catalino Jorge López Collado⁴⁹³,
Rigoberto Zetina Lezama⁴⁹², Eusebio Ortega Jiménez⁴⁹³, Gustavo López Romero⁴⁹³,
David Jesús Palma López⁴⁹⁴ y Marco Antonio Reynolds Chávez⁴⁹²

Resumen

El concepto de agroecosistemas, es un término que está en constante evolución debido que en la actualidad ya es utilizado y aplicado por diversas disciplinas del conocimiento que están enfocadas al estudio de agua-suelo-ambiente-sociedad, entre otras. Por lo tanto, el objetivo de este documento fue analizar las diferentes corrientes de pensamiento del concepto de agroecosistemas, para describir el origen y evolución del concepto a través de distintas investigaciones identificadas. Se realizó la búsqueda de información que consistió en un análisis del estado del arte del concepto de Agroecosistemas a través de la plataforma Web of Science, descargando un total de 225 artículos considerando el TITLE "Agroecosystem" AND + KEYWORDS "Agroecosystem". El análisis de la información consistió en realizar un análisis de métricas que contempló el año, país de publicación, objetivos del desarrollo sostenible (ODS), idioma, la tarea de DOE, resumen y conclusiones. Finalmente se realizó un análisis bibliométrico de los artículos resultantes utilizando el software VOSviewer, así como gráficos que representaron conexiones bibliográficas entre los documentos obtenidos de la base de Web of Science. Se encontraron artículos de 1991 al 2024, de los cuales más del 90% de estos son del año 2018 a la fecha. En lo que respecta a los países en los cuales más se han publicado este tipo de artículos, se encontró que el 82% de los artículos encontrados se publicaron en países como USA, China, Canadá, Francia, Alemania e Italia; mientras que el 18% restante están distribuidos entre 44 países del mundo. El idioma en el cual están publicados estos artículos corresponde el 96% para el idioma inglés, 3.1% en español y 1% en idioma ruso respectivamente. Se concluye que el concepto de Agroecosistemas está implícito de los aspectos sociales, culturales, políticos y económicos, ya que todos esos términos están directamente relacionados con la agricultura, ganadería, pesca y otras a actividades básicas para la alimentación de la humanidad que se desarrollan a través de los agroecosistemas que maneja el hombre para fines comerciales o de autoconsumo en la satisfacción básica de alimentos, bienes, servicios e insumos que demanda la sociedad en general.

Palabras clave: sociedad, cultivos, ambiente, ecología, salud del suelo

⁴⁹² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. C. E. Cotaxtla. *Autor de correspondencia: capetillo.angel@inifap.gob.mx

⁴⁹³ Colegio de Postgraduados Campus, Veracruz. felipegl@colpos.mx

⁴⁹⁴ Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. dapalma@colpos.mx

Introducción

El término de ecología, fue acuñado por el biólogo alemán Ernest Haeckel en 1870, refiriéndose a éste como el estudio de la economía de la naturaleza; y que en la actualidad muchos científicos la definen como la ciencia que estudia las interrelaciones de los seres vivos y su entorno. De forma generalizada, los agroecosistemas (AES), se pueden definir como sistemas ambientales modificados y manejados por el ser humano para producir bienes y servicios de manera estructurada y diversificada; por lo que su conceptualización y aplicación es adaptable a la mayoría de los ecosistemas vivos que se tienen en nuestro planeta. La idea detrás de los agroecosistemas es concebir a la agricultura como un sistema vivo y complejo, en el que se busca imitar los procesos naturales y aprovechar los principios de la ecología para aumentar la productividad de forma sostenible, conservando los recursos naturales y promoviendo la biodiversidad (Stephen, 2015). Se sabe que los agroecosistemas integran los conocimientos tradicionales de los agricultores con los avances científicos en ecología, agronomía y otras disciplinas para diseñar sistemas agrícolas que sean resistentes, eficientes y respetuosos con el medio ambiente; además, buscan promover la diversificación de cultivos, el uso de prácticas agroecológicas como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas, la fertilización orgánica y la incorporación de elementos de la biodiversidad en los sistemas agrícolas (Méndez, *et al.*, 2015).

La palabra agroecosistema, es una palabra compuesta (agro-ecosistema). agro significa tierra, suelo como fuente de producción; agricultura-proviene del latín *ager* y *culture-* y es definida como la actividad en la cual los seres humanos en un ambiente dado manejan los recursos naturales, la calidad y cantidad de energía e información para producir y reproducir plantas y animales para satisfacer necesidades eminentemente antropocéntricas (Hernández, 1977). El concepto de agroecosistemas empieza a ser utilizado con la aparición de la revista *Agro-Ecosystem* (Harper, 1974). Tres años más tarde se lleva a cabo en México en primer seminario sobre Agroecosistemas de México (Hernández, 1977).

De acuerdo con Hart, 1979 un agroecosistema es un ecosistema que cuenta por lo menos con una población de utilidad agrícola; es decir, incluye una comunidad biótica y un ambiente físico con el que esta comunidad interactúa e incluye normalmente poblaciones de plantas y de animales. En este sentido, es importante mencionar que los agroecosistemas difieren de los

ecosistemas naturales en otro aspecto tal vez tan importantes como la existencia de poblaciones agrícolas y, eso es que el desempeño de un agroecosistema está regulado por la intervención del hombre. Esta intervención está generalmente programada, es decir, el agricultor tiene un propósito de cumplir con el sistema y lo maneja siguiendo un plan de manejo preconcebido que teóricamente le permite alcanzar objetivos específicos.

Hoy en día, existe un buen número de definiciones de Agroecosistemas debido a que este término es una construcción conceptual que hace referencia a espacios físicos que han sido modificados por el hombre para producir diversos satisfactores sociales tanto materiales como no materiales (Pérez, 1996). Los agroecosistemas al igual que los ecosistemas incluyen el componente biótico y abiótico e interacciones entre ellos. Al respecto, Hernández (1977) menciona que un agroecosistema es un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para usar los recursos naturales en el proceso de agricultura, ganadería, forestal y producción de vida silvestre. Odum, (1984) cita que un agroecosistema es un ecosistema domesticado, existiendo formas intermedias entre ecosistemas naturales (tales como pastizales, bosque, etc.) y ecosistemas artificiales como las ciudades. Conway (1987), menciona que un agroecosistema son sistemas ecológicos modificados por el ser humano para producir fibra o productos agrícolas. Marten (1988) cita que un agroecosistema es un complejo de aire, agua, suelo, plantas, animales y micro- organismos en un área limitada que la gente ha modificado para propósitos de producción agrícola.

Los conceptos y metodologías de análisis de agroecosistemas fueron desarrollados en la Universidad de Chiang Ma en Tailandia por Conway (1986); este método se basa en un enfoque ecológico y sistemático para analizar los agroecosistemas en términos de sus propiedades emergentes tales como la productividad, estabilidad, sustentabilidad y equidad, fue bautizada con el nombre de Agroecosystem Analysis. Aunque los agroecosistemas no son exactamente ecosistemas naturales, todavía pueden considerarse como ecosistemas y en general todos los conceptos ecológicos tales como flujo de energía, ciclaje de materiales y otros, son aplicables en su estudio. Finalmente, cabe mencionar que existen tres tipos de agroecosistemas, los que tienen un subsistema de cultivos (pueden ser anuales, perennes, arboles forestales, etc.), los que tienen un subsistema de animales y los que tienen cultivos y animales respectivamente (Krishna, 2013). En la Figura 1, se muestra la línea del tiempo del concepto de agroecosistema:

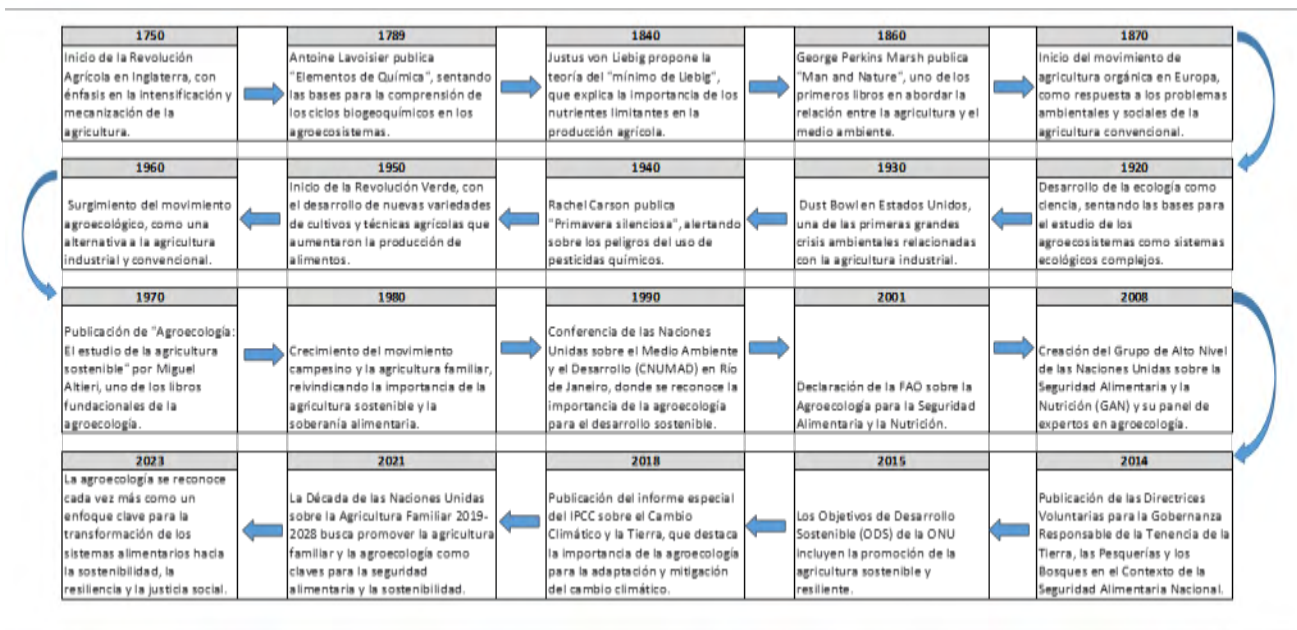


Figura 1. Línea de tiempo del concepto de agroecosistema.

Fuente: a) <https://es.wikipedia.org/wiki/Agroecolog%C3%ADa>; b) https://es.wikipedia.org/wiki/Federaci%C3%B3n_Internacional_de_Movimientos_de_Agricultura_Org%C3%A1nica; c) <https://www.fao.org/agroecology/overview/es/>

En la actualidad existe un buen número de definiciones del concepto de agroecosistemas, y esto se debe a que este término es una construcción conceptual que hace referencia a espacios físicos de diversas dimensiones espaciales que han sido modificados por el ser humano para producir diversos satisfactores sociales tanto materiales como no materiales (Pérez, 1996). Este concepto ha evolucionado a lo largo del tiempo y continúa en cambios constantes hasta la actualidad, reflejando en todo momento una mayor comprensión de las complejas interacciones entre los componentes sociales, ecológicos y económicos de la agricultura; a continuación, se describe brevemente esta evolución constante del concepto de Agroecosistemas, aclarando que esta evolución no ha sido lineal ya que en la actualidad existen diferentes enfoques que coexisten cada uno de ellos: enfoques agronómicos tempranos (siglo XIX - principios del XX): enfoque en la producción: la agricultura se veía como un sistema simple para la producción de alimentos, con énfasis en la maximización de la eficiencia y el rendimiento (Liebig, 1843 y King, 1911); ecología agrícola (mediados del siglo XX): reconocimiento de la complejidad ecológica: se comenzó a comprender la agricultura

como un ecosistema con interacciones entre los cultivos, las plagas, los enemigos naturales y el medio ambiente (Odum, 1953 y Watt, 1968); agroecología (años 70 - presente): enfoque holístico y social: la agroecología se consolidó como una disciplina que busca la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, integrando la ecología, la economía y las dimensiones sociales (Altieri, 1987 y Gliessman, 2007); agroecología para la soberanía alimentaria y la justicia social (actualidad): enfoque en la justicia social y la alimentación: se reconoce la importancia de la agroecología para la construcción de sistemas alimentarios justos, equitativos y soberanos (Holt *et al.*, 2013 y IPES-Food, 2016).

Algunos de los aportes recientes al concepto de agroecosistemas que se han detectado son los siguientes; sin embargo, es importante mencionar que este campo de los agroecosistemas está en constante evolución y es muy probable que se tengan a menudo nuevos aportes a este tipo de ciencia:

- Agroecología como ciencia de la transdisciplina: En este apartado se reconoce la necesidad de un enfoque transdisciplinario que integre diferentes saberes y perspectivas para abordar la complejidad de los agroecosistemas (Bacon y Koontz, 2015).
- Enfoque en la resiliencia y la adaptación al cambio climático: aquí se destaca la importancia de la agroecología para la construcción de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático y otros desafíos ambientales (IPCC, 2019 y Gliessman, 2016).
- Agroecología urbana y periurbana: se reconoce el papel fundamental de la agricultura urbana y periurbana en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de las ciudades (McClintock y Jabbour, 2014 y Orsini, *et al.*, 2013).
- Agroecología y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: en este enfoque se reconoce la contribución de la agroecología al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como la seguridad alimentaria, la pobreza, la salud y el cambio climático (FAO, 2018 y IPES-Food, 2016).
- Agroecología y la justicia social: Se enfatiza el papel de la agroecología en la construcción de sistemas alimentarios justos y equitativos que garanticen el derecho a la alimentación de todas las personas (Holt, 2017 y Desmarais y Wittman, 2019).

Las propiedades emergentes de los agroecosistemas son características o comportamientos que no se pueden predecir a partir de las propiedades de sus componentes individuales; generalmente surgen de la interacción compleja entre los diferentes elementos del

agroecosistema, como los cultivos, las plagas, los enemigos naturales, el suelo, el agua y el clima principalmente. De acuerdo con Conway, (1987); Gliessman, (2007); Altieri, (1987) y Marten, (1988), las principales propiedades emergentes: productividad, resiliencia, diversidad, estabilidad y equidad son importantes para la sostenibilidad de la agricultura en general; por lo que la comprensión de estas propiedades es fundamental para el diseño y manejo de agroecosistemas más resilientes, productivos y equitativos.

La salud de los agroecosistemas es un concepto relativamente nuevo, a pesar de que, a lo largo de la historia, la agricultura se ha basado básicamente en la explotación de los recursos naturales, sin prestar mucha atención a la sostenibilidad de los recursos a largo plazo ocasionando la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua entre otros factores. En las últimas décadas se percibe un creciente interés en la salud de los agroecosistemas; esto se debe a diversos factores, como por ejemplo, la creciente preocupación por la seguridad alimentaria, el cambio climático, degradación ambiental y otros Gliessman (2007), Altieri (1987) y FAO (2018), por lo que en la actualidad, la salud de los agroecosistemas es un tema de gran importancia en la mayoría de las líneas de investigación, debido que constantemente se están desarrollando nuevas prácticas agrícolas que son más sostenibles y, que por ende, ayudan a proteger la salud de los agroecosistemas.

Finalmente, cabe mencionar que los indicadores de la salud de los agroecosistemas son variables y además permiten evaluar el estado de un agroecosistema y su capacidad para funcionar de manera sostenible; estos indicadores pueden ser de tipo biológico, físico, químico o socioeconómico.

El concepto de agroecosistemas tiene importantes implicaciones metodológicas para la investigación y el manejo de la agricultura; incluyen la necesidad de un enfoque holístico, multidisciplinario, participativo, a largo plazo, de sistemas, adaptativo y de agroecología; de acuerdo con Gliessman (2007), IFOAM (2008) y FAO (2018), las de mayor relevancia son el enfoque holístico, enfoque multidisciplinario, enfoque participativo, enfoque a largo plazo, métodos de investigación participativos, métodos de investigación cualitativos, métodos de investigación cuantitativos, enfoque de sistemas, enfoque adaptativo, y enfoque de agroecología. Derivado de lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue analizar las diferentes corrientes de pensamiento del concepto de agroecosistemas, para describir el origen y evolución del concepto a través de distintas investigaciones identificadas.

Materiales y métodos

Etapas I. Búsqueda de información

En la primera etapa se realizó un análisis del estado del arte del concepto de agroecosistemas a través de artículos incluidos en las plataformas Google Académico, Scielo, Web of Science y Redalyc, elaborando una búsqueda con la palabra y concepto de agroecosistema, de los cuales se desplegaron varios artículos y se seleccionaron aquellos que contaron con la palabra deseada en el título, resumen y palabras clave, obteniendo como resultado 137 artículos en total. Posteriormente se utilizó la plataforma Web of Science, para cumplir la búsqueda y un análisis más profundo que permitiera hacer la descarga con la base de datos de documentos, teniendo en cuenta la rúbrica de búsqueda TITLE "agroecosystem" AND + KEYWORDS "agroecosystem", reportando un total de 225 artículos.

Etapas II. Análisis de la información

Se realizó la distribución de 27 documentos para cada integrante del grupo en la base de datos, con tarea de realizar un análisis de métricas que contempla, año, país de publicación, Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), idioma, la tarea de DOE, resumen y conclusiones. Posteriormente se socializaron los documentos entre los participantes a través de la exposición, tratando de demostrar la justificación y la relación de su aplicación del concepto en las distintas áreas de investigación.

Finalmente se realizó el análisis bibliométrico de los artículos resultantes utilizando el software VOSviewer, herramienta desarrollada por el Center for Science and Technology Studies (CWTS) diseñada específicamente para visualizar redes bibliométricas (Toro, 2017). Con este software se generaron gráficos que representan conexiones bibliográficas entre los documentos obtenidos de la base de Web of Science. Estos gráficos incluyeron citas, palabras clave, años de publicación y otros elementos bibliométricos (Guallar *et al.*, 2020). Para representar la frecuencia de documentos por país, la información se exportó en un mapa mundial, utilizando el programa Quantum GIS.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra el número de artículos que fueron publicados durante el periodo de 1990 al 2023; el 82% de los 225 artículos encontrados, se publicaron del 2018 al 2023; es decir, la mayoría son de reciente publicación con seis años de antigüedad. En estos se presentan los últimos avances de investigación enfocados al estudio de los agroecosistemas en el mundo en aspectos de suelo, agua, ambiente, sociedad, entre otras disciplinas.

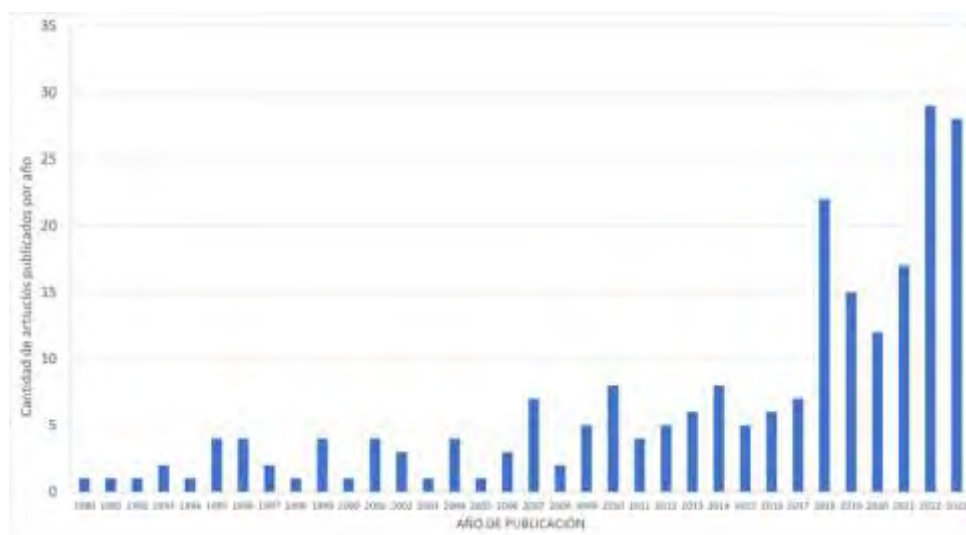


Figura 2. Número de artículos publicados por años en la Web Of Sciences sobre la palabra agroecosistemas.

Por otro lado, respecto a las Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDG, por sus siglas en inglés) en la Figura 3, se observa el comportamiento por disciplinas de estos SDG, resultado de la consulta de artículos en la Web of Sciences sobre la palabra agroecosistemas; el 32% corresponde para el tema de vida de ecosistemas terrestres, seguido del 25% para el tema acción por el clima, 21% para el tema de hambre cero, el 7% para ciudades y comunidades sostenibles y finalmente 6% para el tema de vida submarina respectivamente:

Respecto al idioma en que están escritos los 225 artículos que se obtuvieron de la plataforma Web of Sciences, se encontró que el 96% están publicados en idioma inglés, seguido del 3% en español y finalmente el 1% restante está escrito en idioma ruso (Figura 4). Estos resultados muestran que la mayor actividad en investigaciones enfocadas y/o relacionadas con el tema

del agroecosistema, están en países desarrollados donde el idioma predominante es el inglés; aunque cabe mencionar que, en los países de Centroamérica, también se están realizando diversas investigaciones sobre este tema de agroecosistemas, pero posiblemente se publican en revistas de otras disciplinas que no considera esta plataforma analizada.

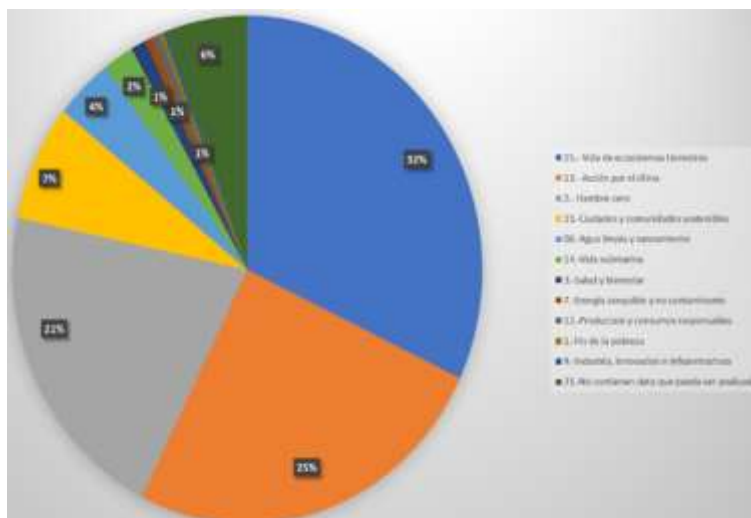


Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenibles de los 225 artículos encontrados en la Web Of Sciences.

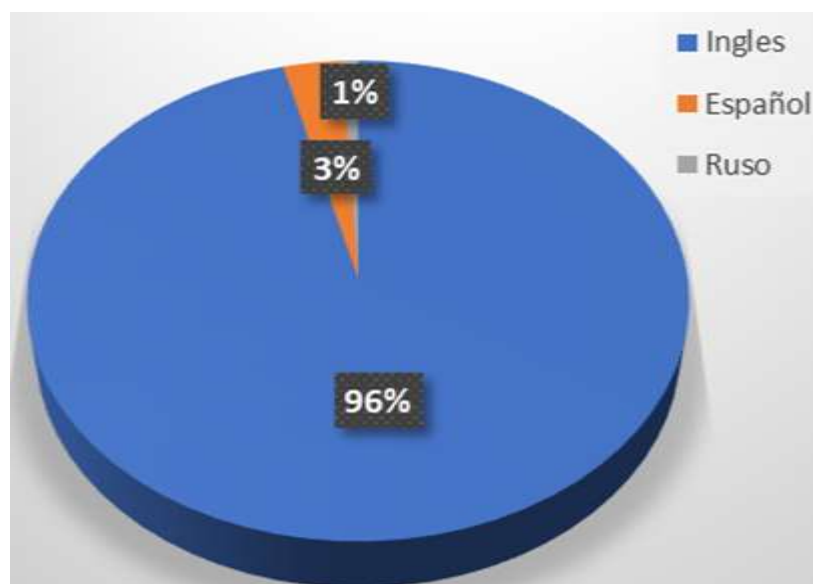


Figura 4. Porcentaje de idiomas en los cuales están escritos los 225 artículos analizados en la plataforma Web of Sciences.

Los tipos de documentos que se encontraron en la plataforma Web of Sciences relacionados con la palabra agroecosistemas se muestran en la Figura 5., se puede observar que el 88% de esos documentos corresponden a artículos científicos, seguido del 6% a documentos de actas y finalmente un 3% para artículos de revisión respectivamente. Estos datos muestran un impacto positivo hacia la comunidad científica del mundo, la cual está en constante actualización de este tipo de información relacionada con el tema de agroecosistema; es decir, la ciencia está en constante evolución para la búsqueda de nuevos aportes científicos que sin duda beneficiarán a la sociedad en general.

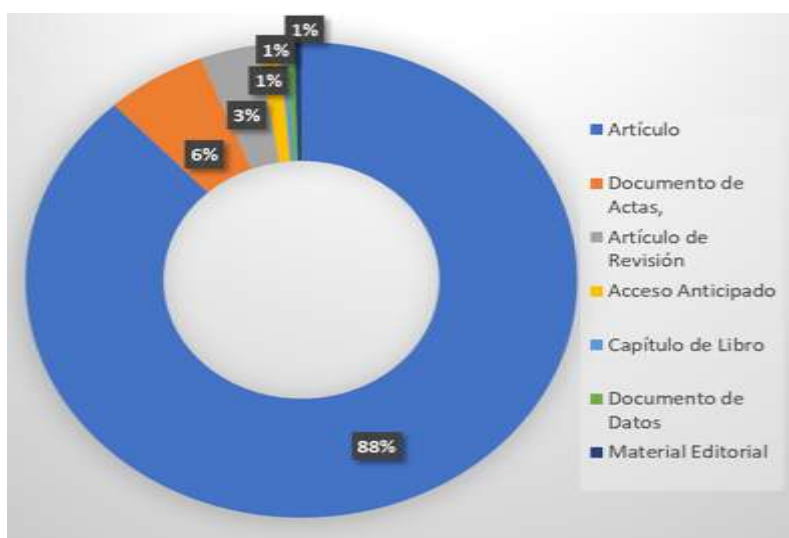


Figura 5. Porcentaje del tipo de documentos analizados en la plataforma Web of Sciences.

Finalmente, en la Figura 6 se pueden observar los países en los que se han publicado este tipo de documentos; el mayor número de artículos publicados corresponden a países de Sudamérica; el color indica el número de publicaciones de artículos relacionados con la palabra agroecosistemas.

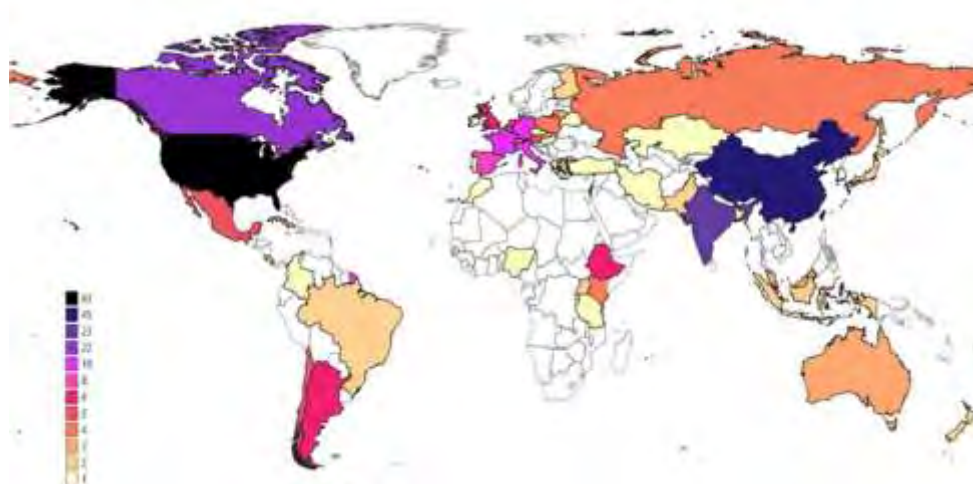


Figura 6. Número de documentos publicados por países del mundo, de acuerdo a los datos que se obtuvieron con la plataforma Web of Sciences de los 225 artículos con la palabra Agroecosistemas.

Conclusiones

La actividad realizada permitió ampliar el origen y concepto de agroecosistemas, el cual lo podemos concebir de manera general al concepto de AGS como una construcción conceptual evolutiva de forma constante en la que se hace referencia al uso y aplicación de espacios geográficos de diferentes tamaños, donde el hombre las utiliza para seleccionar las plantas y animales y satisfacer la demanda constante de alimentos y otros requerimientos que la sociedad requiere para su sobrevivencia en este planeta. El concepto de agroecosistemas está implícito en los aspectos y/o factores sociales, culturales, políticos y económicos principalmente, ya que todos esos términos están directamente relacionados con la agricultura, ganadería, pesca y otras actividades básicas para la alimentación de la humanidad que se desarrollan a través de los agroecosistemas que maneja el hombre para fines comerciales o de autoconsumo en la satisfacción básica de alimentos, bienes, servicios e insumos que demanda la sociedad en general.

Literatura citada

- Altieri, M. A. 1987. Agroecology: The science of sustainable agriculture. Boulder, CO: Westview Press.exclamation.
- Bacon, C. M., and M. Koontz T. 2015. From agroecology to agroecosystems: A transdisciplinary approach to sustainable agriculture. Renewable Agriculture and Food Systems, 30(4): 308-317.
- Conway, G. R. 1986. Agroecosystem analysis for research and development. Bangkok Thailand. Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Conway G. R. 1987. The properties of agroecosystems. Agricultural Systems 24: 95- 117.
- Desmarais, A. A., and H. Wittman. 2019. The rise of the food sovereignty movement: A global perspective. Annual Review of Environment and Resources, 44: 1-27.
- Gliessman, S. R. 2007. Agroecology: The ecology of sustainable food systems. Boca Raton, FL: CRC Press.exclamation.
- Gliessman, S. R. 2016. Agroecology: The ecology of sustainable food systems. Boca Raton, FL: CRC Press.
- FAO. 2018. The state of food and agriculture 2018: Migration, agriculture and rural development. Rome: FAO.
- Harper, J. L. 1974. Agricultural Agroecosystems. Agro-Ecosystems 1:1-6

- Hernández, X. E. 1977. El Agroecosistema concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. P 11-19. *In*: Hernández X (ed). Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Holt, G. E. and A. Altieri M. 2013. Agroecology, food sovereignty, and the new internationalism. *Monthly Review*, 64(10): 1-16.
- Holt, G. E. 2017. Agroecology and the struggle for food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies*, 44(1): 102-121.
- IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica). 2008. The principles of agroecology.
- IPES-Food (Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles). 2016. From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems.exclamation. Report 02. 96 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2019. Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva, Switzerland:
- King, F. H. 1911. Farmers of forty centuries.expand_more Madison, WI: Mrs.exclamation F. H. King.
- Krishna, K. R. 2013. Agroecosistemas: suelos, clima, cultivos, dinámica de nutrientes y productividad. Prensa CRC.
- Liebig, J. Von. 1843. Exclamation Chemistry in its application to agriculture and physiology. London: Taylor and Walton.exclamation.

- Marten, G. G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural systems* 26: 291-316.
- McClintock, N., and L. Jabbour. 2014. *Urban agroecology: Growing food in the city*. London: Routledge.
- Méndez, V. E, M. Bacon C., R. Cohen y R. Gliessman S. 2015. *Agroecología: un enfoque transdisciplinario, participativo y orientado a la acción*. Prensa CRC.
- Odum, E. P. 1953. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: Saunders.
- Odum, E P. 1984. Properties of agroecosystems. p 5-11. *In*: Lowrance R, Stinner B R and House G (eds.). *Agricultural ecosystems: Unifying concepts* John Wiley & Sons. New York, USA.
- Orsini, F., R. Kahane, and Nono W. R. 2013. Urban agriculture in developing countries: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4): 695-720.
- Pérez, V. A. 1996. El concepto de agroecosistema: Definiciones y enfoques. Serie Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México. 11 p.
- Stephen, R. G. 2015. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press.
- Watt, K. E. F. 1968. *Ecology and resource management*. New York: McGraw-Hill.

DIVERSIDAD DE MACROFAUNA DEL SUELO EN PARCELAS CON FORRAJE DE PORTE BAJO

Carmelo Pérez Ponce⁴⁹⁵, Eusebio Ortega Jiménez^{495*}, Catalino Jorge López Collado⁴⁹⁵,
Armando Guerrero Peña⁴⁹⁵ y Martha Beatriz Cuellar Lugo⁴⁹⁵

Resumen

Los agroecosistemas tropicales son entornos complejos y dinámicos que albergan una rica diversidad de insectos. Estos desempeñan roles cruciales en el funcionamiento de estos sistemas, proporcionando servicios ecosistémicos esenciales como la polinización, el control de plagas y el ciclo de nutrientes. La estabilidad de los agroecosistemas se relaciona estrechamente con la biodiversidad de insectos, y su estudio es fundamental para comprender y gestionar estos agroecosistemas de manera sostenible. El comportamiento de los organismos del suelo es diverso debido a la disponibilidad de factores abióticos tales como el aire, materia orgánica, humedad y temperatura. El objetivo de esta investigación fue determinar la presencia de macrofauna en una pradera con pasto pangola de porte bajo (*Digitaria eriantha*), a través del índice de Shannon-Wiener. Se utilizaron trampas Provid y se colocaron por 48 horas durante los meses de octubre 2018 a julio 2019. Los datos se analizaron mediante el software estadístico R Core. Los órdenes de macroartrópodos encontrados en las parcelas fueron: *Blattodea*, *Haplótaxida*, *Hymenóptera*, *Orthóptera*, *Coleóptera*, *Hemíptera*, *Lepidóptera*, *Dermáptera* y *Araneae*. El orden *Hymenóptera* presentó un valor de 1372 individuos y el menor fue el orden *Hemíptera* con 27 especímenes. La abundancia relativa del orden *Hymenóptera* fue de 0.6732 y la más baja fue *Hemíptera* con 0.0132. La diversidad alfa fue de 1.261. El orden *Hymenóptera* fue el más dominante al presentar la mayor riqueza y abundancia relativa en el pasto pangola (*D. eriantha*) corroborando que el componente suelo en esta pradera tiene perturbaciones elevadas. A efecto de diseñar estrategias de manejo sostenible para la conservación de la biodiversidad y la salud de los agroecosistemas, se concluye suministrar altas cantidades de residuos, biomasa vegetal con leguminosas como pica pica mansa (*Mucuna pruriens*) para recuperar los suelos deteriorados dedicados a la ganadería tropical.

Palabras clave: macroartrópodos, riqueza, abundancia relativa, diversidad alfa

⁴⁹⁵ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: eortegaj@colpos.mx

Introducción

Una de las principales causas de la pérdida de diversidad de especies de 26 plantas, 15 de mamíferos, 19 de aves, 43 de peces, 29 de anfibios es la destrucción y explotación de selvas tropicales. El hombre en su afán por obtener tierras para cultivo comienza con la quema y deforestación de bosques; por ello, se pierden comunidades de organismos muy importantes dentro del ecosistema (Bojorges y López, 2005). La diversidad de especies es importante en los agroecosistemas y ecosistemas dado que contribuyen a que exista un equilibrio ecológico y ciclo de nutrientes eficientes (FAO, 2020).

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que se encuentran en la naturaleza, ya que alberga comunidades de organismos los cuales hacen posible la fertilidad del suelo porque ayudan al reciclaje de nutrientes, al aumentar la degradación e incorporación de la materia orgánica y modifican las estructuras físicas, químicas y biológicas del suelo (FAO, 2015). La macrofauna edáfica es un indicador de la salud del suelo y ha sido ampliamente utilizada para conocer el grado de perturbación del mismo, principalmente porque estos organismos realizan cambios físico-químicos del suelo (Cabrera, 2012).

La importancia de los microorganismos en el suelo se ve reflejada en la descomposición y mineralización de la materia orgánica; Galante y Marcos (1997) los catalogaron como organismos productores, consumidores, descomponedores y son los más importantes en el reciclaje de los nutrientes. La presencia e interacción adecuada de estos organismos se ve reflejada en la estabilidad y sostenibilidad de los agroecosistemas y ecosistemas; en la desintegración de la biomasa interactúan diferentes tipos de organismos los cuales se clasifican en microfauna, mesofauna y macrofauna (Cabrera y Crespo, 2001).

La materia orgánica (MO) tiene una función importante en el suelo; sirve como alimento de distintos organismos tales como lombriz de tierra, bacterias, hongos, protozoos y otros más. Su descomposición dependerá de la estructura de cada producto orgánico; es decir, de los diferentes tipos de biomasa en donde varía la composición química de los carbohidratos estructurales como la celulosa, hemicelulosa y lignina; para que exista descomposición se requiere la intervención de factores abióticos tales como la luz, humedad, viento, temperatura. Fernández (2001), Sánchez *et al.* (2008) y Cruz *et al.* (2012) indicaron que la transformación

de la biomasa constituye una vía de mayor importancia en los cultivos ya que incrementa el aporte de nitrógeno (N) y aumenta la presencia de organismos.

Las prácticas actuales realizadas con la agricultura convencional en producción de monocultivos como caña de azúcar, pastizales para alimentación de rumiantes, así como el uso excesivo de plaguicidas, fertilizantes inorgánicos, uso de maquinaria pesada para las labores agrícolas ocasionan el deterioro y degradación de los suelos. Con la intención de mejorar la salud de los suelos del trópico se recomienda adicionar subproductos de la cosecha anterior para aumentar la fertilidad del suelo. El objetivo de esta investigación fue determinar la presencia de macrofauna en una pradera con pasto de porte bajo, a través del índice de Shannon-Wiener.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se estableció un área experimental en las instalaciones del Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz; se ubica en el Km 26.5 Carretera Xalapa – Veracruz, México; en las coordenadas 19°16'00" Latitud Norte y 96°16'32" Longitud Oeste (Figura 1)., una altitud de 16 m y clima del tipo AW₁; cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988).



Figura 1. Localización del área de estudio.

El suelo que predomina en esta región es de textura migajón arenosa y varía a arcilla, posteriormente a 70 cm presenta un estrato pedregoso (Ortiz y López, 2000). La investigación se realizó durante los meses de octubre de 2018 a junio de 2019. La vegetación predominante en el área donde se establecieron las parcelas experimentales es pasto pangola (*D. eriantha*). Los datos de temperatura y precipitación para el periodo de duración del experimento, de octubre de 2018 a julio de 2019, se obtuvieron del sitio del Servicio Meteorológico Nacional

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones. Se aplicaron tres tratamientos cuya dosis de contenido ruminal bovino secado al aire bajo sombra fueron 0,5 y 10 t /ha. Se utilizaron parcelas con dimensiones de área de 5 x 6 m (30 m²).

Colecta de macroartrópodos

En la colecta de organismos considerados como macroartrópodos, se colocó una trampa tipo Provid en cada parcela experimental. Los insectos fueron recolectados cada 2 meses. Un primer muestreo se efectuó antes de la aplicación de los tratamientos con la finalidad de obtener información acerca de los organismos presentes de manera natural. Las trampas Provid fueron conformadas por una botella de plástico tipo PET con capacidad de 2.5 L, con 4 aberturas tipo ventana con dimensiones 6 x 4 cm posicionados a 20 cm de la altura de la base (Antoniolli *et al.*, 2006). Dichas trampas contenían 45 mL de detergente neutro y 30 mL de alcohol al 70%. Una vez en campo, permanecieron enterradas al nivel de las aberturas por 48 horas; pasado ese tiempo fueron recolectadas, los insectos encontrados se contaron e identificaron hasta orden taxonómico.

Posteriormente, fueron calculados los índices ecológicos de diversidad de Shannon (H'), utilizando la fórmula siguiente: $H' = -\sum p_i \cdot \log p_i$.

Donde:

p_i : n_i/N

n_i : densidad de cada grupo.

N : $\sum$ de la densidad de todos los grupos.

Con resultados que van de cero a cinco, y cuyos valores mayores representan mayor diversidad de comunidades (Shannon y Wiener, 1949).

Respecto al índice de dominancia de Simpson (C), se obtuvo a través de la fórmula: $C = \sum p_i^2$
Donde:

p_i : proporción de los individuos en la i-ésima de especies en relación con la abundancia total de la comunidad, cuyos valores más altos sugieren una menor diversidad (Simpson, 1949). Para la interpretación de los datos se realizó la prueba de normalidad en la distribución de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Para obtener los valores de los índices ecológicos, se realizó el análisis de varianza de dos factores (ANOVA two-way) y para realizar la comparación de medias se utilizó la prueba de Bonferroni al 5%. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa estadístico R (R Core Team, 2018).

Resultados y discusión

Clasificación de las taxas

Se registraron un total de nueve órdenes de macroartrópodos presentes en las parcelas, los cuales corresponden a: *Blattodea*, *Haplotaxida*, *Hymenóptera*, *Orthóptera*, *Coleóptera*, *Hemíptera*, *Lepidóptera*, *Dermáptera* y *Araneae*. Estos mismos órdenes se apreciaron en el cultivo de caña de azúcar (Freire *et al.*, 2015). El orden *Hymenóptera* se observó en todos los tratamientos, presentando diferencia significativa ($P < 0.05$) comparado con los demás órdenes. La presencia de este orden mostró el valor más alto (35.20 ± 8.93) en el tratamiento de 10 t/ha de biomasa ruminal (Cuadro 1), probablemente se debe a que es una taxa de amplia distribución y por una mayor variedad y cantidad de recursos tróficos. Los resultados obtenidos concuerdan con Brown *et al.* (2001); Cabrera, (2012); Landero *et al.* (2015); Murguía *et al.* (2018) y Oliveira *et al.* (2018) quienes reportaron que el orden *Hymenóptera* se encuentra con mayor presencia en las regiones tropicales de México, principalmente en Veracruz (Rojas, 2001). Por otro lado, Valdés *et al.* (2015) indicaron que este orden puede ser considerado como una plaga, dado que afecta a diferentes cultivos causando altas tasas de defoliación.

Cuadro 1. Órdenes de organismos presentes en las diferentes aplicaciones de biomasa ruminal en pasto pangola en el Campus Veracruz.

Orden	0 t/ha	5 t/ha	10 t/ha
<i>Araneae</i>	1.60±1.12	2.06±2.15	1.20±1.20
<i>Blattodea</i>	1.20±0.86	1.46±0.99	1.46±0.91
<i>Coleóptera</i>	1.93±1.33	1.60±1.24	1.60±1.40
<i>Dermaptera</i>	2.93±1.53	3.66±1.83	2.66±0.97
<i>Haplótaxida</i>	2.53±1.40	2.86±1.40	2.13±1.50
<i>Hemíptera</i>	0.53±0.83	0.86±0.83	0.33±0.61
<i>Hymenóptera</i>	28.46±9.98	27.80±9.55	35.20±8.93
<i>Lepidoptera</i>	2.86±2.06	3.73±2.57	2.86±1.30
<i>Orthoptera</i>	2.66±1.11	2.86±0.99	3.20±1.08

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la investigación.

El orden *Dermaptera* presentó los valores más altos (3.66±1.83) comparados con los demás organismos (excepto *Hymenoptera*) cuando se aplicó el tratamiento de 5 t/ha. En este sentido, Herrera, (2015) señaló que la taxa *Dermáptera* se encuentra presente en distintas parcelas de producción; se considera como una amenaza en algunos agroecosistemas. Este autor refiere que, estos organismos son utilizados principalmente en árboles frutales para el control biológico de especies de áfidos tales como: (*Aphis pomi* y *Eriosoma lanigerum*). De igual manera, Pasini *et al.* (2007); Pereira *et al.* (2007); Da Silva *et al.* (2009) y Maciel *et al.* (2013) indican que el orden *Dermáptera*, en especial, la especie comúnmente denominada tijereta (*Forticula auricularia*) se utiliza para el control biológico de *Lepidóptera*, *Hemíptera*, *Coleóptera* y *Díptera*. Asimismo, *F. auricularia* es considerado, principalmente, como control biológico por ser devorador de huevecillos de los órdenes anteriormente mencionados.

En este mismo orden de ideas, Marucci *et al.* (2019) mencionan que el orden *Dermáptera* actúa de manera eficiente en el control biológico; por lo tanto, es relevante señalar que *D. luteipes* se alimenta principalmente de huevecillos de áfidos y pulgones. Por ejemplo, para que exista una población de *D. luteipes* debe tener una alimentación rica en polen para que exista una mayor fecundación por parte del macho y una fertilidad alta en las hembras, dado que el consumo de presas naturales no satisface los requerimientos nutricionales de este género. De

igual forma, Queiroz *et al.* (2011) indicaron que el orden *Dermáptera* funciona como control biológico en la agricultura, es decir funciona como un depredador de diversos organismos que interactúan en suelos y en plantas que existen cerca del suelo. De esta manera, se puede observar que la presencia de estos organismos interviene en la descomposición de la materia orgánica que se suministró, porque no existía presencia de otras especies vegetales, debido a la sequía o estiaje que se tuvo durante las evaluaciones realizadas. La mencionada especie fue de las principales en este experimento y por efecto de dominancia se le atribuye un mayor control sobre los demás organismos que se localizaron en los tratamientos.

En el orden *Lepidóptera* el mayor valor se encontró en el tratamiento de 5 t/ha con 3.73 ± 2.57 y el menor con 2.86 ± 2.06 en el tratamiento de 0 t/ha y al igual que los anteriores fueron importantes en la desintegración de la materia orgánica; de tal forma que se le considera como una plaga en otros cultivos; estos resultados coinciden con los obtenidos por Fraija y Fajardo (2006) y Lazzeri *et al.* (2011), quienes observaron que este orden se le considera como uno de los grupos taxonómicos más diversos, y se puede utilizar como bioindicador de diversidad, de conservación y/o perturbación en los agroecosistemas. Por otra parte, Lazzeri *et al.* (2011) señalan que el orden *Lepidóptera* puede permanecer en agroecosistemas con alto grado de perturbación porque se alimenta de la materia orgánica que está disponible. De igual manera, este orden se puede encontrar en diversos cultivos agrícolas según lo reportado por Sierra *et al.* (2014), quienes mostraron que se encuentra en distintos estados evolutivos y de igual forma, este orden puede ser localizado en agroecosistemas con mayor diversidad de especies. Estos mismos autores encontraron que el orden *Lepidóptera* está presente como plaga en distintos cultivos como: cacao, maíz, frijol y malezas. Resultados similares encontraron Sánchez *et al.* (2012) quienes indicaron que este orden puede utilizarse como indicador de los agroecosistemas, por su control biológico de plantas arvenses. Finalmente, Roe *et al.* (2015) observaron que esta taxa se encuentra en regiones de bosques templados, tropicales y con frecuencia en zonas de pastizales mientras que Palacios y Constantino (2006) reportaron la presencia de *Lepidóptera* en terrenos donde existe materia orgánica en descomposición; a su vez, Aguilera y González (2003) percibieron que este orden es de los principales consumidores de biomasa en los agroecosistemas; no obstante, puede existir en ambientes perturbados ya que sobrevive sobre hongos y en ocasiones es depredador de otras especies.

Indicadores de biodiversidad de la macrofauna

Riqueza

En el Cuadro 2, los mayores valores respecto a la riqueza de la macrofauna corresponden al orden *Hymenóptera* con un total de 1372 individuos y los de menor valor fueron obtenidos por el orden *Hemíptera* con 27 especímenes. Con relación al orden *Hymenóptera* y la cantidad de individuos encontrados fue menor comparado con lo señalado por Catalano *et al.* (2012) quienes mencionaron que las familias de este orden se encuentran en ambientes con disturbios moderadamente altos, en condiciones similares a las que se realizó esta investigación; por su parte, Mancilla *et al.* (2017), al evaluar tres acahuales en diferentes fases de desarrollo (maduro, joven y cultivo), encontraron que en el sistema de selva se presentó la mayor riqueza, y la menor en el cultivo de maíz; esto corrobora que la mayor biodiversidad de macrofauna se encuentra en los sitios donde no interviene la mano del hombre como el cultivo de maíz. Por su parte, Cabrera *et al.* (2011) al evaluar la riqueza sobre las comunidades de la macrofauna del suelo, en bosques secundarios, pastizales, cultivos de papa y cañaverales, encontraron que la mayor riqueza se encuentra en los bosques secundarios y pastizales con 19 y 14 órdenes.

Cuadro 2. Riqueza y abundancia relativa de los distintos órdenes encontrados en pasto pangola en el Campus Veracruz.

Orden	Riqueza	Abundancia relativa
<i>Hymenóptera</i>	1372	0.6732
<i>Lepidóptera</i>	142	0.0697
<i>Ortóptera</i>	131	0.0643
<i>Haplotaxida</i>	113	0.0554
<i>Coleóptero</i>	77	0.0378
<i>Araneae</i>	73	0.0358
<i>Blattodea</i>	62	0.0304
<i>Dermáptera</i>	32	0.0157
<i>Hemíptera</i>	27	0.0132

Fuente: Datos propios de la investigación.

Estos valores fueron mayores a los 9 órdenes encontrados en el estudio realizado con pasto pangola. Esta situación permite señalar que el área utilizada en este estudio se encuentra muy deteriorada y es necesario la aplicación de esquilmos agrícolas de cosechas, para aumentar su biodiversidad.

Abundancia relativa

La medición de la abundancia relativa permite identificar a todas las especies con muy poca representatividad en un ambiente determinado y conocer la sensibilidad a las perturbaciones ambientales o aquellas ocasionadas por la agricultura desarrollada por el ser humano. En el Cuadro 2 se observan los valores de la abundancia relativa de los órdenes encontrados; el orden *Hymenóptera* muestra un valor de 0.6732 y la más baja es el orden *Hemíptera* con 0.0132. En este sentido, Gómez *et al.* (2017) determinaron que la presencia de hormigas en los agroecosistemas de nopales funciona como un bioindicador de la perturbación del ambiente en los sistemas agrícolas ocasionados por las actividades del ser humano. En el estudio realizado se utilizó una pradera artificial de pasto pangola (*D. eriantha*) y su manejo ha sido con riego, fertilizantes nitrogenados (urea) y pastoreada con borregos, principalmente. Sin duda alguna, ese manejo afectó la biodiversidad de la macrofauna del suelo, que ni aún con los tratamientos aplicados al suelo han logrado en su primer año aumentar la abundancia de otros órdenes o especies de insectos. La abundancia y la diversidad de la macrofauna edáfica varían en función de la intensidad de uso de la tierra y de la aplicación de diferentes prácticas agrícolas; en el estudio realizado se observó una abundancia relativa del 67% del orden *Hymenóptera* mientras que Gálvez *et al.* (2016) encontraron un 25% y 12% en el sistema silvopastoril y convencional en el mismo orden; sin embargo, estos mismos autores señalaron que el orden *Coleóptera* y los grupos de lombrices, miriápodos y arañas fueron importantes para los servicios ambientales de los sistemas ganaderos, mientras que las hormigas son indicadores de perturbación del suelo, y las larvas de mariposas generan daño en la vegetación.

La diversidad alfa

La diversidad alfa, también conocida como diversidad local o intrasistema, es una medida de la biodiversidad que se enfoca en la riqueza de especies presente en un área o sitio específico.

En otras palabras, indica cuántas especies diferentes se pueden encontrar en un lugar determinado, es decir, comprende a dos variables importantes: la riqueza y abundancia relativa de especies. Aun cuando existen una gran cantidad de indicadores para conocer la diversidad alfa; en este estudio se evaluó a través del índice de Shannon –Wiener; donde; en teoría el valor mínimo tiende a cero y el valor máximo no tiene un límite específico.

El valor obtenido para el índice de Shannon-Wiener fue de 1.261, dado que no hubo efecto de los tratamientos evaluados a través del tiempo. Este valor indica que al menos uno o dos órdenes tuvieron mayor riqueza y abundancia que los demás órdenes encontrados en el estudio realizado (Cuadro 2). En un estudio realizado por Gálvez *et al.* (2016) encontraron una diversidad alfa de 1.82, en el sistema silvopastoril; mientras que, en el sistema convencional fue de 1.60. Esto indica que el sistema silvopastoril proporciona algunos servicios ambientales de los arbustos, hojarasca, fertilidad, menor temperatura o un mejor microclima para la macrofauna siendo ésta más homogénea y en el convencional hubo dominancia de algunos órdenes como *Coleóptera* e *Hymenóptera*; en la presente investigación también se encontraron estos órdenes y cabe destacar que *Hymenóptera* se adapta muy bien a los sitios o ambientes disturbados donde la mano del ser humano ha extraído nutrientes y alimentos.

Conclusiones

En este estudio se encontraron los órdenes de *Blattodea*, *Haplotaxida*, *Hymenóptera*, *Orthóptera*, *Coleóptera*, *Hemíptera*, *Lepidóptera*, *Dermáptera* y *Araneae*. Se reveló que el orden *Hymenoptera* presentó mayor riqueza y abundancia relativa en el pasto pangola.

Literatura citada

Aguilera, M. A. A. y E. González. 2003. Biodiversidad en Venezuela: Tomos I y II. Fundación Empresas Polar© 2003, Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit). Primera edición Caracas 426-436.

- Antoniolli, Z. I., C. Conceição P., V. Böck, O. Port, D. Maisa da S. and R. Ferreira da S. 2006. Alternative method to study soil edaphic fauna. *Ciência Florestal*, Santa Maria 16(4), pp: 407-417.
- Bojorges, B. J. C. y L. López M. 2005. Riqueza y diversidad de especies de aves en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 21(1):1-20.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, C. Patrón J., J. Bueno *et al.* 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta zoológica mexicana (nueva serie)*, (Es1): 79-110.
- Cabrera, G. y G. Crespo. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 35(31): 3-9.
- Cabrera, G., N. Robaina y D. Ponce de L. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34 (3): 313-330.
- Cabrera, G. 2012. Edaphic macrofauna as biological indicator of the conservation / disturbance status of soil. Results obtained in Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4): 346-363.
- Catalano, P., S. Culebra M., C. Carolina S. y M. Ricci. 2012. Primeros aportes al conocimiento de la Mirmecofauna presente en un establecimiento productivo de la localidad de Saladillo. *Rev. Fac. Agron* 111(1): 31-40.
- Cruz, R. M., I. Martínez M., J. López C., M. Vargas, H. González y E. Platas D. 2012. Degradación del estiércol vacuno por escarabajos estercoleros en un pastizal de Veracruz, México. *Revista colombiana de entomología* 38(1):148-155.

- Da Silva, B. A., J. de Luna B. and C. Henrique de B. 2009. Predatory capacity of *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) on *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 3(1): 7-11.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Suelos y biodiversidad. Roma, Italia. 4 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Pérdida de biodiversidad del suelo. Roma, Italia.
- Fernández, V. R. 2001. Lombrices de tierra (*Annelida: oligochaeta*) de un bosque secundario: composición taxonómica y evaluación ecológica. Facultad de biología. Universidad de la Habana.
- Fraija, F. N. y G. E. Fajardo M. 2006. Caracterización de la fauna del orden Lepidóptera (*Rhopalocera*) en cinco diferentes localidades de los Llanos orientales Colombianos. *Acta Biológica Colombiana* 11(1):55-68.
- Freire, L. R., A. Ednaldo da S. y L. B. Ricardo L. 2015. Tempo de Captura de organismos *da mesofauna do solo e seus reflexos na interpretação de índices da comunidade edáfica*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 39.5. 1282-1291.
- Galante, E. y M. A. Marcos G. 1997. Detritívoros Coprófagos y Necrófagos. Los Artrópodos y el Hombre. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 20: 57-64.
- Gálvez, C. A. L., A. M. Reina L. y E. V. Meneses E. 2016. Cuantificación de macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril y uno convencional en bosque seco. *Rev. Inv. Pecu.* 4 (2): 13-25.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gómez, O. E., Y. Ortiz A., E. S. Ávila G., G. Pérez T., J. Valenzuela y E. Moreno C. 2017. Ground-dwelling ant diversity in cactus pear crops (*Opuntia albicarpa*) and *Opuntia spp.* *Scrublands* in the state of Hidalgo Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89 (2018): 454-465.
- Herrera, M. L. 2015. Orden Dermaptera. *Revista IDE@ - SEA*, Núm. 42:1-10.
- Landero, T. I., J. Murguía G., M. E. Galindo T., O. R. Leyva O., E. Presa P., L. N. Quiroz R. *et al.* 2015. Nuevos registros de hormigas (*Hymenóptera: Formicidae*) para Tlaxcala México. *Revista Colombiana de Entomología*. 41 (2): 257-277.
- Lazzeri, G. M., E. Bar M. y M. Pieri D. 2011. Diversidad del orden Lepidóptera (*Hesperioidea y Papilionoidea*) de la ciudad Corrientes, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 59(1):299-308.
- Maciel, R. A. C., C. I. Andrade C., M. de L. Correa F. y R. Braga da S. 2013. Physiological selectivity of insecticides to adulto f *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae). *Revista Ciência Agronômica*, 44(4), 842-850.
- Mancilla, B. R. F., L. J. Rangel R., A. Falcón B., J. Gamboa A. y J. D. Valdez L. 2017. Riqueza y abundancia de la macrofauna epígea en cuatro sistemas tropicales del Estado de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 33(3): 464-471.
- Marucci, R. C., L. Souza I., O. Silva L., M. Auad A. and M. Mendes S. 2019. Pollen as a component of the diet diet of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (*Dermáptera: Forficulidae*). *Brazilian Journal of Biology*, 79(4): 584-588.
- Murguía, G. J., O. R. Leyva O., M. E. Galdino T., I. Landero T., R. C. Llarena H. y M. A. García M. 2018. Nuevos registros de hormigas para Oaxaca, México: su importancia agrícola en cultivos de caña de azúcar. *Agrociencia*, 52(3): 379-391.

- Oliveira, F. L. C., D. Baretta, J. de Moraes P., C. R. D. Maluche B., P. Niederauer P. y E. J. B. Nogueira C. 2018. Fauna edáfica em ecossistemas florestais. Ciências ambientais. II: 9-48.
- Ortiz, S. C.A. y C. J. López C. 2000. Los suelos del Campus Veracruz. Colegio de Posgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Campus Veracruz. Mpio. de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. 84 p.
- Palacios, G. M. y M. Constantino L. 2006. Diversidad de Lepidópteros *Rhopalocera* en un gradiente altitudinal en la reserva natural el pangan, Nariño Colombia. Boletín Científico, Centro de Museos. Museo de Historia Nacional 10:258-278.
- Pasini, A., R. P. Parra J. y J. Lopes. 2007. Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta do cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Neotropical Entomology, 36(2): 308-311.
- Pereira, C. N., D. de Oliveira H., C. Henrique de B. y A. Barbosa da S. 2007. Influência do nim na biologia do predador Euborellia annulipes e estudo de parâmetros para sua criação massal. Revista de Biologia e Ciências da Terra 7(2).
- Queiroz, de O. F., J. de Luna B., J. Bruno M., C. Henrique de B. y E. Pereira dos S. 2011. Susceptibility of the predator Eurobellia annulipes (Dermaptera: Anisolabididae) to mycoinsecticides. Revista Colombiana de Entomología. 37(2):234-237.
- R core team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. Foundation for statistical computing, Vienna, Austria.

- Roe, A. D., J. Simonsen T., B. Scholtens, A. H. Sperling F. y J. Weller S. 2015. *Phycitinae* phylogeny based on two genes, with implications for morphological trait evolution and heinrich's tribal classification (*Lepidoptera: Pyralidae*). Journal of the Lepidopterists' Society, 69(3):157-173.
- Rojas, F. P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (*Hymenóptera: Formicidae*). Acta zoológica mexicana (nueva serie). 1:189-238.
- Sánchez, C. C.; G. Crespo L., M. Hernández Ch. and Y. García O. 2008. Accumulation and decomposition of litter in a pasture of *Panicum maximum* and in a silvopastoral system associated whit *Leucaena leucocephala*. Zootecnia Tropical. 26(3): 269-273.
- Sánchez, M. A., G. Soto R., S. Brenes P., R. Agüero A. y A. Retana S. 2012. List of some *Lepidoptera* families associated with weeds in banana farms (*Musa AAA*), Caribbean Costa Rica. Cultivos Trópicos, 33(4:16-20).
- Shannon, C. E and W. Wiener. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Pres. Urbana, II. EEUU 144 p.
- Sierra, B. K. A., M. Mazón, M. Chacón, D. Otero L. and J. C. Gaviria R. 2014. *Lepidopterans* community associated to *Theobroma cacao* L. In two agroecosystems with different management of shade (Merida Venezuela). Ecotrópicos, 25(2:49-60).
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. Nature 163.688.
- Valdés, R. O. A., A. Pérez V. y O. M. Palacios W. 2015. Insectos plaga en cultivo asociado de *Ricinus communis* y *Moringa oleifera* en el centro del estado de Veracruz, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Publicación especial 11: 2233-2239.

SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA POTABILIZADA MEDIANTE OZONO

Xiomara Amairani Melchor Aldana⁴⁹⁶, José Daniel Hernández Ventura⁴⁹⁶, David Ramírez Pérez⁴⁹⁶
y Adolfo Pelayo Moreno⁴⁹⁶

Resumen

El agua para consumo humano es escasa, por motivos tales como el uso agrícola, el uso industrial, el exceso de población, además de la contaminación de los mantos freáticos. Hacer llegar agua potable a la población resulta costoso. La reutilización de agua permite un ahorro y aprovechamiento de este elemento esencial para los seres vivos, teniendo un impacto social y ambiental, en las regiones o comunidades donde la disponibilidad de agua es un problema, ya que contribuye al abastecimiento del líquido en las viviendas. El ahorro del agua es una opción sostenible, ambiental y económicamente favorable con miras a satisfacer la demanda de la población. Además, la recolección de agua pluvial es una manera de aprovechar los recursos naturales reduciendo las afectaciones derivadas por el cambio climático. El objetivo del trabajo fue desarrollar un sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, que permita almacenarla, para potabilizarla mediante el método de ozonificación. Se realizaron análisis microbiológicos del agua para determinar la cantidad de ozono a suministrar; mediante un generador se llevó a cabo la adición del ozono, y a través de un sistema electrónico integrado por diferentes sensores, se llevó a cabo el monitoreo de parámetros de calidad del agua. Se verificó el funcionamiento del prototipo, a través de la determinación de parámetros de calidad del agua en tres tipos de muestras: agua de lluvia, agua purificada de garrafón y agua ozonificada. Con los resultados obtenidos, se considera que este sistema de captación y potabilización del agua de lluvia, es una alternativa sostenible para abordar los desafíos relacionados con el acceso al agua potable en áreas donde los recursos hídricos son limitados o de baja calidad. Algunos beneficios de la implementación de este sistema son la reducción de la dependencia de fuentes de agua no seguras y la disminución del impacto ambiental mediante un recurso natural renovable y seguro para el consumo humano.

Palabras clave: agua pluvial, recolección, purificación, ozonificación

⁴⁹⁶ Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. *autor de correspondencia: daniel.ventura@itsx.edu.mx

Introducción

Los sistemas de captación de agua de lluvia se han utilizado para proporcionar riego y agua potable a comunidades remotas desde las primeras civilizaciones. La recolección de agua de lluvia para los fines antes mencionados crea una carga significativa para el medio ambiente si se realiza de manera consciente y frecuente. Es conocido que solo el 1% del agua del planeta es potable. A medida que crece la población, cada vez es más difícil repartir ese 1% entre todos, y llegará el día en que la oferta superará a la demanda.

La reutilización de agua permite un ahorro y aprovechamiento de este elemento esencial para los seres vivos. El presente trabajo conlleva a un impacto social y ambiental, donde hoy en día la falta de agua en ciertas regiones, viviendas o comunidades genera grandes problemas, que se busca mitigar al implementar este tipo de proyecto, facilitando la obtención de agua potable. El ozono al ser una partícula inestable se degrada con facilidad, con ello aprovecha la capacidad del ozono para eliminar virus, bacterias, contaminantes químicos, entre otros de manera eficiente, garantizando agua limpia y segura para diversos usos.

Con el uso de ozono, que se forma cuando una fuente de energía divide las moléculas de oxígeno (O_2) en átomos de oxígeno, que luego chocan con las moléculas para formar el inestable ozono gaseoso (O_3), que se usa para desinfectar el agua residual. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales generan ozono aplicando corriente alterna de alto voltaje (6 a 20 kV) a una habitación que contiene un gas que contiene oxígeno entre placas de descarga dieléctrica.

A diferencia de los métodos convencionales como el cloro, que es uno de los más utilizados, además de ser dañino para la salud y medio ambiente, otro método sería la luz ultravioleta que no es efectiva para eliminar sustancias químicas y partículas suspendidas y al ser una luz emite radiación, que pueden ser causantes de problemas en la salud.

Por medio de los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), un sistema de recolección de agua de lluvia puede ser de alta calidad. La CONAGUA brinda instrucciones, técnicas, objetivos, campo de aplicación, metodología de cálculo, los elementos y demás componentes y todo deberá estar acorde a la NOM-001-CONAGUA-2011; en el apartado de calidad del agua; se deberán medir los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994,

agua para uso y consumo humano NOM-180-SSA1-1998 y Sistema General de Unidades de Medida NOM-008-SCF1-1993.

Materiales y métodos

De manera inicial, al ser un sistema tiene un proceso, primero el agua captada de lluvia pasa por un sistema de ozonificación donde se ingresa cierta cantidad de ozono al agua captada, después pasa por los sensores que controlan y monitorean la calidad del agua; por último, pasa por una serie de filtros que ayudan a limpiar las impurezas del agua. Con todo este contexto, primero se construyó el suministro de ozono, posteriormente se inició la elaboración del sistema de sensores a utilizar y por último el sistema de filtros mecánicos (Figura 1).

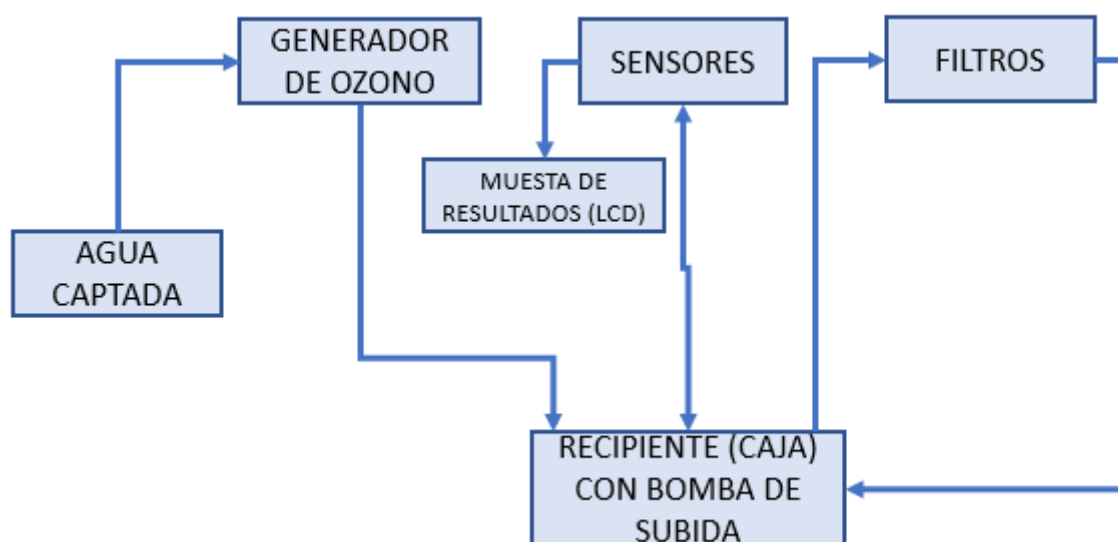


Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo.

Caja. Este es el contenedor principal del sistema. Contiene todos los componentes necesarios para el funcionamiento del prototipo.

Generador de ozono. Este componente se utiliza para generar ozono, es introducido en el agua para desinfectar y tratarla.

Bomba de subida. Esta bomba se encarga de elevar el líquido desde un depósito inferior o desde un lugar de entrada hasta el sistema principal para su análisis.

Tubos de PVC. Estos tubos transportan el líquido dentro del sistema, desde la bomba de subida hasta los sensores y cualquier otro componente necesario.

LCD. Pantalla de cristal líquido donde se muestran los resultados de las mediciones realizadas por los sensores.

Sensores. El sensor de pH PH-4502C monitorea los niveles de pH en tiempo real sumergido en una sustancia, proporcionando datos que indican la acidez de la misma; el sensor SEN0189 detecta la calidad del agua midiendo los niveles de turbidez, utilizando la luz para identificar las partículas suspendidas en una sustancia: El sensor DS18B20 permite monitorear la temperatura en tiempo real al sumergirlo en una sustancia y el sensor de TDS meter V1, mide la concentración de sólidos disueltos en una solución mediante sensores de conductividad eléctrica

Se desarrolló un sistema integral de captación y potabilización de agua de lluvia, empleando un enfoque interdisciplinario que combina metodologías cuantitativas, cualitativas y experimentales. En primer lugar, se implementaron mediciones mediante microcontroladores para registrar datos de diversas variables clave en el proceso. Posteriormente, se realizó el análisis cualitativo detallado mediante muestras de agua obtenidas, las cuales serán sometidas a rigurosos análisis de laboratorio para asegurar el cumplimiento de las normativas establecidas. Además, se llevaron a cabo experimentos a partir de un modelo o prototipo desarrollado, con el objetivo de verificar el funcionamiento efectivo del sistema a través de múltiples pruebas y observaciones directas del proyecto. Para ello se utilizaron tres tipos de agua, la primera muestra fue agua de lluvia obtenida con un recolector de agua pluvial, la segunda fue agua purificada de garrafón y, por último, agua ozonificada procesada con ozono.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de las pruebas se hicieron a través de un medidor multiparamétrico de calidad de agua, En el Cuadro 1 se muestran las variaciones de pH en las muestras. El agua de lluvia registró un pH de 6.12, mientras que en el agua ozonificada fue de 6.7 y el agua

purificada de 6.31. Este resultado sugiere que el proceso de ozonificación y purificación tuvo un pH recomendado, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones donde se requiere un pH específico.

Cuadro 1. Parámetros registrados en los tres tipos de agua analizados.

Parámetro	Agua de lluvia	Agua purificada	Agua ozonificada
SALT	0.996 sg	0.996 sg	0.996 sg
pH	6.12	6.31	6.73
TDS	64 ppm	17 ppm	00.77 ppm
EC	128 us	34 us	0154 us
EC	00,13 ms	00,03 ms	00,15 ms
SALT	78 ppm	20 ppm	00.92 ppm
TEM	27°C	27°C	27°C

SALT, sales; pH, potencial de hidrógeno; TDS, sólidos disueltos totales; EC, conductividad eléctrica; TEM, temperatura; ppm, partes por millón.

En términos de sólidos disueltos totales (TDS), el agua de lluvia presentó la concentración más alta de TDS, seguida por el agua purificada y el agua ozonificada. Esto indica que el agua de lluvia contiene más minerales y otras sustancias disueltas en comparación con las dos muestras tratadas. Sin embargo, es importante destacar que el agua ozonificada redujo la concentración de TDS en comparación con el agua purificada, lo que sugiere que el proceso de ozonificación puede eliminar algunos sólidos disueltos.

Por último, la conductividad eléctrica también mostró variaciones entre las muestras. El agua ozonificada exhibió la conductividad más baja, seguida por el agua purificada y el agua de lluvia. Este resultado es consistente con la concentración de TDS, ya que la conductividad eléctrica está influenciada por la presencia de sales y otros compuestos disueltos en el agua. En resumen, nuestros resultados indican que tanto el proceso de ozonificación como el de purificación tienen un impacto en varios parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, TDS y conductividad eléctrica. Estas diferencias son importantes a considerar al seleccionar el método de tratamiento de agua más adecuado para diferentes aplicaciones.

Conclusiones

Finalmente, este sistema puede ser una solución prometedora y sostenible para abordar los desafíos relacionados con el acceso al agua potable en áreas donde los recursos hídricos son limitados o de baja calidad. A través de la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia y su posterior tratamiento para garantizar su potabilización, se ha identificado una estrategia efectiva para mitigar la escasez de agua y que contribuya a mejorar la calidad de vida de las comunidades afectadas. Durante el desarrollo de este trabajo, se identificaron varios beneficios, como la reducción de la dependencia de fuentes de agua no seguras, la minimización del impacto ambiental mediante un recurso natural renovable y seguro para el consumo humano. En conclusión, este proyecto es una herramienta valiosa en la búsqueda de soluciones innovadoras y accesibles para mejorar el acceso al agua potable. Su implementación efectiva no solo ofrece una respuesta práctica a los desafíos de agua, sino que también promueve la resiliencia comunitaria y el desarrollo sostenible a largo plazo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX) y al financiamiento de equipamiento de laboratorio proporcionado por el COVEICYDET. Su generoso apoyo ha sido fundamental para el desarrollo de nuestro proyecto, estamos verdaderamente agradecidos por su compromiso con la educación y la investigación, y por brindarnos las herramientas necesarias para alcanzar nuestros objetivos. Su contribución no solo beneficia a nuestra Institución, sino que también impacta positivamente en la comunidad académica y en el avance de la ciencia. ¡Gracias por creer en nuestro trabajo y por hacerlo posible!

Literatura citada

- Buntat, Z.; Zafar Iqbal, SM; Ahmad Saburi, WMF; Adzis, Z.; Sohaili, J.; Smith, IR. "How to access research remotely". CAB Direct. [consultado el 16 de febrero de 2023]. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153285781>.
- Castro, Juan Cristóbal. 2012. Diseño de una propuesta de tratamiento y purificación del agua de consumo humano en el centro de experimentación y producción Salache (CEYPSA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi" Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: Diseño de una propuesta de tratamiento y purificación del agua de consumo humano en el centro de experimentación y producción Salache (CEYPSA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi (utc.edu.ec) [consultado el 06 junio 2024].
- SEMARNAT/CONAGUA (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua). 2022. Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia a nivel vivienda". Versión 3.2. LINEAMIENTOS_TECNICOS_SISTEMA_DE_CAPTACION_DE_AGUA_DE_LLUVIA.pdf (www.gob.mx) [consultado el 28 de mayo 2024].
- López Caiza, D. C., & Vásconez Hurtado, J. P. 2013 Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano Tesis. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Ecuador. 175 p. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7053> [consultado el 16 de mayo de 2024].
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". pp. 1-21. NOM-127-SSA1-1994 (pediatria.gob.mx) [consultado 04 de junio 2024].

- Kamel, N., Mostéfa, B., Amar, T., & Said, N. 2018. Experimental study of a dual discharge ozone generator for water treatment, International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM) p. 1-8, [consultado el 10 de junio 2024]. doi: 10.1109/CISTEM.2018.8613537.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-180-SSA1-1998, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios. p. 1-21. [consultado el 04 de junio 2024]. Nom 180 Ssa1 1998 | PDF | Esterilización (Microbiología) | Las bacterias (scribd.com).
- Paredes, S. L., & Mantilla, C. R. 2015. Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e industrial". p. 1-125. Carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización, Ambato, Ecuador. [consultado 16 de mayo de 2024] Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial (uta.edu.ec).

ANÁLISIS DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ESTADO DE VERACRUZ

Jorge Armida Lozano⁴⁹⁷, Gustavo López Romero⁴⁹⁷, Felipe Gallardo López⁴⁹⁷, Emmanuel de Jesús Ramírez Rivera⁴⁹⁸, Juan Cristóbal Hernández Arzaba⁴⁹⁹ y Diego Esteban Platas Rosado^{497*}

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue analizar los indicadores de sustentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar del Estado de Veracruz. Se analizó el desempeño de nueve ingenios con los datos de un periodo de diez zafra (2013-2014 hasta la zafra 2022-2023). El desempeño consistió en la evaluación de 18 indicadores de sustentabilidad, 12 indicadores para el campo y seis para la fábrica. Los datos se evaluaron con la prueba de análisis de varianza y la representación de los indicadores se efectuó con la prueba de Análisis de Componentes Principales (ACP). Los resultados demostraron que los indicadores SSSP (Porcentaje de la superficie sembrada con el sistema piña), PSACB (Porcentaje de superficie atendida con control biológico) y SCVE (Porcentaje de superficie cosechada en verde) permitieron diferenciar el desempeño entre los ingenios evaluados. El ACP mostró que los ingenios San Cristóbal, San Miguelito, Central Progreso y La Gloria tiene mayores porcentajes en los indicadores de manejo integrado de plagas, aplicación de abonos orgánicos y rendimiento de caña de azúcar. Los Ingenios El Modelo y La Providencia son quienes han implementado estrategias para promover prácticas sustentables que les han permitido mejorar sus rendimientos de campo y fábrica. Por último, los ingenios de la providencia, Pánuco, Central Progreso y La Gloria tienen los mejores indicadores en términos de cumplimiento con las normas oficiales mexicanas.

Palabras clave: indicadores de sustentabilidad, desempeño

Introducción

El Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA) estableció a partir de la zafra 2010/11, un sistema de indicadores de sustentabilidad para el sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Este sistema se creó con el propósito de

⁴⁹⁷ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Veracruz. *Autor por correspondencia: dplatas@colpos.mx

⁴⁹⁸ Tecnológico Nacional de México Campus Zongolica, Veracruz.

⁴⁹⁹ Facultad de Ciencias Administrativas, Sociales e Ingeniería. Universidad de Baja California.

recopilar y organizar las acciones de sustentabilidad llevadas a cabo por los Comités de Producción y Calidad Cañera (CPCC). Se estima anualmente un conjunto de 18 indicadores e índices que permiten medir, evaluar y comunicar el estado de la sustentabilidad en el sector. El sistema proporciona una herramienta esencial para monitorear el progreso y los impactos de las iniciativas de sustentabilidad a lo largo del tiempo. Esto permite una visión comprensiva del avance y los desafíos en la implementación de prácticas sustentables en el sector cañero mexicano.

En los últimos años ha existido cambios radicales en el ambiente debido a la producción de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico derivado de las actividades antropogénicas. Los cambios del clima afectan al crecimiento y rendimiento de los cultivos (Ray *et al.*, 2015) causando un impacto en la producción de alimentos, entre otros. De acuerdo con Linnenluecke *et al.* (2019) entre 1964 y 2012 han existido diversos cambios que han impactado a los cultivos como la caña de azúcar. Este cultivo es de gran importancia por ser altamente producido en países tropicales y subtropicales (Wiedenfeld, 2000). La caña de azúcar juega un papel importante en la producción de productos como la azúcar, bioetanol, entre otros. En México la producción de caña de azúcar se realiza en 15 estados y en 267 municipios del país y su producción para el 2023 fue de 5,224,248 t. El rendimiento en campo oscila de entre 60 y 70 t/ha en siembras de temporal y hasta 100 t/ha en siembras de riego. El estado de Veracruz, es el principal productor de caña de azúcar en el país y en donde se producen cerca del 40% de la caña de azúcar a nivel nacional. Actualmente, las investigaciones existentes se han centrado predominantemente en pronosticar la producción de caña de azúcar mediante simulaciones para regiones o sitios específicos (Everingham *et al.*, 2015; Linnenluecke *et al.*, 2018 y 2019; Días *et al.*, 2021). Sin embargo, existe la necesidad de analizar los posibles cambios en los indicadores de sustentabilidad tanto en campo y fábrica de la agroindustria de la caña de azúcar del estado de Veracruz para determinar su sustentabilidad actual. Por todo lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue analizar los indicadores de sustentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

El estudio se basa en una investigación documental que revisa de manera exploratoria, analítica y retrospectiva los indicadores de sustentabilidad tanto de campo y fábrica en la agroindustria de la caña de azúcar. Se tomó una muestra de nueve ingenios pertenecientes al estado de Veracruz y se analizó su desempeño a lo largo de un periodo de diez zafras, desde la zafra 2013-2014 hasta la zafra 2022-2023. Los ingenios seleccionados fueron: Central Providencia, San Miguelito, El Modelo, La Gloria, Central Progreso, Pánuco y San Cristóbal. Los indicadores analizados son los propuestos por el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), los cuales, identifica 18 indicadores de sustentabilidad desfragmentado en 12 y seis indicadores para el campo y fábrica, respectivamente.

Cuadro 1. Indicadores de sustentabilidad por subsector.

Subsector	Identificador	Indicador
CAMPO	SSLC	Porcentaje de la superficie sembrada con labranza de conservación
	SSSP	Porcentaje de la superficie sembrada con el sistema piña
	SSRT	Porcentaje de la superficie sembrada con riego tecnificado
	SFRT	Porcentaje de la superficie fertilizada con base en recomendaciones técnicas
	SAAO	Porcentaje de superficie con aplicación de abonos orgánicos
	SABIO	Porcentaje de superficie con aplicación de biofertilizantes
	SAMIP	Porcentaje de superficie atendida con manejo integrado de plagas
	PSACB	Porcentaje de superficie atendida con control biológico
	SAPCL	Porcentaje de superficie atendida con el Programa Campo Limpio
	SCVE	Porcentaje de superficie cosechada en verde
	RPCA	Rendimiento promedio de caña de azúcar (t/ha)
	CPTON	Costo de producción por tonelada (\$/t)
FÁBRICA	EFFA	Eficiencia en fábrica (%)

Subsector	Identificador	Indicador
	KABE/ KARBE	Relación KABE / KARBE
	VGBC	Porcentaje de vapor generado con bagazo de caña
	EECBC	Porcentaje de energía eléctrica cogenerada a partir de bagazo de caña
	CDEC	Porcentaje de cachaza destinada a la elaboración de composta
	CNOR	Cumplimiento de Normatividad

Análisis estadístico

Los datos se evaluaron usando análisis de varianza para determinar diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% y también se usó la técnica Análisis de Componentes Principales (ACP) para efectuar la representación de los indicadores por ingenio seleccionado. Los datos se procesaron con el programa para computadora XLSTAT Versión 2023.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestra los resultados de los valores de probabilidad para los indicadores de campo y fabrica de los ingenios analizados. Se muestra que los indicadores SSSP (porcentaje de la superficie sembrada con el sistema piña), PSACB (porcentaje de superficie atendida con control biológico) y SCVE (porcentaje de superficie cosechada en verde) permitieron diferenciar el desempeño entre ingenios. Los indicadores de sustentabilidad sumando a innovación como estrategia de sostenibilidad tiene un efecto diferenciador en la media de los grupos de acuerdo al Índice de Sustentabilidad Global de los Ingenios en México (Cavazos, 2018).

Cuadro 2. Valores de probabilidad para los indicadores de campo y fábrica de la agroindustria de caña de azúcar del estado de Veracruz

Indicador	Valor de probabilidad	Indicador	Valor de probabilidad
SSLC	ns	CPTON	ns
SSSP	0.006	EFFA	ns
SSRT	ns	KABE/KARBE	ns
SFRT	ns	VGBC	ns
SAAO	ns	EECBC	ns
SABIO	ns	CDEC	ns
SAMIP	ns	CNOR (NOM-002-SEMARNAT)	ns
PSACB	0.014	CNOR (NOM-085-SEMARNAT)	ns
SAPCL	ns	CNOR (NOM-001-SEMARNAT-2021)	ns
SCVE	0.048	CNOR(NOM-081-SEMARNAT-1994)	ns
RPCA	ns		

SSLC= Porcentaje de la superficie sembrada con labranza de conservación; SSSP=Porcentaje de la superficie sembrada con el sistema piña; SSRT=Porcentaje de la superficie sembrada con riego tecnificado; SFRT= Porcentaje de la superficie fertilizada con base en recomendaciones técnicas; SAAO= Porcentaje de superficie con aplicación de abonos orgánicos; SABIO= Porcentaje de superficie con aplicación de biofertilizantes; SAMIP= Porcentaje de superficie atendida con manejo integrado de plagas; PSACB= Porcentaje de superficie atendida con control biológico; SAPCL= Porcentaje de superficie atendida con el Programa Campo Limpio; SCVE= Porcentaje de superficie cosechada en verde; RPCA= Rendimiento promedio de caña de azúcar (t/ha); CPTON= Costo de producción por tonelada (\$/t); EFA= Eficiencia en fábrica (%); KABE/KARBE= Relación KABE/KARBE; VGBC=Porcentaje de vapor generado con bagazo de caña; EECBC= Porcentaje de energía eléctrica cogenerada a partir de bagazo de caña; CDEC= Porcentaje de cachaza destinada a la elaboración de composta; CNOR= Cumplimiento de Normatividad. Ns= no significativo.

Se observa que los ingenios San Cristóbal, San Miguelito, Central Progreso y La Gloria tiene mayores porcentajes en los indicadores de manejo integrado de plagas, aplicación de abonos orgánicos y rendimiento de caña de azúcar, esto puede indicar que las prácticas sustentables en el manejo favorecen el rendimiento del cultivo. Los Ingenios El Modelo y La Providencia sus

indicadores más altos están para SAPCL, EFFA, KABE/KARBE, PSACB Y SSSP, estos indicadores demuestran que estos ingenios han implementado estrategias para promover prácticas sustentables que les han permitido mejorar sus rendimientos de campo y fábrica. Por el contrario, los ingenios La Providencia, Pánuco, Central Progreso y La Gloria tiene mayores cumplimientos con las diferentes normas oficiales mexicanas (NOM-085, 081, 001 y 002 de la SEMARNAT) así como los indicadores SFRT, EECBC, SSLC, SCVE, SSRT, VGBC, SABIO y CPTON. La representación de los indicadores se muestra en la Figura 1.

El uso de labranza de conservación en los ingenios azucareros es una práctica relevante para la sostenibilidad del cultivo. Solo el 29% de los ingenios de la muestra implementan esta técnica. El ingenio Central Progreso experimentó una disminución en la adopción de labranza de conservación en la zafra 2022-2023 en comparación con la zafra 2013-2014. En contraste, el ingenio Pánuco aumentó del 0% al 30% en la implementación de esta práctica.

En cuanto al sistema piña menos, menos del 1% de los productores de los ingenios lo utilizan, manteniendo a la caña de azúcar como monocultivo predominante.

La superficie sembrada con riego tecnificado mostró incrementos significativos en varios ingenios: Central Providencia, Central Progreso y La Gloria aumentaron en 11%, 18% y 1% respectivamente, mientras que en Pánuco se redujo un 12%.

El porcentaje de superficie fertilizada con base en recomendaciones técnicas disminuyó un 8% en la zafra 2022-2023, principalmente debido a una reducción del 73% en el ingenio de Pánuco.

El uso de abonos orgánicos se mantuvo sin cambios significativos, con solo el 3% de la superficie del cultivo de caña de azúcar utilizando estos insumos. Menos del 1% de la superficie aplica biofertilizantes, lo que representa una oportunidad para mejorar las prácticas agrícolas en términos de sostenibilidad.

El manejo integrado de plagas es implementado por el 43% de los ingenios. Sin embargo, la superficie atendida con estas prácticas ha disminuido un promedio del 30% desde la zafra 2013-2014.

Los indicadores de superficie atendida con el Programa Campo Limpio y de superficie cosechada en verde mejoraron en la zafra 2022-2023 respecto a la zafra 2013-2014, con incrementos del 14% y 5% respectivamente.

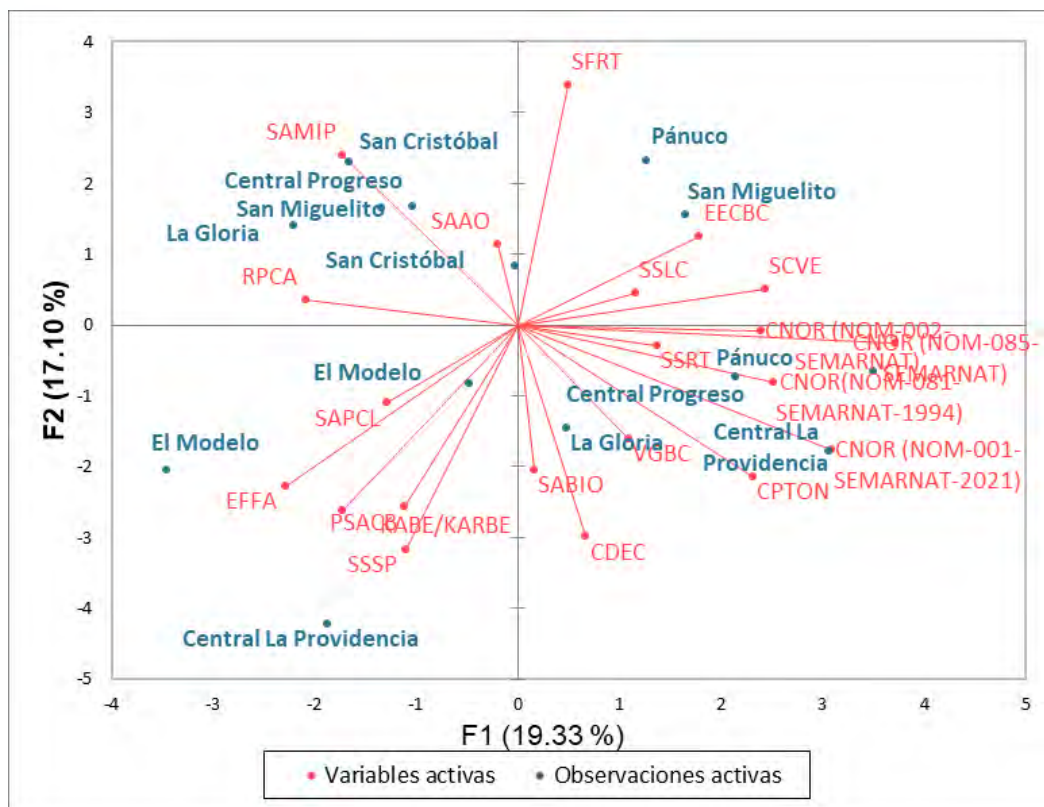


Figura 1. Representación de los indicadores por ingenio. SSLC= Porcentaje de la superficie sembrada con labranza de conservación; SSSP=Porcentaje de la superficie sembrada con el sistema piña; SSRT=Porcentaje de la superficie sembrada con riego tecnificado; SFRT= Porcentaje de la superficie fertilizada con base en recomendaciones técnicas; SAAO= Porcentaje de superficie con aplicación de abonos orgánicos; SABIO= Porcentaje de superficie con aplicación de biofertilizantes; SAMIP= Porcentaje de superficie atendida con manejo integrado de plagas; PSACB= Porcentaje de superficie atendida con control biológico; SAPCL= Porcentaje de superficie atendida con el Programa Campo Limpio; SCVE= Porcentaje de superficie cosechada en verde; RPCA= Rendimiento promedio de caña de azúcar (t/ha); CPTON= Costo de producción por tonelada (\$/t); EFA= Eficiencia en fábrica (%); KABE/KARBE= Relación KABE / KARBE; VGBC=Porcentaje de vapor generado con bagazo de caña; EECBC= Porcentaje de energía eléctrica cogenerada a partir de bagazo de caña; CDEC= Porcentaje de cachaza destinada a la elaboración de composta; CNOR= Cumplimiento de Normatividad.

El rendimiento promedio de caña de azúcar (t/ha) disminuyó 10 t/ha en la zafra 2022-2023 en comparación con la zafra 2013-2014. Los ingenios Pánuco, Central Progreso y San Miguelito experimentaron las mayores disminuciones en rendimiento por hectárea, con 35 ha, 19 ha y 14 ha menos, respectivamente.

El costo de producción por tonelada (\$/t) para la zafra 2022-2023 se incrementó en un 136% respecto a la zafra 2013-2014.

En términos de prácticas sostenibles, el ingenio Central La Providencia presentó aumentos significativos en la superficie de riego tecnificado (12%), la superficie fertilizada con base en recomendaciones técnicas (70%), el manejo integrado de plagas (22%), el Programa Campo Limpio (60%) y la superficie cosechada en verde (9%) respecto a la zafra 2013-2014. Sin embargo, hubo disminuciones del 1% en la labranza de conservación, 4% en el sistema piña y 2% en la aplicación de biofertilizantes.

El ingenio Central Progreso incrementó un 18% la superficie de riego tecnificado y un 2% en manejo de biofertilizantes respecto a la zafra 2013-2014. No obstante, experimentó disminuciones del 28% en labranza de conservación, 30% en fertilización técnica, 11% en uso de abonos orgánicos, 15% en el Programa Campo Limpio y 19% en rendimiento promedio de caña de azúcar.

El ingenio El Modelo no reportó mejoras en ninguno de los indicadores de sostenibilidad entre la zafra 2013-2014 y la zafra 2022-2023, lo que señala un área de oportunidad para mejorar la sostenibilidad del campo cañero en este ingenio.

El ingenio La Gloria presentó incrementos del 1% en riego tecnificado, 24% en control biológico y 2% en aplicación de abonos orgánicos. Sin embargo, disminuyó en manejo integrado de plagas (82%), Programa Campo Limpio (6%) y rendimiento promedio (2%).

El ingenio Pánuco mejoró en un 31% en manejo integrado de plagas, 30% en labranza de conservación y 27% en control biológico respecto a la zafra 2013-2014. Por otro lado, redujo un 72% la fertilización técnica y un 35% en rendimiento.

El ingenio San Cristóbal no reportó mejoras en los indicadores de sostenibilidad, similar a El Modelo. Ambos ingenios tienen un área de oportunidad significativa para mejorar sus prácticas sostenibles.

El ingenio San Miguelito mostró mejoras en la labranza de conservación (41%), aplicación de abonos orgánicos (6%) y Programa Campo Limpio (13%). Sin embargo, su rendimiento promedio disminuyó 14 t/ha.

Los indicadores de fábrica en la zafra 2022-2023 mostraron poca variabilidad respecto a la zafra 2013-2014, con un aumento del 13% en la energía eléctrica cogenerada a partir de bagazo de caña y un 36% en la cachaza destinada a la elaboración de composta

El indicador de cumplimiento de normatividades en los ingenios azucareros es fundamental para evaluar su compromiso con las regulaciones ambientales. Este indicador considera el cumplimiento de cuatro normas:

1. NOM-002-SEMARNAT 1996: establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
2. NOM-085-SEMARNAT-2011: regula los niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
3. NOM-001-SEMARNAT-2021: define los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
4. NOM-081-SEMARNAT-1994: establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

En la zafra 2013-2014, solo el ingenio Pánuco cumplía con dos de estas normas: NOM-002-SEMARNAT 1996 y NOM-085-SEMARNAT-2011. Los demás ingenios de la muestra no cumplían con ninguna de las normas mencionadas.

Sin embargo, para la zafra 2022-2023, se observó una mejora significativa en el cumplimiento de normatividades:

- Ingenio Central La Providencia: cumple con las cuatro normas mencionadas.
- Ingenio La Gloria y Pánuco: cumplen con tres normas: NOM-085-SEMARNAT-2011, NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-081-SEMARNAT-1994.
- Ingenio Central Progreso: cumple con tres normas: NOM-002-SEMARNAT 1996, NOM-085-SEMARNAT-2011 y NOM-001-SEMARNAT-2021.
- Ingenio San Miguelito: cumple con dos normas: NOM-085-SEMARNAT-2011 y NOM-081-SEMARNAT-1994.
- Los ingenios El Modelo y San Cristóbal: solo cumplen con la norma NOM-081-SEMARNAT-1994.

Este análisis revela un progreso en el cumplimiento de las normatividades ambientales por parte de los ingenios azucareros, aunque aún existen áreas de oportunidad para mejorar la sostenibilidad y el cumplimiento regulatorio en algunos ingenios.

Conclusiones

El análisis proporcionó una visión detallada del comportamiento de los indicadores de sustentabilidad, permitiendo identificar avances, tendencias y áreas de mejora en la implementación de prácticas sustentables en estos ingenios. Esto contribuye a una comprensión más profunda del estado actual y los desafíos de la sustentabilidad en la agroindustria cañera de Veracruz.

Los resultados del análisis de los indicadores de sustentabilidad de la agroindustria de la caña de azúcar en el estado de Veracruz muestran avances significativos y áreas de oportunidad. Los consorcios azucareros como La Margarita, Zucarmex y Grupo Azucarero del Trópico destacan en manejo integrado de plagas, aplicación de abonos orgánicos y rendimiento de caña de azúcar. Sin embargo, prácticas sostenibles como la labranza de conservación y el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes tienen una baja adopción general.

En términos de cumplimiento de normatividades ambientales, se observa una mejora notable desde la zafra 2013-2014 a la zafra 2022-2023, con ingenios como Central La Providencia alcanzando el cumplimiento de las cuatro normas principales. A pesar de estos avances, la disminución del rendimiento promedio y el aumento en los costos de producción resaltan la necesidad de continuar mejorando las prácticas agrícolas y el manejo de recursos. Ingenios como El Modelo y San Cristóbal tienen un área significativa de oportunidad para mejorar su sostenibilidad y cumplimiento regulatorio.

El análisis de los indicadores de sustentabilidad en los ingenios cañeros del estado de Veracruz durante el periodo de diez años, desde la zafra 2013-2014 hasta la zafra 2022-2023, revela tanto avances como áreas de oportunidad en la implementación de prácticas sustentables. Aunque ha habido progresos en ciertos indicadores de sustentabilidad, persisten importantes desafíos y oportunidades de mejora en prácticas clave como el uso de biofertilizantes, el manejo integrado de plagas, y la fertilización técnica. La variabilidad en el

desempeño entre los ingenios indica la necesidad de un enfoque más homogéneo y una mayor adopción de prácticas sostenibles para fortalecer la sostenibilidad del sector cañero en Veracruz.

Literatura citada

- Cavazos, R. E., V. Jiménez Z. y G. Santana E. 2018. La innovación como estrategia de sostenibilidad y su relación con el rendimiento de fábrica de la industria azucarera en México. Rev. Fac. Cienc. Econ. Empr. 18(1):33-43.
- Días, B. H., P. C. Sentelhas, G. Inman B. and Y. Everingham. 2021. Sugarcane yield future scenarios in Brazil as projected by the APSIM-Sugar model. Ind. Crop. Prod. 171(1):113918.
- Everingham, Y., G. Inman B., N. Sexton, J. Stokes C. 2015. A Dual Ensemble Agroclimate Modelling Procedure to Assess Climate Change Impacts on Sugarcane Production in Australia. Agric. Sci. 6(8):870-888.
- Linnenluecke, M. K., N. Nucifora and N. Thompson. 2018. Implications of climate change for the sugarcane industry. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change 9:e498.
- Linnenluecke, M. K., C. Zhou, T. Smith, N. Thompson and N. Nucifora. 2019. The impact of climate change on the Australian sugarcane industry. J. Clean. Prod. 246(10):118974.
- Ray, D., J. Gerber, G. MacDonald and P. C. West. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. Nat. Commun. 6:5989.
- Wiedenfeld, R. 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. Agric. Water Manag. 43:173-182.

EL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA: SU IMPACTO COMO POLÍTICA PÚBLICA EN AGROECOSISTEMAS EN CHOCAMÁN, VERACRUZ, MÉXICO

Yamaris Swaby Quao⁵⁰⁰, Arturo Pérez Vázquez^{500*} y Esteban Escamilla Prado⁵⁰¹

Resumen

Las políticas públicas marcaron un hito en la historia del gobierno mexicano. En los sexenios se constatan programas que enarbolan políticas nacionales en pro del desarrollo de la nación. El actual gobierno federal (4T) implementó diversos programas como parte de la Secretaría del Bienestar, uno de ellos el de “Sembrando Vida” (PSV) que inició en el año 2019. Desarrollándose en 21 estados de México, entre ellos el estado de Veracruz, con el fin de enfrentar diversos problemas del campo mexicano, tales como la degradación de los recursos naturales, baja productividad, y falta de mano de obra, aunado a la pobreza en las regiones rurales, de ahí que el objetivo de la investigación fue cuantificar la incidencia del programa sembrando vida en función de la calidad de vida y aspectos ambientales en los agroecosistemas de los sujetos de derecho y sus familias en la comunidad de Tetla, Municipio de Chocamán, Veracruz. Para ello la investigación se realizó en el periodo de enero-abril del 2023. Se utilizó el método de encuesta y la técnica de cuestionario estructurado y entrevista semiestructurada. Se aplicó el cuestionario a un total de 30 productores en las comunidades de Tetla, Puente Nacional y Zongolica; entrevistando a un total de 90 sembradores. El cuestionario estuvo estructurado por los siguientes componentes: 1) perfil del entrevistado, 2) sistema agrícola, 3) prácticas agrícolas, 4) economía local, 5) degradación ambiental, 6) seguridad alimentaria y 7) tejido social. Los datos del cuestionario se capturaron en una base de Excel y se realizaron análisis de estadística descriptiva de la opinión de los productores respecto al PSV. Concluyendo que El programa Sembrando Vida tiene una marcada incidencia en la gestión de la reducción de la pobreza, la equidad de género, la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad en los agroecosistemas, mejora la economía familiar y mayor cohesión social, así como la planificación y distribución de las actividades tanto del campo como del hogar.

Palabras clave: agroecosistemas, sistemas agroforestales, sujetos de derecho

⁵⁰⁰ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. México *Autor por correspondencia: parturo@colpos.mx

⁵⁰¹ Universidad de Chapingo. México

Introducción

Las políticas públicas en los países en desarrollo son de vital importancia, pues son las que se materializan a través de los programas que propician el desarrollo de un país. Marcando la diferencia en cuanto al desarrollo social, aspecto este que ha evolucionado en México desde la Revolución de 1910, en respuesta a las demandas sociales, las nuevas teorías del desarrollo, así como las crisis.

En México, entre 1996 y 2004, se generó desconfianza debido a las políticas públicas seguidas por el país debido a tres factores: el desempeño gubernamental, la corrupción y los resultados de las políticas públicas (Morales, 2015); de la crisis financiera internacional y la reestructuración del estado en conjunto con el modelo económico del país (García *et al.*, 2020). Por ello, diversas instituciones oficiales se dieron a la tarea de articular estrategias para generar desarrollo económico y social de las comunidades rurales del país.

El gobierno es el encargado de planificar y contextualizar las políticas públicas, de ahí que sean las políticas públicas de gran interés y valor en la toma de decisiones y acciones para afrontar los desafíos y suscitar el avance en cuanto a lo social, político, económico de la nación mexicana. Para ello la colaboración y participación activa de y con la ciudadanía son acciones necesarias para la elaboración y ejecución de las políticas públicas.

En México el proceso de las políticas públicas es fundamentales para solventar los disímiles problemas que suscitan y afloran en la sociedad mexicana, tales como la degradación ambiental, la seguridad alimentaria, la educación, la pobreza, la seguridad alimentaria, etc. Con la contextualización de las políticas públicas se han establecido marcos normativos y acciones concretas con los que se han logrado cambiar para bien las comunidades y la calidad de vida de la ciudadanía.

Al llegar a la presidencia de México, AMLO ratificó que su gestión traería consigo un cambio en todas las aristas en el país, que la llamó como “la Cuarta Transformación de la vida pública de México” (4T), proceso en el cual la renovación del país es primordial acabando con la corrupción y la impunidad, austeridad en el ejercicio del presupuesto público, abolición del neoliberalismo y, destacando la prioridad que se le otorgó a la atención de los pobres. En el discurso que pronunció en la toma de posición el 1 de diciembre de 2018, aseveró: “Por el bien

de todos, primero los pobres. Nuestra consigna de siempre es, a partir de hoy, principio de gobierno” (López, 2018).

Las políticas públicas han generado un impacto social, económico, productivo, ambiental significativo. En tal sentido es referente el Programa Sembrando Vida (PSV) con el cual ha sido posible reducir la pobreza, la deforestación, la desigualdad social, la inclusión social, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y la transformación de las comunidades rurales, así como en el fomento y progreso de modos de actuación consientes para un desarrollo sustentable.

En la actualidad, los diferentes programas y los proyectos estratégicos son una alternativa viable para contribuir al desarrollo de las comunidades, al buscar un impacto directo en el desarrollo local, y contribuir al bienestar económico, medio ambiente, desarrollo cultural, mejora educativa, superación de carencias sociales, productividad, mejora laboral, ciencia y tecnología, mejora en salud, todo esto enfocado en el desarrollo rural (Valdenegro y Calderón, 2016; del Cioppo y Bello, 2018).

Vale destacar que las políticas públicas son primordiales para promover el crecimiento social, ambiental y económico. La implementación de los proyectos y/o programas son importantes para promover la innovación, el rescate de las prácticas ancestrales, la competitividad, la soberanía alimentaria, generación de empleo y fortaleciendo los sectores productivos del país. Con la implementación del PSV muestra la efectividad y la armonía entre el equipo gestor del programa, técnicos y extensionistas, los investigadores y los sujetos de derecho, quienes han participado mancomunadamente en las capacitaciones y la contextualización de las prácticas agroecológicas, convirtiéndose todos en hacedores de un programa que logró transformar el campo mexicano, la familia, el rol de la mujer rural agrícola y la población rural en general.

Corroborando que las políticas públicas gestadas con la óptica del PSV son esenciales en el desarrollo y mejora de México, por ser contentiva de objetivos que responden a los problemas de la sociedad, dando solución a problemas históricos y propiciando el crecimiento tanto en lo personal como en lo profesional, la inclusión de hombres y mujeres de todas las edades con igualdad de derechos, reconocimiento de la mujer rural agrícola y mejor calidad de vida. Lo cual responde a una renovadora política agrícola y estrategia que busca transformar el sector agropecuario incorporando prácticas con una mirada y corte ambientalista.

En este sentido la amplia generación de conocimiento científico en las ciencias agropecuarias, destaca el concepto de agroecosistema (AES) tanto en el ámbito académico como en la agroecología que es “la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el manejo y diseño de agroecosistemas sostenibles” (Gliessman, 1998). Es decir, el concepto de agroecosistema que no solo es una palabra compuesta, sino que tiene toda una carga ideológica de una forma distinta de mirar y concebir la agricultura como sistema, y como modelo de la realidad en donde prevalecen características esenciales de los ecosistemas y que tiene una función de satisfacer las necesidades alimentarias y de otro tipo de satisfactores para la sociedad bajo un esquema de sustentabilidad.

Desde mediados del siglo XX se visibilizó el aumento en la aplicación de la ecología en la agricultura, favoreciendo las investigaciones en los sistemas agropecuarios y forestales y aunque los primeros acercamientos tuvieron una mirada en el componente agrícola y el productor. Sin embargo, el concepto evolucionó con la incorporación de aspectos biológicos, ambientales, sociales, tecnológicos, epistemológicos, económicos (Casanova *et al.*, 2016). Por lo que se considera que el concepto es un constructo mental, o una abstracción de la realidad a través del cual se puede analizar y estudiar los componentes, variables, procesos y fines de una realidad determinada perteneciente al agro en toda su extensión y modalidades.

A continuación, se señalan algunas definiciones recientes del concepto de agroecosistema: Odum (1969) señalaba desde una visión ecológica que es un ecosistema domesticado, intermedio entre ecosistema natural y fabricado; en un sentido más economicista, Jansen (1974) indicaba que era un sistema agrícola con propiedades de los ecosistemas que responden a las necesidades del mercado. En el año 1977, Hernández señalaba que es un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola. Así, y sin dejar la connotación de ecosistema, Conway (1985), señalaba que son ecosistemas transformados en agroecosistemas con el propósito de la producción de alimentos y fibra. Una definición más adecuada como ente de estudio y de la práctica misma, Ruiz (2021) indica que es una unidad de estudio y práctica de la actividad agrícola, en sentido amplio, bajo un enfoque agroecológico y sistémico, siendo el lugar donde interactúan los factores tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores del ser humano, a través del tiempo.

En un sentido de sistema cibernético, Martínez (2018) establece que es un modelo conceptual de la actividad agrícola en su nivel mínimo de control humano (cibernauta), considerado como unidad óptima para el estudio de la agricultura y para su propia transformación; y está integrado a un sistema agrícola y rural regional mediante cadenas de producción- consumo, con interferencias de política y cultura de instituciones públicas y privadas. Finalmente, se señala desde un enfoque sistémico, que el agroecosistema puede definirse como un modelo o abstracción del fenómeno de la agricultura (actividad agrícola, pecuaria, forestal, acuícola o sus combinaciones) donde inciden factores económicos, sociales y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda (Pérez y Leyva, 2019). Las definiciones citadas, aun cuando tratan de la representación de la realidad no reflejan, la realidad misma considerando que el ecosistema y el agroecosistema son abstracciones de la realidad y que es meramente un modelo eminentemente conceptual para representar esa realidad y eventualmente para estudiarla.

De ahí que la investigación se planteó como objetivo cuantificar la incidencia del programa sembrando vida en función de la calidad de vida y aspectos ambientales en los agroecosistemas de los sujetos de derecho y sus familias en la comunidad de Tetla, Municipio de Chocamán, Veracruz.

Es importante reconocer que México le confiere gran atención a mitigar el cambio climático, de ahí que cuenta con un robusto marco normativo, siendo en el 2012 el primer país en desarrollo en contar con una Ley General de Cambio Climático, publicada el 06 de junio de 2012.

Teniendo en cuenta los aspectos prioritarios del IPCC, la vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad depende de tres dimensiones:

(a) la intensidad de los impactos, (b) la sensibilidad del rubro o agroecosistema que se considere y (c) la capacidad adaptativa a esos cambios. En consecuencia, comprender las vulnerabilidades para poder gestionar racionalmente el aumento de los riesgos climáticos implica comprender las tres dimensiones. La capacidad adaptativa comprende, tanto los ecosistemas como los sistemas humanos.

Este programa, busca contribuir al bienestar social y se rige mediante el impulso de lograr la autosuficiencia alimentaria. Para ello se desarrollan acciones para lograr el vínculo social y recuperar la integración del ambiente, por medio de parcelas con sistemas productivos

forestales y agroforestales. Los principales objetivos son disminuir la pobreza rural, así como la degradación ambiental (Secretaría del Bienestar, 2022).

Con la puesta en práctica del PSV se contextualizó una opción para la adaptación al cambio climático. Uno de ellos es el MIAF, aun cuando no se cuenta con una evaluación integral desde la dimensión ambiental, la económica y la social los beneficios son perceptibles, lo que indica la necesidad de un estudio integral en el que se cuantifique y explique la disponibilidad, acceso, calidad, comercialización, de las producciones, el estado de los recursos naturales y las transformaciones de las comunidades y de la población rural, así como la participación de mujer en cada uno de los procesos. Este es un programa que ha trascendido las fronteras y hoy día se aplica en Guatemala, Salvador y Cuba, recientemente.

Materiales y métodos

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el periodo de enero-abril del 2023. Se utilizó el método de encuesta y la técnica de cuestionario estructurado y entrevista semiestructurada. Se aplicó el cuestionario a un total de 30 productores en las comunidades de Tetla, Puente Nacional y Zongolica; entrevistando a un total de 90 sembradores. El cuestionario estuvo estructurado por los siguientes componentes: 1) perfil del entrevistado, 2) sistema agrícola, 3) prácticas agrícolas, 4) economía local, 5) degradación ambiental, 6) seguridad alimentaria y 7) tejido social. Los datos del cuestionario se capturaron en una base de Excel y se realizaron análisis de estadística descriptiva de la opinión de los productores respecto al PSV.

Se empleó el procesador de dato Microsoft Excel bajo el sistema operativo Windows 10.

Resultados y discusión

Los resultados se presentan por cada uno de los componentes que conformaron el cuestionario que se aplicó a 90 productores de las comunidades de Tetla, Puente Nacional y Zongolica.

Perfil de los productores

Estos están organizados en dos Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC), Tetla 1 y Tetla 2. La edad promedio de los productores fue de 59 años (mínima 15 y máxima 64 años). Esto evidencia que los sujetos de derecho son personas mayores con experiencia en el cultivo del café, maíz y frijol en el 91% de los entrevistados. Respecto a la escolaridad, el 63% posee educación primaria, el 17% secundaria y el 20% no estudió. El 93% de los sujetos de derecho ingresó al PSV en el año 2019, el 3% en el 2020 y 2021. Llama la atención que solo el 17% son mujeres participantes como propietarias de sus tierras en el PSV y el 83% son hombres. Esto contrasta con el 15% de participación de la mujer en el panorama nacional (SADER, 2019). Respecto al estado civil, el 40% tiene un estatus de unión libre, el 37% casado, el 13% soltero, el 7% viudo y el 3% divorciado.

Sistema agrícola

A través del incentivo a los sembradores a establecer sistemas forestales y el sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF), lo cual constituye una fuente generadora de empleo, de autosuficiencia alimentaria, de ingresos y de recuperación de la cobertura forestal de un millón de hectáreas en el país (DOF, 2022).

Prácticas agrícolas

La aplicación de productos químicos para el control de plagas y enfermedades es aplicada por el 6.66% de los sujetos de derecho. La recuperación de la biodiversidad constituye un aspecto de gran importancia en el programa y para los productores. Por ello, ejecutan prácticas que favorecen la misma, tales como la siembra entre los surcos de los árboles, del sistema MIAF (Milpa intercalada con árboles frutales). Esto favorece la alimentación y la obtención de beneficios económicos del productor. Los cultivos que siembran son: maíz, café, frijol, calabaza, chile, entre otros, posibilitando mayor cobertura vegetal y por ende la protección del suelo. Otra de las prácticas que aplican es la siembra siguiendo las curvas de nivel y barreras vivas y muertas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prácticas agrícolas en la comunidad de Tetla.

Tipo de fertilización		Control de plagas y enfermedades	Control de arvenses	Frecuencia de poda	Aplicación de composta
orgánica	química				
94%	6%	Bioproductos elaborados con plantas	Manual 100%	2 veces al año	94%

Economía agrícola

Los ingresos antes y después del PSV evidencian una mejora del ingreso debido al programa, directamente con el apoyo económico de \$6,250 mensual y con la comercialización de sus productos agropecuarios. El 100% reconoce una mejora de su economía en cuanto a ingresos, mejora de la infraestructura de su casa, acceso a servicios de educación y salud, pago de jornales y ahorrar. El apoyo que reciben del PSV lo utilizan para la compra de plantas, abonos y alimentos, siembra, pago de jornales y para la mejora de su vivienda. Respecto al trabajo extra-finca, el 33% se dedica a actividades de albañilería, jornalero y venta de productos. El 13% recibe otro tipo de apoyo gubernamental (65 y más, becas de estudios para los hijos e hijas) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Economía agrícola en la comunidad de Tetla.

Ingresos		Mejoras en Infraestructura de la casa	Acceso a servicios (educación y salud)	Pago de jornales	Mejora de vivienda	Trabajo extra finca	Apoyo gubernamental
PSV	Mejoras						
100%	100%	100%	100%	100%	100%	33%	13%

Degradación ambiental

En este particular el 67% de los sembradores expresaron que existía una alta degradación ambiental que se ha mitigado con la puesta en práctica del programa sembrando vida el 100% de los sujetos de derechos reconocen que las buenas prácticas mitigaron la degradación, con la implementación de las prácticas agroecológicas, el empleo de productos orgánicos por el

100% de los sembradores para el control de plagas, enfermedades, las atenciones culturales son de forma manual en el 100% de los agroecosistemas de los sujetos de derecho. El 100% de los sembradores expresaron que no tienen inseguridad alimentaria y el 91% considera que la aparición del minador de la hoja y el barrenador en el cultivo del café es una muestra de la degradación ambiental (Cuadro 3).

Cuadro 3. Degradación ambiental en Tetla.

Degradación ambiental	Mitigación de la degradación ambiental con el PSV	Aplicación de productos orgánicos	Atenciones culturales	Seguridad alimentaria	Aparición de nuevas plagas y enfermedades
67%	100%	100%	100% manual	100%	91%

Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria fue otro aspecto incluido en el cuestionario. Al respecto, el 57% los productores informaron que están de acuerdo con que tienen mayor disponibilidad de alimentos durante todo el año y el 43% está totalmente de acuerdo, el 63% está de acuerdo con que tienen mayor acceso y el 37% totalmente de acuerdo, el 3% está en desacuerdo con que le permite utilizar más alimentos de los que produce durante todo el año para su alimentación, el 3% no está de acuerdo ni en desacuerdo, el 57% está de acuerdo y el 30% está totalmente de acuerdo, respecto a la estabilidad de alimentos durante todo el año el 3% está en desacuerdo, el 57% de acuerdo y el 40% totalmente de acuerdo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Seguridad alimentaria en la comunidad de Tetla.

Disponibilidad de alimentos	Acceso a los alimentos	Utilización de los alimentos	Estabilidad de los alimentos
57% A 43%TA	37% TA 63% A	57% A 37% TA 3% DSA 3% NI A ni DSA	57% A 40% TA 3% DSA

Cohesión social

En cuanto a la equidad de género se reconoce que, con el PSV, se tiene una mayor participación del 100% de la mujer en las diferentes actividades del programa, aunado a las tareas del hogar y labores de traspatisos. El 100% de los hombres entrevistados comparten las actividades del hogar y de traspatio con sus parejas. El 100% de las mujeres participan en el manejo de los cultivos desde la siembra o plantación, cosecha y en 93% en la elaboración de conservas y comercialización mientras que solo el 27% de los hombres realizan la transformación de la materia prima y la comercializa. El 100% de las mujeres tiene mercado en la comunidad y municipios aledaños, en la venta de materia prima y/o conservas, mientras que el 87% de los hombres realiza esta actividad (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cohesión social en la comunidad de Tetla.

Participación de las mujeres act. PSV	Participación de los hombres en las actividades del hogar y traspatio	Participación de las mujeres en el manejo del cultivo	Elaboración de conserva y comercialización	Comercialización en la comunidad y municipios aledaños
100%	100%	100%	100% de las mujeres 27% de los hombres	100% de las mujeres 87% de los hombres

Dimensión ambiental

Es importante destacar que entre cada una de las parcelas existen marcadas diferencias en cuanto a la altitud y el tipo de suelo. Referente a la agrobiodiversidad de los agroecosistemas se constató 44 especies de plantas, entre frutales, maderables, granos y tubérculos, permitiéndoles a los productores contar con amplia diversidad de productos para su autoabastecimiento y la comercialización durante todo el año. De ahí que entre los propósitos del programa se incluye el acceso a recursos para la producción de alimentos en aquellas zonas del país en donde prevalecen condiciones de marginación. El 63% de los productores están totalmente de acuerdo con que ha mejorado sustantivamente la conservación del suelo y el 37% está de acuerdo con la conservación de la fauna; el 58% está totalmente de acuerdo

con la mitigación del cambio climático; el 38% está de acuerdo y el 67% está totalmente de acuerdo en que favorece a reducir la deforestación; y el 33% está de acuerdo con la conservación del agua. Es importante destacar que el PSV constituye una herramienta que posibilita reducir la vulnerabilidad, la inseguridad alimentaria, la degradación de los suelos, las brechas de desigualdad de géneros y la pobreza (Cuadro 6).

Cuadro 6. Dimensión ambiental en Tetla.

Agrobiodiversidad	Conservación de suelo	Conservación de la fauna	Mitigación al Cambio climático	Reducción de la reforestación	Conservación del agua
44 especies de plantas	63%TD 37% A	27% A 73% TA	58% TA 42% A	38% A 67% TD	33% A 67% TA

El programa busca incorporar el componente productivo y ambiental al introducir sistemas agroforestales; el sistema agroforestal combina la producción de cultivos con árboles maderables y frutales (Oviedo, 2019), así como el MIAF lo cual favorece la disminución de los riesgos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático, dado a que propicia diversificar la producción, la dieta, mayor aprovechamiento del área cultivable, menor dependencia de productos externos, favorece la regulación de ciclos de nutrientes, la conservación del recurso natural suelo y las fuentes de agua, así como la captura de carbono atmosférico en biomasa y suelos, demostrando los beneficios socioambientales y mayor interacción y transformación sociocultural en las comunidades y entre e intra familiar.

Conclusiones

El programa Sembrando Vida tiene una marcada incidencia en la gestión de la reducción de la pobreza, la equidad de género, la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad en los agroecosistemas, mejora la economía familiar y mayor cohesión social, así como la planificación y distribución de las actividades tanto del campo como del hogar.

Literatura citada

- Casanova, L., J. Martínez, S. López y G. López. 2016. De Von Bertalanffy a Luhmann: Deconstrucción del concepto agroecosistema a través de las generaciones sistémicas. *Revista del Magíster en Análisis Sistémico Aplicado a la Sociedad* (35): 60-74.
- Conway, G. R. 1985. Agroecosystem Analysis Agr. Admin. 20(1):31-55.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. ACUERDO por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2023. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5676230&fecha=30/12/2022#gsc.tab=0 [consultado el 03 de agosto 2023].
- García, J. R., L. A. Aldape B. y F. A. Esquivel. 2020. Perspectivas del desarrollo social y rural en México. *Rev. Cienc. Soc.* 26(3):45-55.
- Gliessman, S. R. 1998. Agroecology in the tropics: Achieving a balance between land use and preservation. *Environ. Manag.* 16:681-689.
- López, O. A. M. 2018. "Discurso de toma de protesta como presidente de México". Disponible en <https://embamex.sre.gob.mx/sudafrica/index.php/discurso-integro-de-andres-manuel-lopez-obrador-al-rendir-protesta-como-presidente> [consultado el 1 de julio de 2022].
- Martínez, D. J. P. y L. Casanova P. 2018. Epistemic and conceptual orphanhood in the sustainability of agroecosystems. *Sustain. Agric.* 1(1):1-16.
- Morales, M. A. 2015. ¿Es posible reducir la desconfianza política en México? El caso mexicano (1996-2004). *Rev. Mex. Opin. Púb.* 1(18):53-68.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164(3877):262-270.

Pérez, V. A. y D. A. Leyva T. 2019. Análisis comparativo de los principales enfoques de investigación de los sistemas agrícolas. *Agroproductividad* 12(6): 31-36.

Secretaría de Bienestar. 2022. Programas prioritarios de la secretaria de bienestar. Recuperado de <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/mas-presupuesto-social-en-2022-continuaran-programas-de-bienestaren-todo-el-pais-javier-may-89247?idiom=es> [consultado el 1 de julio de 2022].

Valdenegro, B. y C. Calderón F. 2016. Alteridad, infancia y delincuencia: Análisis discursivo desde programas sociales hacia infancias en Chile. *Rev. Latinoam. Cienc. Soc.* 14(2):1191-1204.

EL SELLO DE BIODIVERSIDAD COMO INCENTIVO PARA PROTEGER A LOS AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS EN VERACRUZ

Jazmín Cobos Silva^{502*}, José Luis Ramírez Morales⁵⁰² y Cercia Yazmín Cortés de la Luz⁵⁰²

Resumen

Los agroecosistemas cafetaleros, por su extensión, son uno de los cuatro sistemas agroforestales más importantes en el estado de Veracruz, con aproximadamente 142,951 ha sembradas. Durante los últimos años, se ha propiciado un incremento en el cambio de uso de suelo que ha transformado las fincas cafetaleras en suelo urbano. La superficie de los cafetales se redujo de forma considerable en tan sólo 13 años, al igual que el bosque mesófilo de montaña, lo que dio paso a la extensión de la mancha urbana. En este sentido, el Sello de Biodiversidad (SdB) es una iniciativa creada por Pronatura Veracruz con el objetivo de proteger la biodiversidad, conservar la conectividad del paisaje, mantener los servicios ambientales e incentivar a los productores a conservar los cafetales bajo sombra. El SdB se basa en la certificación de las fincas como Áreas Privadas de Conservación (APC) o Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) en Veracruz, México. Pronatura funge como gestor ante instancias estatales o federales, según corresponda. La obtención del SdB implica la evaluación de la finca con base en los siguientes criterios: porcentaje de sombra, uso de especies nativas, presencia de epífitas, cobertura del suelo, entre otros elementos. En total se han evaluado 49 fincas, las cuales cumplen con los criterios establecidos para otorgar el SdB, y representan un total de 318.31 ha distribuidas en 13 municipios. Con este distintivo, se ha promovido el buen manejo en los agroecosistemas cafetaleros para mantener parte de su composición, estructura arbórea y por consiguiente los servicios ambientales que proporcionan, como captura de CO₂, agua, suelos y hospedaje de animales y plantas silvestres. Además, se ha logrado mejorar las condiciones económicas de los productores y sus familias, ya que el sello busca insertarlos en mercados sostenibles, en donde el consumidor paga un sobreprecio por el producto.

Palabras clave: mercados justos, conservación de la biodiversidad, valor agregado

⁵⁰² Pronatura Veracruz A. C. *Autor de correspondencia: [jacobos@pronaturaveracruz.org](mailto:jcobos@pronaturaveracruz.org)

PRÁCTICAS SUSTENTABLES EN PARCELAS CON MANEJO AGROECOLÓGICO: EFECTO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO

Karen Romero Cózar⁵⁰³, Salvador Partida Sedas^{504*} y Octavio Ruiz Rosado⁵⁰⁴

Resumen

El manejo agroecológico del suelo emerge como un enfoque agrícola sostenible que impacta positivamente en la salud y productividad de los agroecosistemas; está basado en prácticas que promueven la rotación de cultivos, uso de coberturas, siembra en curvas de nivel e incremento en la biodiversidad de la macro y meso-fauna edáfica. Este planteamiento busca mejorar la calidad del suelo y su conservación a largo plazo y, cuando estas prácticas son adoptadas sistemáticamente, regulan el pH del suelo, incrementan el contenido de materia orgánica, mejoran la estructura del suelo y promueven la actividad microbiológica, resultando en una mejor salud y fertilidad del suelo, mayor retención de agua y prevención de la erosión, además de reducir su contaminación al minimizar el uso de productos químicos sintéticos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar parámetros físicos y químicos del suelo en agroecosistemas de la zona de las altas montañas del estado de Veracruz para comparar diferentes tipos de manejo. Se evaluaron cuatro parcelas bajo manejo agroecológico: S1-Huerto biointensivo, S2-Producción de chayote, S3-Producción de café con media sombra y, S4-Producción de zarzamora con manejo orgánico; comparándolas con tres parcelas adyacentes al sitio de estudio: P1-Caña con uso de agroquímicos, P2-Pastizal de bovinos con uso de agroquímicos, P3-Pastizal de bovinos sin uso de agroquímicos. Las muestras de suelo se tomaron en el perfil de 0 a 20 centímetros de profundidad durante el mes de agosto de 2023. Se evaluó pH, materia orgánica (MO), densidad aparente (DA), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (N), fósforo total (P) y potasio total (K) siguiendo la metodología establecida en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los análisis de las muestras de suelo se realizaron en el Laboratorio de Agua-Planta y Suelo del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados. Los resultados indican que las parcelas con manejo agroecológico presentan valores de pH por arriba de 5.85 (mayor que las parcelas P1, P2, P3), MO superior al 10.2% (mucho mayor que las parcelas de referencia), DA debajo de 0.90 g/cm³, CIC superior a 28.16. Se concluye, de acuerdo con la interpretación de los valores que se indican en la Norma, que las parcelas S1, S2, S3 y S4 presentan mejores atributos de calidad que las parcelas de referencia, solo en el caso de N, P y K se obtuvieron resultados similares.

Palabras clave: indicadores, prácticas agrícolas, edafología

⁵⁰³ Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.

⁵⁰⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: salvador.sedas@colpos.mx

PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN SELVA BAJA CADUCIFOLIA

Luis Jesús Pasqualli García^{505*}, Pablo Castañeda de la Cruz⁵⁰⁵, Juan Manuel Pichardo Ocampo⁵⁰⁵
y José Luis Arispe Vázquez⁵⁰⁶

Resumen

Los sistemas de producción animal en el trópico se basan en el uso de gramíneas forrajeras. Estas se caracterizan por su bajo valor nutritivo y disponibilidad irregular. El uso y adaptación de prácticas agrícolas que consideran los árboles y arbustos para la producción animal, son capaces de incrementar la producción y calidad de los forrajes; disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, incrementan la biodiversidad, favorecen las fuentes de agua y mejoran las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos. La Unidad de Producción (UP) se ubica en el Municipio de Cocula, Gro. a una altitud de 780 m. El clima es Aw0(w) con 1,000 mm de precipitación media anual. El ecosistema corresponde a una selva baja tropical caducifolia. Se aprovechan los árboles, arbustos, hierbas y pastos nativos; también se cuenta con una pradera de media ha de pastos mejorados, como banco de biomasa. La UP está conformada por 23.5 ha de terreno de lomerío, 10 bovinos encastados de suizo. El empadre es continuo con semental. Se cuenta con 2 áreas de pastoreo. La suplementación de minerales es todo el año, la proteica y energética de noviembre a mayo. Los animales se concentran solo en un lote. No se ordeña, se destetan los becerros a los 6 meses. Se efectuó un control biológico de parásitos. Se realizó un análisis de estadística descriptiva y un andeva. El predio ha pasado de una vegetación secundaria, a una primaria, original más densa y variada. No se han observado en los 23 años parásitos externos. Se hacen muestreos de parásitos internos. Con las 23.5 ha, es posible mantener alrededor de 18 animales con un peso promedio de 250 kg, lo que corresponde a 8.97 UAA. con un promedio de 2.6 ha/UAA. y condición corporal de 3. Los días a primera gestación, los días abiertos y el peso al destete se han mejorado sustancialmente y se pueden seguir mejorando.

Palabras clave: sustentable, selva baja caducifolia, sistema silvopastoril

⁵⁰⁵ Docente de la DGETAyCM. *Autor de correspondencia: luisjesuspasqualli@gmail.com

⁵⁰⁶ Investigador de INIFAP.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES PRODUCTIVOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS ENTRE AGROECOSISTEMAS ORGÁNICO Y CONVENCIONAL DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)

Elizabeth Argüello García⁵⁰⁷, Estrella Yamilet Paredes Caval⁵⁰⁷, Yolai Noda Leyva⁵⁰⁷,
Silvia Nelly Almaguer Hidalgo⁵⁰⁷ y Jorge Luis Salomón Díaz⁵⁰⁷

Resumen

La producción mundial de cítricos está acompañada de grandes inversiones de productos inorgánicos, con consecuencias negativas sobre los agroecosistemas citrícolas y la salud de las personas. Veracruz, México es el principal productor de cítricos bajo el sistema de producción convencional; la producción a base de fertilizantes y plaguicidas inorgánicos es un peligro real, esto requiere de la concientización sobre sus efectos negativos. Como contraparte, un grupo de productores han elegido la producción orgánica de cítricos, aunque la proporción aún es pequeña. El objetivo de la investigación fue comparar los sistemas de producción orgánico y convencional de limón persa en términos de productividad, impacto social y rentabilidad económica, en localidades del estado de Veracruz; se realizaron entrevistas a 10 productores, convencionales y orgánicos (50%, n=5 para cada uno), identificados en los agroecosistemas (AES); se utilizó la encuesta como método de investigación para recopilar la información en un cuestionario. Los datos fueron procesados a partir de estadísticas descriptivas mediante el uso de frecuencias absolutas y relativas, para las variables edad y rendimiento; se aplicó un análisis de inferencia para dos muestras independientes a partir de una prueba t, con nivel de significación de 0.05. Se utilizó el programa Office Excel V.11 y el paquete estadístico SPSS versión 27. Los resultados indicaron que no hay diferencias entre las medias de la edad que presentan los productores en cada AES; la edad osciló entre 51 y 55 años con un nivel educacional heterogéneo. El 60% de los agricultores convencionales están dispuestos a cambiar su manejo de cultivo siempre que se demuestre que el orgánico es rentable. El rendimiento no fue significativo al comparar los sistemas de manejo, obteniéndose 22,060 y 35,720 kg/ha, para los AES convencional y orgánico, respectivamente. Todas las fincas lograron una relación beneficio/costo superior a 1; algunas alcanzaron un B/C alto, mientras que "La Javilla" y la finca de Maximino obtuvieron 1.9 y 2.61. Ambas fueron rentables, destacando la diversidad en la eficiencia económica. Estos resultados sugieren que el manejo orgánico de limón persa puede ser una opción viable y eficiente para los productores interesados en adoptar prácticas sostenibles.

Palabras clave: citricultura, limón persa, sistemas de producción, agroecosistema, sostenibilidad

⁵⁰⁷ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. México.

INDUCCIÓN DE PLBs BAJO DOS ESPECTROS DE ILUMINACIÓN EN *Prosthechea fragans* (Sw.) W.E. Higgins (ORCHIDACEAE)

Brandon Giovanni Cervantes Rodríguez⁵⁰⁸ y Lourdes Georgina Iglesias Andreu^{508*}

Resumen

Las plantas del género *Prosthechea* y en particular las de la especie *Prosthechea fragans* (Sw.) W.E. Higgins, tienen una gran importancia ornamental lo cual ha conllevado a la extracción ilegal de sus valiosos ejemplares en su hábitat natural. En México esta especie se encuentra bajo protección a través de la Convención CITES (Apéndice II) por lo que se requiere emprender acciones efectivas para contribuir a su propagación y conservación. Se propone establecer las bases para la propagación clonal *in vitro*, de nuevos materiales genéticos promisorios de esta especie mediante la formación de cuerpos similares a protocormos (PLBs, Protocorm Like Bodies). Se desarrolló un protocolo para la inducción de PLBs en esta especie. Para ello se emplearon protocormos de 3 meses de edad de *P. fragans*, inoculándolos en medio Murashige y Skoog (MS) (1962), adicionado con 500 mg/L de Caseína Hidrolizada (CH) y diversas concentraciones (0, 0.25, 0.40, 0.50, 0.60, 0.75 mg/L) de Zeatina (Z) como regulador de crecimiento vegetal. Los cultivos se expusieron a dos condiciones lumínicas: luz fluorescente y luz LED roja. Se constató la formación de un total de 101 ± 0.37 de PLBs posterior a 7 semanas de cultivo *in vitro*, bajo condiciones de iluminación de luz LED roja. La concentración de 0.50 mg/L de Zeatina resultó la óptima para la inducción de PLBs. Este es el primer reporte de inducción de PLBs en *P. fragans*, mediante el uso combinado de Zeatina y luz LED roja.

Palabras clave: protocormos, luz led roja, *in vitro*, orquídeas

⁵⁰⁸ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Universidad Veracruzana, Avenida de Las Culturas Veracruzanas 101, Xalapa CP 91090, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: liglesias@uv.mx

***Lasiodiplodia* sp: CAUSANTE DE LA MANCHA FOLIAR EN *Aloe vera* (L) Burm, f**

Gilda Fabiola Ruiz Hernández⁵⁰⁹, María de Jesús Yáñez Morales⁵¹⁰, Galdy Hernández Zárte^{509*}, Francisco Osorio Acosta⁵⁰⁹ y Rosa Isela Castillo Zamudio⁵⁰⁹

Resumen

Aloe vera (L.) Burm. f., conocida comúnmente como sábila, es una planta de importancia económica a nivel mundial por sus múltiples usos en la industria farmacéutica, cosmética, de higiene y alimenticia. México destaca como uno de los principales productores en el mundo. Sin embargo, al igual que otras plantas, *A. vera* es susceptible a patógenos fúngicos que causan numerosas enfermedades. Dentro de este contexto, el objetivo del estudio fue identificar hongos fitopatógenos presentes en el cultivo de sábila ubicado en Puente Nacional, Veracruz, México, por taxonomía y pruebas moleculares. En campo se seleccionaron muestras de plantas con dos síntomas predominantes: secamiento del ápice y mancha foliar. A partir de la siembra de tejido sintomático se logró aislar 17 cepas fúngicas que fueron purificadas utilizando la metodología de cultivos monospóricos. Se realizaron pruebas de patogenicidad (10 repeticiones) en hojas sanas de plantas de *A. vera* de 6 meses de edad, colocando trozos de agar micelial de cada aislado. Además, se incluyeron plantas testigo (sin inocular). Para la caracterización molecular se realizó la extracción de ADN por la técnica CTAB (2%) y la amplificación por PCR de la región ITS, β -tubulina y TEF1- α . La identificación morfológica evidenció la presencia de los géneros *Curvularia*, *Exserohilum*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Lasiodiplodia* y *Torula* que han sido reportados alrededor del mundo como causantes de diversas enfermedades en varios cultivos. Todas las muestras inoculadas con el aislamiento No. 15 desarrollaron síntomas de manchas foliares similares a los observados en campo, cumpliendo satisfactoriamente los postulados de Koch. El análisis morfológico y de las secuencias permitió identificar a *Lasiodiplodia* sp. como el patógeno causante de la mancha foliar en plantas de *A. vera*.

Palabras clave: sábila, PCR, ITS, β -tubulina, TEF1- α

⁵⁰⁹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales (AEST). *Autor de correspondencia: hernandez.galdy@colpos.mx

⁵¹⁰ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

CLOROFILAS EN PLÁNTULAS DE *Coffea arabica* L. EN FUNCIÓN DE LA BIOESTIMULACIÓN RADICAL Y RADIACIÓN SOLAR

Jesús Mao Aguilar Luna^{511*}, Ernesto Díaz López⁵¹², Ana Lucía García Díaz⁵¹¹
y Rodolfo Hernández Ángel⁵¹¹

Resumen

Concentraciones adecuadas de clorofilas en plántulas de cafeto son fundamentales para reducir los efectos estresantes después del trasplante, para mantener una tasa de crecimiento constante y disminuir la mortalidad en campo. El objetivo fue evaluar el efecto interactivo de la bioestimulación radical y la radiación solar, en la concentración de clorofilas, en plantas jóvenes de cafeto en etapa de vivero. El experimento, con 270 días de duración, se realizó en un invernadero en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Las semillas se obtuvieron de la región cafetalera de Huitzilán de Serdán. El diseño factorial fue en bloques al azar; donde el factor 1 (bioestimulantes: testigo, micorrizas vesículo arbuscular, algas marinas y polímeros orgánicos), el factor 2 (radiación solar: 81, 168, 278 y 440 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$) y el factor 3 (variedades: Costa Rica 95, Marsellesa, Caturra Roja y Garnica). La concentración de pigmentos (clorofila a, b y total), se determinó por espectrofotometría. A los datos se les realizó ANOVA para detectar diferencias entre tratamientos y se procesaron con Rstudio. Entre bioestimulantes, niveles de radiación y variedades, presentaron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) porque los tres factores fueron determinantes en la concentración de clorofila en hojas. El valor más alto en CHLa (2.05 mg/g peso de materia fresca), fue en la variedad Marsellesa cuando se aplicó como bioestimulante edáfico los polímeros orgánicos y las plántulas estuvieron sometidas a una intensidad de radiación solar alta ($440 \pm 59 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$). La más alta CHLb (1.08 mg/g peso de materia fresca) se obtuvo en la variedad Costa Rica 95, con la aplicación de polímeros orgánicos y una intensidad de radiación alta ($440 \pm 59 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$). Mientras que la CHLt (3.08 mg/g peso de materia fresca) fue mayor en las variedades Costa Rica 95 y Marsellesa, con la aplicación de polímeros orgánicos y una intensidad de radiación alta ($440 \pm 59 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$). La bioestimulación radical con polímeros orgánicos y una alta intensidad de radiación solar, en plántulas, mejoró el contenido de CHLt hasta 1.6 veces respecto del testigo.

Palabras clave: algas marinas, micorrizas, polímeros orgánicos

⁵¹¹ Ingeniería Agroforestal, BUAP. *Autor de correspondencia: mao.aguilar@correo.buap.mx

⁵¹² Complejo Regional Centro, BUAP.

SELECCIÓN DE ACARICIDAS PARA EL CONTROL DE ÁCAROS PLAGA EN AGROECOSISTEMAS PAPAYEROS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Martha Escarlet Beristain Moreno^{513*}, Juan Antonio Villanueva Jiménez⁵¹³, Francisco Osorio Acosta⁵¹³ y Gabriel Otero Colina⁵¹⁴

Resumen

En México, la papaya (*Carica papaya* L.) es un fruto de exportación a diferentes países. Las condiciones climáticas del estado de Veracruz favorecen la productividad, lo que beneficia la economía de los productores. Sin embargo, la presencia de altas poblaciones de ácaros fitófagos dificulta la producción y calidad del fruto, lo que impide su exportación. El principal método de control utilizado han sido los acaricidas sintéticos. El presente estudio buscó conocer los factores que influyen en la selección de plaguicidas para el control de ácaros fitófagos en agroecosistemas papayeros. Se realizaron encuestas estructuradas y observaciones directas en las parcelas de productores en el municipio de Cotaxtla, Veracruz; se obtuvo información relacionada con la compra, aplicación y consecuencias del uso de insumos químicos para el control de ácaros plaga. Los datos de los productores entrevistados se colocaron en tres grupos (subsistencia, transición y empresariales), de acuerdo con el sistema de producción que manejan, con el fin de correlacionar la percepción de acuerdo a cada grupo. Se determinó la frecuencia y porcentaje de cada respuesta. Los productores empresariales se ven influenciados por factores económicos y de comercialización, ya que su producto es de exportación y deben cumplir con ciertos requisitos normativos; por ello la selección, rotación y aplicación de acaricidas es necesaria. Los productores en transición seleccionan los acaricidas con base en tres aspectos: 1) conservación de organismos benéficos, 2) protección de la salud de los trabajadores y consumidores, y 3) uso de productos compatibles con liberaciones de organismos de control biológico. Los productores de subsistencia utilizan acaricidas de acuerdo con el precio del producto y su efectividad, principalmente. A pesar de que la selección de acaricidas en el cultivo de papayo depende principalmente de aspectos económicos, son los productores en transición los que tienen como prioridad que los acaricidas utilizados no contaminen el ambiente o perjudiquen a los trabajadores y consumidores. Es necesario capacitar al respecto, tanto a los productores de subsistencia como a los empresariales, ya que estos factores pueden alterar el concepto de “una salud” en los agroecosistemas papayeros.

Palabras clave: ácaros, decisiones, organismos benéficos, one health

⁵¹³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Km 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, C.P. 91690, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: beristain.martha@colpos.mx

⁵¹⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DE ACCESIONES DE PAPAYO NATIVO DE MÉXICO AL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR

David Sósol Reyes^{515*}, Juan A. Villanueva Jiménez⁵¹⁵, Alejandra Soto Estrada⁵¹⁵,
Elías Hernández Castro⁵¹⁶ y Gustavo López Romero⁵¹⁵

Resumen

La Mancha Anular del Papayo ocasionada por el Papaya Ringspot Virus raza P (PRSV-p) causa pérdidas en cultivo desde 30 hasta 100%, y es propagado por diferentes especies de áfidos. Para controlar los vectores se aplican plaguicidas que generan problemas ambientales y de salud. El papayo (*Carica papaya* L.) es un recurso fitogenético originario de México. El germoplasma puede contener genotipos con características de interés para fitomejoramiento, con materiales adaptados a factores detrimentales. El objetivo del trabajo fue evaluar la capacidad de resistencia de cinco accesiones de papayo al PRSV-p, transmitido por *Aphis gossypii* Glover en condiciones de invernadero. Se utilizaron semillas de la Colección de Trabajo de Papayo (CTP). Para germinar las semillas se trataron con ácido giberélico y se colocaron en toallas de papel humedecidas, dentro de una cámara ambiental. El pie de cría de *A. gossypii* se colectó localmente e identificó con claves dicotómicas. La fuente de inóculo se estableció mediante transmisión mecánica de una cepa proveniente de un papayal del Municipio de Cotaxtla, Veracruz; la presencia de PRSV-p se corroboró con RT-PCR. El diseño completamente al azar incluyó cinco tratamientos (accesiones A80, A229a, A77a, A179, A48b) y un testigo (variedad 'Maradol'), cinco repeticiones, una planta por repetición. El PRSV-p se transmitió mediante 10 áfidos por planta. Se midió la incidencia y severidad (foliar y en tallo) desde la fecha de transmisión, cada siete días durante 21 semanas. Se determinó el índice de severidad y el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE). La prueba de Kruskal-Wallis y Wilcoxon en R Studio® ($p = 0.00027$) indicó que la accesión A80 presentó mayor retraso en mostrar síntomas, tuvo menor índice de severidad (0.006 y 0.022) y ABCPE (0.125 y 0.461), para síntomas foliares y en tallo, respectivamente. Wilcoxon mostró que A80 es significativamente ($p < 0.05$) diferente a las accesiones A229a, A77a, A179, A48b y a 'Maradol'. Preliminarmente, la accesión A80 tuvo un comportamiento tolerante al PRSV-p.

Palabras clave: *Carica papaya* L., PRSV-p, germoplasma

⁵¹⁵ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *Autor de correspondencia: sosol.david@colpos.mx

⁵¹⁶ Universidad Autónoma de Guerrero.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ ASOCIADO A *Pinus chiapensis* BAJO UN SISTEMA AGROFORESTAL

Melchor Rodríguez Acosta^{517*}, Luis Eduardo García Mayoral⁵¹⁸ y Rosalío López Morgado⁵¹⁹

Resumen

En México existe una gran diversidad de sistemas agroforestales, en predios de pequeños y medianos productores, que incorporan al café como cultivo combinado con especies de latifoliadas principalmente. Sin embargo, las especies coníferas como el pino asociadas con café de diversas variedades tolerantes a la roya, tienen poca superficie establecida y manejada bajo esquemas silvícolas, susceptibles de convertirse en sistemas agroforestales productivos, generando madera y café, para obtener ingresos en el corto y mediano plazo, bajo manejo orgánico, como en este caso: *P. chiapensis* y la variedad de café Costa Rica. Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue aplicar dos productos orgánicos: foliar y al suelo, para evaluar su efecto en la producción de café cereza, bajo un sistema agroforestal en la región cafetalera de Atzacan, Veracruz. El componente forestal del sistema fue establecido en el año 2003, como una plantación forestal comercial, a la que se le realizó un primer aclareo en el año 2008 y, un segundo aclareo en el año 2015. Posteriormente a estos aclareos, se introdujeron cafetos de la variedad Costa Rica, en el año 2017. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones; los bloques se orientaron de manera perpendicular a la pendiente utilizada como factor de bloqueo. Los tratamientos aplicados fueron: a. Lombricomposta; b. Abono foliar como complejo de nutrientes y, c. El testigo, sin aplicación alguna de abono. Las variables respuesta fueron: rendimiento promedio por hectárea y el peso específico de granos de cereza, que se analizaron con el sistema SAS (Statistical, Analysis System 9.4). El análisis de varianza no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados, para el rendimiento promedio por hectárea. Sin embargo, el tratamiento con lombricomposta al suelo, en estas condiciones mostró un mejor resultado, alcanzando un promedio estimado de 2815.5 kg de café cereza, seguido del testigo con 2306.4 kg y el abono foliar con 1600.7 kg.

Palabras clave: *Coffea* spp., variedad Costa Rica, lombricomposta

⁵¹⁷ Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC. INIFAP. *Autor de correspondencia: rodriguez,melchor@inifap.gob.mx

⁵¹⁸ Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. CIRPAS. INIFAP.

⁵¹⁹ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

VARIACIÓN MORFOESTRUCTURAL EN FRUTOS DEL GÉNERO *Vanilla* EN AGROECOSISTEMAS DEL TOTONACAPAN PUEBLA-VERACRUZ, MÉXICO

Maximino Díaz Bautista^{520*}, Eliseo García Pérez⁵²⁰, Braulio Edgar Herrera Cabrera⁵²¹, Arturo Pérez Vázquez⁵²⁰ y Gustavo López Romero⁵²⁰

Resumen

Se presenta la variación morfoestructural en frutos de vainilla (*Vanilla* spp.) que comprende la diversidad de especies del género *Vanilla* (Orchidaceae) presentes en agroecosistemas del Totonacapan, Puebla-Veracruz, México. La vainilla corresponde al género *Vanilla* Plumier ex Miller, forma parte de la subfamilia Vanilloideae, en la que *Vanilla planifolia*, es la especie de mayor importancia económica en México y el mundo. El objetivo de la investigación consistió en cuantificar la variabilidad morfológica a nivel de frutos del género *Vanilla*, mediante un análisis morfoestructural de frutos en agroecosistemas del Totonacapan. Se consideró al fruto como una de las estructuras reproductivas más estables a los efectos del ambiente, por lo que se determinó su relevancia para la clasificación morfológica. La metodología consistió en un diseño factorial anidado con diez sitios de muestreo por agroecosistema con cuatro repeticiones, en la que cada genotipo del género *Vanilla* identificado se consideró como tratamiento (TRAT). Se establecieron como fuentes de variación a los agroecosistemas (AG), sitios dentro de agroecosistemas [SIT(AG)], sitios por repetición dentro de agroecosistemas [SIT*REP(AG)], y entre tratamientos (TRAT). Se empleó una muestra de 114 frutos a los que se les realizaron cortes histológicos transversales, se tiñeron y fijaron con fluoroglucinol y se examinaron 16 variables. El análisis de datos comprendió: análisis de varianza, prueba de Tukey, análisis de componentes principales y análisis de conglomerados. Se encontró que el género *Vanilla* está conformado por los siguientes conglomerados: *Vanilla planifolia*; *V. pompona* subsp. *pompona*; *V. pompona* subsp. *grandiflora*; *V. inodora*; *V. insignis*, y *V. planifolia* con dos cultivares (*V. planifolia* cv. rayada; y *V. planifolia* cv. oreja de burro). Se concluye que el análisis morfométrico a nivel de frutos, es susceptible a la identificación de la diversidad morfológica del género *Vanilla* presente en los agroecosistemas del Totonacapan.

Palabras clave: morfología, histología, vainilla, orchidaceae

⁵²⁰ Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. *Autor por correspondencia: maximino.diaz@uiep.edu.mx

⁵²¹ Colegio de Postgraduados-Campus Puebla.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE SIETE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR EN FASE SEMICOMERCIAL EXPUESTAS A SEQUÍAS PROLONGADAS

Jazmín Lavin Castañeda^{522*}, Fernando Carlos Gómez Merino⁵²³, Libia Iris Trejo Téllez⁵²³, Arturo Pérez Vázquez⁵²², Gustavo López Romero⁵²², José López Collado⁵²², Juan Valente Hidalgo Contreras⁵²⁴, Alejandro Galicia Román⁵²⁴ y José Adalberto Cibrián Anaya⁵²⁵

Resumen

La producción de caña de azúcar en México ha presentado un decremento continuo en los rendimientos en campo, lo cual puede ser atribuido tanto a los efectos adversos del cambio climático, como a la inadecuada tecnología y ausencia de variedades mejoradas que puedan producir más en condiciones ambientales adversas. El objetivo del presente estudio fue intercambiar variedades de caña de azúcar con otro centro de selección (Central Motzorongo), para determinar la adaptación y comportamiento agronómico inicial en dos etapas fenológicas (germinación y rápido crecimiento), presentando una sequía prologada con temperaturas de 24°C a 42°C. Se utilizaron siete variedades en Fase Agroindustrial y cuatro testigos (maduración temprana, media y tardía). Se realizó un diseño completamente al azar con 18 repeticiones en altura diámetro de tallos molederos a los 60 y 180 días después de la siembra (DDS). Los datos se analizaron en Minitab Versión 21. Se encontró que a los 60 DDS la variedad CG 96-52 y MotzMex 01-403 presentaron diámetros de 9.48 mm y 9.34 mm superando a las variedades comerciales, pero a los 180 DDS la variedad que más destacó con 22.87 mm es Mex 06-56 mostrando y superando a Mex 69-290 con 19.04 mm de diámetro en tallos. En la altura de tallos molederos a los 60DDS se encontró que la variedad Mex 05-52 presenta 66.72 cm datos similares con los testigos, pero a los 180 DDS la variedad MotzMex 00-3461 presentó 160 cm de altura mostrando diferencias significativas con la variedad CP 72-2086 con 134.77 cm que es la que mayor superficie se tiene sembrada a nivel nacional. Se concluye que algunos de los nuevos genotipos presentan características adaptativas a la sequía superiores a la variedad más sembrada en México, lo cual ofrece una ventana de oportunidad para que el sector cañero pueda hacer frete a los embates impuestos por el cambio climático y a la falta de tecnología avanzada en agricultura en México.

Palabras clave: adaptabilidad, crecimiento, estrés, desarrollo

⁵²² Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Veracruz. *Autor por correspondencia: lavin.jazmin@colpos.mx

⁵²³ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco estado de México.

⁵²⁴ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz.

⁵²⁵ Central Motzorongo, Motzorongo, Veracruz.

EFFECTO DE UN BIOESTIMULANTE INORGÁNICO EN DOS CICLOS DE PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

Jazmín Lavin Castañeda^{526*}, Fernando Carlos Gómez Merino⁵²⁷, Libia Iris Trejo Téllez⁵²⁷, Arturo Pérez Vázquez⁵²⁶, Gustavo López Romero⁵²⁶, José López Collado⁵²⁶, Juan Valente Hidalgo Contreras⁵²⁸ y Alejandro Galicia Román⁵²⁸

Resumen

En años recientes, el cultivo de caña de azúcar ha experimentado diversos embates de naturaleza climática que han reducido significativamente sus indicadores de producción y productividad en México. Una alternativa para enfrentar estos desafíos climáticos es el uso de bioestimulantes, que han mostrado efectos benéficos en diversos cultivos en entornos desafiantes al usarse en concentraciones adecuadas. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de fosfito (Phi) como bioestimulante en características agroindustriales de dos ciclos de producción de caña de azúcar (plantilla y soca) de la variedad CP 72-2086. Para ello se estableció un experimento con distribución completamente al azar con 18 repeticiones en el que se midieron altura y diámetro de tallos molederos; y para grados Brix nueve repeticiones. Se aplicaron tres tratamientos y dos aplicaciones con una diferencia de 30 días entre una aplicación y otra. Para la primera aplicación los tratamientos fueron: a) agua destilada; b) agua destilada + surfactante; c) agua destilada + surfactante + 40 mM de Phi. En la segunda aplicación se incrementó la dosis de Phi a 80 mM. Los datos se analizaron en Minitab Versión 21. Tanto para plantilla como para soca, la aplicación de Phi redujo la altura de planta, de 248.83 cm ciclo plantilla y 241.61 cm ciclo soca en los testigos, a 248.83 cm ciclo plantilla y 241.61 cm ciclo soca en los tratamientos con Phi. En plantilla, el Phi si aumentó a 36.2 mm el diámetro de tallo, en comparación con 32 mm en promedio para los testigos. De manera similar, el Phi aumentó a 22.33°Brix en plantilla y 21.5°Brix en soca, mientras que los testigos fueron de 18.17°Brix y 20.94°Brix para plantilla y soca, respectivamente. Se concluye que el Phi incrementa la calidad de los jugos de caña de azúcar al aumentar el valor de grados Brix en tallos molederos en ambos ciclos, en tanto que el diámetro de tallos solo es mejorado en un ciclo, y la altura de plantas se reduce.

Palabras clave: bioestimulante, maduración, cosecha, estrés

⁵²⁶ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Veracruz. *Autor por correspondencia: lavin.jazmin@colpos.mx

⁵²⁷ Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco estado de México.

⁵²⁸ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz.

CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss.) EN LA SIERRA MARISCAL, CHIAPAS

Helcías Eliú Velázquez Morales⁵²⁹, Victorino Gómez Valenzuela^{529*},
Bernardino Ramírez Hernández⁵²⁹ y Román Roberto Vásquez Rendón⁵²⁹

Resumen

En México, la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) se cultiva en Chiapas, Colima, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz, en ambientes que reúnen las condiciones climáticas y edáficas para su cultivo. Recientemente se han financiado proyectos productivos, incluyendo a esta especie, considerada como fruta exótica, motivo por el cual ha despertado mucho interés, por lo que se encuentra en condición emergente y se considera como cultivo alternativo para pequeños productores. En la región sierra Mariscal, Chiapas se está promoviendo su cultivo, por lo que, el presente estudio planteó la necesidad de determinar si las condiciones edáficas y climáticas de la sierra Mariscal en Chiapas cumplen con los requerimientos agroecológicos para el buen desarrollo de la granadilla para su establecimiento como cultivo. La zonificación agroecológica identifica áreas con características propicias para el uso agrícola, define zonas homogéneas a partir de combinaciones de suelo y fisiografía, centradas en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en el manejo proporcionado a éstos. Componentes que fueron analizados y comparados con las necesidades agroecológicas de la granadilla en las condiciones ambientales de la sierra Mariscal. Se encontró que la sierra Mariscal de Chiapas cuenta con 50,635.95 ha de tierras muy aptas, en donde no existen limitantes ambientales naturales para el desarrollo del cultivo de granadilla (12.64%); 40,011.95 ha son aptas (9.99%), en las que se puede establecer el cultivo sin muchas limitaciones y esperar un comportamiento productivo aceptable; la clase marginalmente apta representa el 8.20% (32,865.60 ha), en donde las condiciones edáficas no son muy adecuadas (pero pueden mejorarse con manejo) y la respuesta productiva de la granadilla es limitada. Mientras que, el 64.54% del área de estudio no es apta para este cultivo (258,568.17 ha), ya que no se cumple con los requerimientos edafoclimáticos para su buen desarrollo.

Palabras clave: zonificación agroecológica, Passifloraceae, México

⁵²⁹ Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo. *Autor por correspondencia: vgomezv@chapingo.mx

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE DOS ESPECIES CON POTENCIAL PARA BARRERAS VIVAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ

María del Carmen Pablo Mendoza^{530*}, Rolando Misael Tlaxcala Méndez⁵³¹,
Rosalío López Morgado⁵³², Andrés Vásquez Hernández⁵³³ y Eileen Salinas Cruz⁵³⁴

Resumen

Los sistemas agroforestales de café arabica (SAFC) de Zongolica, Veracruz, se encuentran con pendientes mayores al 30%, estudios realizados sugieren pérdidas de suelo y de nutrientes de 0.28 y 4.56 t/ha, esto en función de los escurrimientos superficiales a causa de las precipitaciones y tipo de SAF establecido, como consecuencia se presenta pérdida de la capa fértil; para disminuir este problema se planteó el objetivo de analizar el crecimiento de momole (*Renealmia mexicana*) y malinche (*Calathea lutea*) como barreras vivas en SAF de café en terrenos de ladera. El experimento se ubica en las coordenadas 18°37'36.64" latitud N y 96°55'57.23" longitud O, en Coapa Pinopa, Zongolica, Veracruz. El clima es semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf), temperaturas de 14 a 26°C, en 2023 la precipitación fue de 2512.6 mm, el tipo de suelo es franco arcilloso, ricos en materia orgánica (5.48%) con pH de 5.1 a 5.4 fuertemente ácido. En agosto de 2023 se estableció en sentido perpendicular a la pendiente 12 barreras vivas de *Renealmia mexicana* y *Calathea lutea*, respectivamente, la longitud de cada barrera es de 14 m lineales, en cada una de ellas se plantaron 40 individuos a una distancia de 35 cm entre planta y planta, las cepas fueron de 15 cm de diámetro por 25 cm de profundidad. Se realizó una prueba "T" de Student para dos muestras independientes a una probabilidad de rechazo de $\alpha=0.05$, se utilizó el estadístico SAS, 2024. A los cuatro meses se evaluó sobrevivencia, obteniendo un 45% para Momole y 83% en Malinche. Con respecto al crecimiento en altura, la primera especie presentó plantas de 38.43 cm y la segunda plantas con 25.67 cm, el ancho de la barrera que se formó por el área foliar fue de 29.81 cm y 32.04 cm, existiendo diferencia significativa entre ambos tratamientos ($p < 0.05$). Con respecto al número de brotes vegetativos y hojas no hubo diferencias significativas. La especie sobresaliente es *Calathea lutea*, por mayor sobrevivencia, y cobertura, la cual la hace una especie con potencial para el establecimiento en los SAF de café.

Palabras clave: especies de plantas tipo umbrofilas, SAFC

⁵³⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco. *Autor por correspondencia: pablo.maria@inifap.gob.mx

⁵³¹ INIFAP, Campo Experimental El Palmar.

⁵³² INIFAP, Sitio Experimental Teocelo.

⁵³³ INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla.

⁵³⁴ INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas.

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE ALGINATO SÓDICO Y ALMIDÓN DE MAÍZ EN POSTCOSECHA DE MANGO ATAÚLFO

Victoria Estefanía Ruiz Molina^{535, 539}, Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar^{536*}, René Peralta Rodríguez⁵³⁷, María José Fabra Rovira⁵³⁸, Juan Carlos Noa Carrazana⁵³⁹, Galdy Hernández Zárate⁵³⁵ y Rosa Isela Castillo Zamudio⁵³⁵

Resumen

Los recubrimientos comestibles actúan como barreras protectoras de los frutos durante la postcosecha, retardando procesos de deterioro o senescencia, tales como la pérdida de humedad, la oxidación y el desarrollo de microorganismos patógenos. Estos recubrimientos se formulan a partir de diferentes polímeros, donde el uso de alginato sódico (Alg) y almidón de maíz (Alm) ha ganado la atención en la industria alimentaria debido a sus beneficios asociados a la pérdida de humedad y oxidación. Así mismo, los residuos agroindustriales como el raquis de plátano, también son de interés en la industria alimentaria, ya que a partir de estos se pueden obtener, como subproductos, algunos compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas; aunque aún esta es una alternativa poco valorada y evaluada. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes formulaciones a base de alginato sódico, almidón de maíz y lixiviado de raquis de plátano liofilizado (Lix), aplicados como recubrimiento en mango var. Ataulfo. Estos tratamientos fueron preparados a 80°C por 30 minutos en agitación a 600 rpm y se dejaron enfriar a 23°C para su aplicación. Previo a la aplicación de los recubrimientos, los frutos de mango var. Ataulfo se desinfestaron con un triple lavado (Tween 80 al 1%, hipoclorito de sodio 1% y agua destilada). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos que se aplicaron fueron: T1: Alm, T2: Alm+Lix (1:1), T3: Alm+Alg+Lix (1:1:1), T4: Alg+Lix (1:1) en concentraciones de 0.5%, 1% y 1.5% (p/v). así como el T5: sin recubrimiento. Los frutos se dispusieron en una cámara climática a 25°C, 50% HR en oscuridad por 13 días. La presencia de almidón en las matrices formadoras de recubrimiento disminuyó la eficacia de estas, provocando una mayor deshidratación del fruto, independientemente de la concentración total de sólidos. En cambio, el tratamiento T4, con una concentración de 1.5% de alginato de sodio y lixiviado, fue el más efectivo para la conservación de los frutos, mostrando una menor deshidratación de la cáscara en comparación con el tratamiento sin recubrimiento. Los resultados ponen de manifiesto que los recubrimientos formulados con alginato sódico y lixiviado son una alternativa prometedora para extender el tiempo de vida útil de frutos de mango var Ataulfo, durante el almacenamiento.

Palabras clave: alginato sódico, lixiviado de raquis de plátano, almidón de maíz, recubrimientos comestibles

⁵³⁵ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

⁵³⁶ Comisionada a Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: lluviasoriano_fcq@uadec.edu.mx

⁵³⁷ Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

⁵³⁸ Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos-C.S.I.C. Valencia, España.

⁵³⁹ Instituto de Ecología y Biotecnología Aplicada-INBIOTECA. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

Créditos editoriales

Coordinación general

Rubén Santos Echeverría
Héctor Daniel Inurreta Aguirre

Compiladores

María Enriqueta López Vázquez
Oscar Hugo Tosquy Valle
Elizabeth León García

Valentín Esqueda Esquivel
Claudia Perdomo Montes

Formación

Claudia Perdomo Montes
Alberto Flores Molina

Comité editorial

Coordinadores:

María Enriqueta López Vázquez

Oscar Hugo Tosquy Valle

Editores:

Aixel Maya Martínez

Javier Francisco Enriquez Quiroz

Nain Peralta Antonio

Andrés Rebolledo Martínez

José Alfredo Villagómez Cortés

Oscar Hugo Tosquy Valle

Bertha Patricia Zamora Morales

Juan Quintanar Olguín

Pablo Andrés Meza

Edgar Couttolenc Brenis

Marco Antonio Reynolds Chávez

Ricardo Santillán Mendoza

Edna Suárez Patlán

María Enriqueta López Vázquez

Sergio Uribe Gómez

Elizabeth León García

Marisela Cristina Zamora Martínez

Valentín Esqueda Esquivel

Gerardo Montiel Vicencio

Melchor Rodríguez Acosta

Verónica Lango Reynoso

Comité Científico

Coordinadores:

Nain Peralta Antonio

Karina Ramírez López

Juan Prisciliano Zarate Martínez

Arturo Pérez Vázquez

Casimiro Ordoñez Prado

María del Refugio Castañeda Chávez

Alberto Asiain Hoyos

María del Carmen Álvarez Ávila

Revisores:

Adán Cabal Prieto

Flora Apolinar Hidalgo

Marcos Ventura Vásquez
Hernández

Adán Nava Nava

Francisco Hernández Rosas

Marcos Vinicio Rodríguez
Demaneghi

Adlay Reyes Betanzos

Francisco Javier Ugalde Acosta

María de Jesús Ávila Escobedo

Adrián Gutiérrez Cervantes

Francisco Juárez Lagunes

María de los Ángeles Acevedo
Cortés

Adriana Acevedo Alcalá

Fredy Morales Trejo

María de Lourdes Fernández Peña

Créditos editoriales

Comité Científico

Adriana Isabel Pérez Luna	Gabriel Díaz Padilla	María de Lourdes Villarruel López
Aixchel Maya Martínez	Gabriela Orozco Gutiérrez	María del Carmen Pablo Mendoza
Alberto Uc Varguez	Gabycarmen Navarrete Rodríguez	María del Carmen Silverio Gómez
Aleida Selene Hernández Cázares	Gadiel Pedraza Monroy	María del Refugio Castañeda Chávez
Alejandra Soto Estrada	Galdy Hernández Zarate	María Elena Galindo Tovar
Alejandra Vélez Izquierdo	Gerardo Montiel Vicencio	María Enriqueta López Vázquez
Alejandro Salinas Castro	Guadalupe Overa Licona	María Herlinda López Armas
Alfredo Villagómez Cortés	Guajardo Panes Rafael Alberto	Martha Elena Fuentes López
Alma Delia Ortiz Reyes	Héctor Cabrera Mireles	Martina Hilda Gracia Valenzuela
Alma Velia Ayala Garay	Héctor Chalate Molina	Maurilio Mendoza Mexicano
Álvaro Enrique de Jesús Peniche Cardeña	Hugo de Jesús Suárez Hernández	Medali Heidi Huarhua Zaquinaula
Ana Silvia Pérez Méndez	Humberto Mata Alejandro	Miguel Cebada Merino
Anabel Cruz Romero	Ignacio Garay Peralta	Mirna Ambrosio Montoya
Andrés Rebolledo Martínez	Irving David Perez Landa	Nain Peralta Antonio
Ángel Capetillo Burela	Irving David Pérez Landa	Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez
Angélica Janeth Manjarrez Rodríguez	Isaac Meneses Márquez	Olga Santiago Trinidad
Antonio Castillo Gutiérrez	Isabel Araceli Amaro Espejo	Oscar Andrés Del Ángel Coronel
Apolo Adolfo Carrasco García	Ismael Quiroz Guerrero	Oscar Hugo Tosquy Valle
Armando Wakida Kusunoki	Itzel Galaviz Villa	Otto Raúl Leyva Ovalle
Arturo Ángel Hernández	Iván Fermín Quiroz Ibáñez	Pablo Andrés Meza
Arturo García Saldaña	Ivette Rubio Gutiérrez	Pablo Díaz Rivera
Arturo Pérez Vázquez	Jacel Adame García	Rafael Antonio Verdejo Lara
Aurelio Báez Pérez	Jaime Rangel Quintos	Ramiro Puc Kaul
Belisario Domínguez Mancera	Jannet Jaraleño Teniente	Raúl Enrique Lara Mendoza
Benigno Ortiz Muñiz	Javier Francisco Enríquez Quiroz	Régulo Carlos Llarena Hernández
Bertha S. Larqué Saavedra	Jazmín Villegas Narváez	Régulo Jiménez Guillén
Bossuet Gastón Cortés Sánchez	Jeremías Natarén Velázquez	René Gómez Mercado
Brenda Torres Huerta	Jesús Atenodoro Alonso	Ricardo Sánchez Páez
Carlos Alberto Tinoco Alfaro	Jesús Jarillo Rodríguez	Ricardo Santillán Mendoza
Carmen Aridai Hernández Estrada	Jesús Montoya Mendoza	Ricardo Serna Lagunes
Carolina Hernández Hernández	Jesús Valentín Gutiérrez García	Rigoberto Zetina Lezama
Casimiro Ordoñez Prado	Jonathan Noé Avilés Nieto	Roberto Chiquito Contreras
Claudia Araceli Dávila Camacho	Jorge Eduardo Vieyra Durán	Roberto Omar Castañeda Arreola
Claudia Lorena López Fernández	Jorge Rafael León Carmona	Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez
Dalia Guadalupe Mendoza López	José Agapito Pecina Martínez	Rogelio Miranda Marini

Créditos editoriales

Comité Científico

Daniel Ramírez Cerón	José Ángel Sígala Rodríguez	Rolando Misael Tlaxcala Méndez
David Reynier Valdés	José Antonio Hernández Moreno	Rómulo Chávez Morales
Delfina Salinas Vargas	José Arturo Olguín Rojas	Rosa Amelia Pedraza Pérez
Denis Magaña Ortiz	José Luis Coyac Rodríguez	Rosa Elena Riaño Marín
Dolores Briones Reyes	José Luis García Pérez	Rosa Elena Zamudio Alemán
Dora Angélica Ávalos de la Cruz	José Luis Jolalpa Barrera	Rosa Laura Rebolledo García
Edgar Couttolenc Brenis	José Manuel Martínez Hernández	Ruth Patricia Aragón López
Edna Elena Suarez Patlan	Juan Carlos Tamarit Urías	Salvador Partida Sedas
Elizabeth Ibarra Sánchez	Juan Gabriel Ochoa Bijarro	Santos Díaz Martínez
Elizabeth León García	Juan Hernández Hernández	Saúl Castañeda Díaz
Emanuel de Jesús Ramírez Rivera	Juan Prisciliano Zarate Martínez	Secundino Torres Lamas
Enrique Buendía Rodríguez	Juan Valente Megchun García	Sergio Alberto Curti Díaz
Enrique Noé Becerra Leor	Julio Vilaboa Arroniz	Sergio Muñoz Melgarejo
Epigmenio Castillo Gallegos	Karina Ramírez López	Sheila Genoveva Pérez Bravo
Érica María Gasperin García	Katia Angélica Figueroa Rodríguez	Simón Alvarado Mendoza
Erickson Basave Villalobos	Liliana Lara Capistrán	Susana Eva Rodríguez Rodríguez
Erika Padilla Cortes	Lily Lorena Luna Castellanos	Tomás Pineda Ojeda
Esteban Valtierra Pacheco	Lucia Nancy Coconi Linares	Valentín Esqueda Esquivel
Esther Paredes Díaz	Luis Felipe da Conceição dos Santos	Verónica Lango Reynoso
Eugenio Rangel León	Madai Sánchez Galindo	Víctor Manuel Cisneros Solano
Evaristo Bautista Mora	Magnolia Gricel Salcedo Garduño	Virginia Alcántara Méndez
Fabiola Lango Reynoso	Manuel Barrientos Morales	Wendy Sangabriel Conde
Felipe Gallardo López	Manuel Villarruel Fuentes	Yolanda Estela Miranda Ángeles
Felipe Montiel Palacios	Marcelina Vélez Torres	Zahaed Evangelista Martínez
Félix David Murillo Cuevas	Marco Antonio Reynolds Chávez	
Fernando Raciél Viveros Mendoza	Marco Antonio Toral Juárez	