



2025

CIENCIAS AGRONÓMICAS APLICADAS Y BIOTECNOLOGÍA AÑO 5, VOL. 5

Cuerpo Editorial
Carlos Granados Echegoyen
Esperanza Loera-Alvarado
Yolanda Rodríguez-Pagaza
Alfonso Luna-Cruz
Ileana Vera Reyes
Nancy Alonso-Hernández

WWW.SOMUCAAB.MX

 @somucaab

ISSN 2954 - 4092



2025
Ciencias Agronómicas
Aplicadas y Biotecnología
Año 5, Vol. 5

“Sembrando conocimiento, cosechando desarrollo”

Editor
Carlos Granados-Echegoyen

Cuerpo Editorial

Editor en jefe

Carlos Granados-Echegoyen

SECIHTI- Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca) - Bioplanta – Unidad de Investigación y Colaboración para Bioensayos Entomológicos, México. cgranadose@ipn.mx

Editores asociados

Esperanza Loera-Alvarado

SECIHTI - Universidad Autónoma Chapingo, Morelia, Michoacán de Ocampo, México.
esperanza.loera@umich.mx

Yolanda Rodríguez-Pagaza

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Departamento de Parasitología, Coahuila, México. ypagaza@hotmail.com

Alfonso Luna-Cruz

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Michoacán de Ocampo, México. alfonso.luna@umich.mx

Ileana Vera Reyes

Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.
ileana.vera@ciqa.edu.mx

Nancy Alonso-Hernández

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. nalonsoh@ipn.mx

Comité Editorial

Demián Hinojosa-Garro. Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Laboratorio de Monitoreo Ambiental y Ecología Acuática, Centro de Estudios en Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento de la Vida Silvestre (CEDESU), Campeche, México.
dhinojos@uacam.mx

Elida Patricia Marín-Beitia. Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Grupo de Investigación en Agroecología, Colombia. epmarinb@unal.edu.co

Juan Carlos Camacho-Chab. Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología (CIMAB). Campeche, México.
juanccam@uacam.mx

Juan M. Peñaloza-Ramírez. Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Laboratorio de Flora y Colecciones Científicas Botánicas. Centro de Estudios en Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento de la Vida Silvestre (CEDESU), Campeche, México.
jmpenalo@uacam.mx

Leidy Julieth Salamanca-Canizales. Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA), Valle de Cauca, Colombia. ljsalamancac@unal.edu.co

Mario Miranda-Salcedo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Michoacán de Ocampo, México. mmiranda8@hotmail.com

Maureen Isabel Leyva-Silva. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri, Departamento de Control de Vectores, La Habana, Cuba. maureen@ipk.sld.cu

Oswaldo Rene Rodríguez-Flores. Universidad Nacional Agraria, Departamento de Protección Agrícola y Forestal, Laboratorio de Entomología Agrícola, Managua, Nicaragua.
oroflores@yahoo.com

Rafael Pérez-Pacheco. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR), Oaxaca, México. rafaelperezpacheco@yahoo.com

Fulgencio Alatorre-Cobos. SECIHTI-Centro de investigación Científica de Yucatán A. C., Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Yucatán, México.
fulgencio.alatorre@cicy.mx

Jesús Alberto Camacho-Montoya. Universidad Tecnológica de la Sierra Sur de Oaxaca, Departamento de Manejo de Recursos Naturales, Oaxaca, México.
alberto.camacho.1848@outlook.com

Florinda García-Pérez. Universidad NovaUniversitas, Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO), Oaxaca, México. jafvavadoga@hotmail.com

Salvador Ordaz-Silva. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Baja California, México. salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx

Gregorio Hernández-Salinas. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Veracruz, México. gregorio_18_18@live.com.mx

Carlos Fernández-Ríos. Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca UTVCO, Oaxaca, México. cfernandezrios1@gmail.com

Marlith Magaña-Aquino. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, México. magana.marlith@colpos.mx

Lilibeth Gómez-Sosa. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR), Oaxaca, México. lgomezs2106@alumno.ipn.mx

Evert Villanueva Sánchez. Universidad Autónoma Chapingo, México. evillanueva1206@gmail.com

Liseth Scarleth Giovanna Ramírez-Medina. Universidad Autónoma de Campeche, México. scarlethramirezmedina@gmail.com

Rodolfo Torres De Los Santos. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. rotorres@docentes.uat.edu.mx

Francisco Alejandro Paredes-Sánchez. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. faparedes@docentes.uat.edu.mx

Martha Patricia Chaires-Grijalva. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. mapatcg@gmail.com

Jorge Ariel Torres-Castillo. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. joatorres@docentes.uat.edu.mx

Elsa Verónica Herrera-Mayorga. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. evherrera@docentes.uat.edu.mx

Blanca Alicia Esquivel-Ayala. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 0802133k@umich.mx

Magdalena González-Alejandre. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. magdalena.gonzalez@umich.mx



María J. García-Ramírez. Universidad Autónoma de Campeche, México.
mjgarcia@uacam.mx

Hilario Becerril-Hernández. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, México.
hbecerri@colpos.mx

Laura Yesenia Solís-Ramos. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
laura.solisramos@ucr.ac.cr

Carmen Medina Mendoza. Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital, México.
cmedina@utvm.edu.mx

La Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología, es una publicación de la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología SOMUCAAB, A.C.
t: +52 (951) 170 3994 •
infosomucaab@gmail.com • <https://somucaab.mx>

ISSN 2954 - 4092
Hecho en México

Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología es el instrumento de comunicación científica de la SOMUCAAB A.C. Los artículos originales, revisiones y notas que se publican en la revista son sometidos a un proceso de revisión en el que intervienen al menos dos evaluadores especializados de instituciones de diversos países.

Los volúmenes publicados están disponibles en acceso abierto en:
<https://www.somucaab.mx/rev-caab/>

La reproducción por cualquier medio de los textos publicados en esta revista podrá hacerse siempre y cuando se cite la fuente, incluyendo el nombre del autor, el nombre y número de la revista, y la dirección electrónica de la misma. Asimismo, los contenidos se pueden copiar, distribuir, mostrar y utilizar para cualquier propósito que no sea comercial (a menos que obtenga su permiso). Para más información escribir a: manuscritosomucaab@gmail.com

Los artículos publicados no reflejan necesariamente la postura de la SOMUCAAB A.C. y son responsabilidad exclusiva de los autores.

Editor en Jefe: Carlos Granados-Echegoyen / granados.echegoyen@yahoo.com

Edición y Estilo: Nancy Alonso-Hernández / nalonsoh@ipn.mx

Coordinación Editorial: Yolanda Rodríguez Pagaza, Alfonso Luna Cruz, Esperanza Loera Alvarado, Ileana Vera Reyes/ infosomucaab@gmail.com

Para la conformación de este ejemplar se contó con la participación de profesores, investigadores, técnicos, estudiantes y profesionistas de diversas instituciones, quienes nos brindan una parte del quehacer científico que desempeñan en las diversas regiones de México y el mundo.

Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología, es una publicación revista anual en diciembre de cada año; editada por la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología SOMUCAAB A.C. en Manantiales de Morelia #55, Colonia Los Manantiales, C.P. 58188, Morelia, Michoacán de Ocampo, México. R.F.C. MCA190222UM7. Tel.: +52 (951) 170-3994. Editor responsable: Carlos Granados-Echegoyen. Número de certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2021-120202134300-102. ISSN: 2954-4092. Responsable de la última actualización de este número: Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología. Tiraje: 100 ejemplares.

COMITÉ DIRECTIVO

**SOCIEDAD MULTIDISCIPLINARIA
EN CIENCIAS AGRONÓMICAS APLICADAS
Y BIOTECNOLOGÍA A.C.
2023-2025**

Dr. Alfonso Luna-Cruz
PRESIDENTE

Dra. Esperanza Loera-Alvarado
VICE PRESIDENTE

Dra. Ileana Vera-Reyes
SECRETARIA

Dr. Carlos Granados-Echegoyen
TESORERO

Dra. Yolanda Rodríguez-Pagaza
VOCAL

COMITÉ EJECUTIVO

Dra. Nadia Salomé Gómez-Domínguez
Dra. Nadia Landero-Valenzuela
Dra. Magdalena González-Alejandra
Dr. Fulgencio Alatorre-Cobos
Dra. Carmen Medina-Mendoza
Dra. Martha Patricia Chaires-Grijalva
Dra. Evert Villanueva-Sánchez
Dra. Susana Martínez-Martínez

PRESENTACIÓN

El presente volumen de la Revista de la Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología (SOMUCAAB A.C.) reúne un conjunto de contribuciones que reflejan la convergencia entre la investigación científica, la innovación tecnológica y los saberes agroecológicos tradicionales en el contexto de los desafíos actuales de la agricultura, la biotecnología y la sustentabilidad de los recursos naturales. Los trabajos aquí incluidos ponen de manifiesto el compromiso de la comunidad científica con la generación de conocimiento aplicado, pertinente y socialmente útil, orientado a promover sistemas productivos más sostenibles, resilientes y equitativos en México y América Latina.

Cada uno de los artículos representa una expresión del esfuerzo colectivo de estudiantes, docentes e investigadores que, desde diferentes instituciones y disciplinas, aportan soluciones concretas a problemáticas agrícolas, ambientales y sociales. Se abordan temas vinculados con la microbiología agrícola, la fisiología vegetal, la biotecnología ambiental, la bioenergía, la agroecología y la soberanía alimentaria, integrando tanto metodologías experimentales como aproximaciones participativas en comunidades rurales. Esta diversidad temática refleja la vocación de la revista por difundir investigaciones que combinan el rigor científico con la pertinencia territorial y cultural.

En coherencia con esta visión, el volumen se estructura bajo el eje temático “Innovación agrobiotecnológica y sustentabilidad territorial: ciencia aplicada a los sistemas agrícolas, energéticos y ecológicos de México y América Latina.” Este eje resume el propósito esencial de las investigaciones reunidas: aplicar el conocimiento científico y tecnológico para fortalecer los sistemas agroproductivos, reducir el impacto ambiental, diversificar las fuentes energéticas, y valorar la riqueza biológica y cultural de los territorios latinoamericanos como base para el desarrollo sostenible.

El volumen articula de manera transversal los enfoques biológicos, tecnológicos y sociales de la sustentabilidad, mostrando cómo la ciencia puede integrarse con la cultura y los saberes locales para generar alternativas innovadoras de uso y conservación de los recursos naturales. Los estudios aquí presentados no solo destacan por su rigor experimental, sino también por su sentido de pertinencia y compromiso social. Desde la escala del laboratorio hasta el trabajo en campo, las investigaciones demuestran que el conocimiento científico puede y debe contribuir a mejorar las condiciones de vida, fortalecer la soberanía alimentaria y fomentar una economía circular basada en la cooperación y la equidad.

La SOMUCAAB A.C., a través de esta publicación, reafirma su compromiso con la divulgación científica multidisciplinaria, el fortalecimiento de las capacidades locales y la promoción de la ciencia abierta como instrumento de transformación social. Este volumen constituye un testimonio del esfuerzo de una comunidad académica que trabaja de manera colaborativa para impulsar la innovación agrobiotecnológica, consolidar redes de conocimiento y fomentar una cultura científica comprometida con la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano.

Dr. Carlos Granados-Echegoyen

CONTENIDO

1	Sensibilidad de <i>Bacillus clausii</i> ante antibióticos inhibidores de bacterias grampositivas	16
	Luis Abimael Flores-Santiago, Usiel Alejandro Morales-Camacho, Ana Jesabel Ramírez-Gómez, Jesús Ignacio Reyes-Díaz*	
2	Huertos familiares de subsistencia en los Valles Centrales de Oaxaca	22
	Tamara Aquino-Aguilar*, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Jesús Andrés Morales-López, Teodulfo Aquino-Bolaños	
3	Agroturismo: Flor de cempasúchil (<i>Tagetes erecta</i>) en huertos de Xoxocotlán, Oaxaca con perspectiva de género	35
	Gema Lugo-Espinosa, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz*, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Teodulfo Aquino-Bolaños, Fernando Elí Ortiz-Hernández	
4	Evaluación sinérgica de biofiltros de carbón activado y fotocátalisis UV en la degradación de paracetamol en condiciones de laboratorio	42
	Carolina Díaz-Gutiérrez, Alexandra Peñaloza-Hernández, Jesús Ignacio Reyes-Díaz	
5	Efectos de cepas <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Bacillus subtilis</i> en la producción de biogas y bioabono	47
	Jesús Ignacio Reyes-Díaz*, Alyn Violeta Marín-Vázquez, Marisol Espinosa-Camacho, Evelin Sovera-Mireles, Dafne Stefany Fuentes-López	
6	Metabolitos secundarios y actividad biológica de tres árboles nativos de México: Guaje (<i>Leucaena</i> spp.), mezquite (<i>Prosopis</i> spp.) y guamúchil (<i>Pithecellobium dulce</i>)	56
	Jesús Andrés Morales-López*, Tamara Aquino-Aguilar, Teodulfo Aquino-Bolaños, Angelica Bautista-Cruz, Edgar García-Sánchez	
7	Plaguicidas y extractos vegetales en la agricultura: estudio de caso en el Valle de Etla y Asunción Nochixtlán, Oaxaca	65
	Keyla Cruz-García ¹ , Tlacaclael Aquino-López, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Teodulfo Aquino-Bolaños, Jaime Ruíz-Vega	

8	El maíz zapalote chico y grande (<i>Zea mays</i> L.), conocimientos tradicionales y soberanía alimentaria en el Programa Sembrando Vida	76
	Cynthia Cruz-Carrasco*, Armando Luna-Fuentes, Juana Yolanda López-Cruz	
9	Distribución de la biomasa y rendimiento del girasol en relación con la fecha de siembra	84
	José Alberto Salvador Escalante-Estrada*, Yolanda I. Escalante-Estrada, Luis Enrique Escalante-Estrada, Cid Aguilar-Carpio	
10	Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith en cultivo de maíz <i>Zea mays</i> L. en el norte de Sinaloa, México	89
	Lucía Araceli Manzanarez-Jiménez*, Cipriano García-Gutiérrez, Gabriela Lizbeth Flores-Zamora, Rosa Luz Gómez-Peraza, Jesús Uriel Hernández-Armenta, Itzayana Pacheco-Gómez	
11	Alternativas biotecnológicas en el enraizamiento de <i>Acanthocereus tetragonus</i>, alimento que enfrenta al cambio climático	94
	María de Jesús Martínez-Hernández*, Vianey del Rocío Torres-Pelayo, Gerardo Alvarado-Castillo	
12	Associate hemipterans on <i>Opuntia streptacantha</i> at Natural Protected area in Central Mexico	103
	José Antonio Colio-Velazquez, Ana Lilia Muñoz-Viveros, Nadia Salomé Gómez-Domínguez, Luis Enrique Páez Gerardo, Saharay Cruz-Miranda, Juan Manuel Vanegas-Rico	
13	Briquetas de biomasa de bagazo de agave mediante densificación a baja presión	108
	Emilia Hernández-Contreras, Liliana Márquez-Benavides*	
14	Cazahuate (<i>Ipomoea</i> spp.) proveniente de la selva baja caducifolia de Morelos: Mecanismo de sobrevivencia	114
	Miguel Ángel Abundez-García*, Edwin Javier Barrios-Gómez, Jaime Canul-Ku, Fernando I. Alvear-Salazar, Alejandro Pérez-Rosales	
15	Crecimiento vegetativo del cultivo de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>) con el método de siembra directa y plántulas de vivero en FAE-UNI, Masaya, Nicaragua	118
	Cándido Leoncio Vanegas-Carrero*, Nelary Veroska Romero-Vanega, Andrés de Jesús Hernández-Rojas	

- 16 **Dieta y endoparásitos de *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae)** 123
Sara Paulet Hernández-Silvestre, Norma Mora-Collado, Rosalía Núñez-Pastrana, Ricardo Serna-Lagunes*, Benjamín Nogueta-Torres, Gregorio Hernández-Salinas
- 17 **Efecto de extractos vegetales y herbicidas sobre el manejo de malezas en el cultivo de nopal verdura** 135
Isaí Eliu Herrera-Lara, Cid Aguilar-Carpio*, Pablo Noé Núñez-Aragón, José Ángel Alcántara-Jiménez, José Alberto Salvador Escalante-Estrada
- 18 **Efecto de la aplicación combinada de *Azospirillum argentinense* Az39 y fertilizantes químicos sobre el rendimiento del cultivo de maíz** 142
Soledad M. Martín*, Cecilia Cerliani, Paula G. Cardozo, M. Albana Di Palma, Sofia Buzzini, Jorge Ascanope, Matías Rovere, Sonia Fischer, Susana Suárez, Tania Taurian, Claudia Travaglia
- 19 **Eficacia de una cepa nativa de *Beauveria bassiana* asociada a suelos cultivados con nopal verdura** 148
Yolotzin Castillo-Barrera, Evert Villanueva-Sánchez*, Jaime Alfredo Urzúa-Gutiérrez, Clemente Villanueva-Verduzco
- 20 **El rol protector de *Trichoderma harzianum* item 3636 frente al deterioro post cosecha de frutos de tomate ocasionado por *Alternaria* spp.** 154
Javier A. Andrés*, Lorena B. Guiñazú, Valeria A. Autrán, Nicolás A. Pastor
- 21 **Evaluación agronómica del desarrollo del cultivo de maíz elotero en asociación con el cultivo de higuera (*Ricinus communis* L.) en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México** 162
Alejandro Ventura-Maza*, Alejandro Rodríguez-Ortega, Judith Hernández-Callejas, Laura Virginia Bustamante-Espinosa, Nellybeth Rodríguez-Martínez, Francisco Lara-Viveros
- 22 **Evaluación del jabón potásico como alternativa para el control de la palomilla dorso diamante *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)** 166
Carlos Serratos-Tejeda*, María Miriam Urbano-Gómez, Miguel Aragón-Sánchez, Rafael Avelleira-Cortes, Sinaí Abigail Sánchez-Ávila

- 23 **Obtención de biopigmentos asociados a *Arthrospira maxima* y su potencial benéfico en agricultura** 170
Karen D. Atenea Priego-Delgado, Juan Carlos Camacho-Chab*, Manuel Jesús Chan-Bacab, Otto Raúl Ortega-Gutierrez, Benjamín Otto Ortega-Morales, Radames del Jesús Álvarez-Zapata, Rodrigo Enrique Tun-Che, Emy Guadalupe Huchin-Poot
- 24 **Potencial de producción de biogás de subproductos de la industria de bioetanol a base de maíz inoculados con purines de cerdo** 178
Francisco Badin*, María José Galván, Analía Becker, Diego Acevedo
- 25 **Una alternativa sostenible para la agricultura: *Beauveria brongniartii* cepa BbrNop-p5 frente a *Tenebrio molitor*** 188
Ricardo Juárez-Vázquez*, Evert Villanueva-Sánchez, Jaime Alfredo Urzúa-Gutiérrez, Clemente Villanueva-Verduzco
- 26 **Hongos fitopatógenos asociados a adultos de *Bradysia* sp. en cultivo de fresa en Maravatío, Michoacán, México** 195
Karla Aimé Tinoco-Calderón, Dulce Rosario Carlos-Santos, Alfonso Luna-Cruz*

Sensibilidad de *Bacillus clausii* ante antibióticos inhibidores de bacterias grampositivas

Luis Abimael Flores-Santiago¹, Usiel Alejandro Morales-Camacho¹, Ana Jesabel Ramírez-Gómez¹, Jesús Ignacio Reyes-Díaz^{1*}

¹Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Unidad Académica de Capulhuac, México. *Autor para correspondencia: jesus.reyes@utvtol.edu.mx

Recibido: 29/09/25; Aceptado: 11/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Los antibióticos tratan infecciones bacterianas; sin embargo, su administración puede afectar el microbiota intestinal, generando desequilibrios y alteraciones digestivas. Con el objetivo de comparar la sensibilidad de *Bacillus clausii* ante antibióticos inhibidores de bacterias grampositivas, se evaluó el porcentaje de inhibición de dos cepas comerciales (A y B) provenientes de probióticos, en presencia de los antibióticos clindamicina, ciprofloxacino y trimetoprima-sulfametoxazol. Las cepas fueron caracterizadas mediante tinción de Gram y análisis morfológico (tamaño, forma, elevación, cosmogénesis, borde y textura). Se expusieron a concentraciones de 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 µg/mL de antibióticos en un antibiograma según la técnica Kirby-Bauer. *Bacillus clausii* mostró un porcentaje de inhibición más bajo frente a clindamicina, con un 3%, seguido por trimetoprima-sulfametoxazol con 1% y ciprofloxacino, con un 24.81% en el producto B y un 5.01%, 38.25% y 20.45% en el producto A; respectivamente. Los resultados muestran que el sujeto A presenta las características suficientes para lograr su supervivencia en entornos con antibióticos inhibidores de bacterias grampositivas, ya que exhibió una menor inhibición frente a clindamicina y trimetoprima-sulfametoxazol, lo que sugiere la presencia de mecanismos de resistencia intrínseca o adaptativa. Esta resistencia podría estar relacionada con la producción de esporas, la presencia de bombas de expulsión de antibióticos o la modificación de dianas antibióticas, permitiendo su viabilidad en presencia de estos agentes antimicrobianos. Esto podría lograr reducir los efectos adversos en el microbiota intestinal y favorecer la salud digestiva durante terapias prolongadas.

Palabras clave: Antibióticos, bacterias Gram-positivas, inhibición.

ABSTRACT

Antibiotics treat bacterial infections; however, its administration can affect the intestinal microbiota, generating imbalances and digestive disorders. To compare the susceptibility of *Bacillus clausii* to gram-positive bacterial inhibitor antibiotics, the percentage of inhibition of two commercial strains (A and B) from probiotics was evaluated, in the presence of the antibiotic's clindamycin, ciprofloxacin and trimethoprim-sulfamethoxazole. The strains were characterized by Gram staining and morphological analysis (size, shape, elevation, cormogenesis, border and texture). They were exposed to concentrations of 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 µg/mL of antibiotics in an antimicrobial susceptibility test according to the Kirby-Bauer technique. *Bacillus clausii* showed a lower percentage of inhibition against clindamycin, with 3%, followed by trimethoprim-sulfamethoxazole with 1% and ciprofloxacin, with 24.81% in product B and 5.01%, 38.25% and 20.45% in product A; respectively. The results show that subject A has sufficient characteristics to achieve survival in environments with antibiotics that inhibit gram-positive bacteria, since he exhibited a lower inhibition against clindamycin and trimethoprim-sulfamethoxazole, suggesting the presence of intrinsic or adaptive resistance mechanisms. This resistance could be related to the production of spores, the presence of antibiotic expulsion pumps or the modification of antibiotic targets, allowing their viability in the presence of these antimicrobial agents. This could reduce adverse effects on gut microbiota and support digestive health during prolonged therapies.

Key words: Antibiotics, gram-positive bacteria, inhibition.

INTRODUCCIÓN

La sensibilidad microbiana se refiere a la capacidad de un microorganismo para ser inhibido o eliminado por un agente antimicrobiano, lo que permite desarrollar estrategias terapéuticas eficaces contra infecciones bacterianas. Su evaluación mediante pruebas como el antibiograma resulta esencial para identificar qué antibióticos son efectivos frente a una bacteria específica y, con ello, seleccionar el tratamiento más adecuado (Martínez-Campos, 2021). Además de optimizar la terapia antibiótica, comprender la sensibilidad microbiana es clave para prevenir la resistencia antimicrobiana, un problema de gran relevancia a nivel global. Según De Castro et al. (2020), el uso inadecuado de antibióticos puede favorecer la aparición de cepas resistentes, lo que representa un desafío creciente en el ámbito de la salud pública. Por ello, evaluar la susceptibilidad bacteriana es una herramienta fundamental para mejorar las estrategias de control y tratamiento de infecciones.

Este conocimiento también tiene aplicaciones importantes en el desarrollo de probióticos; Ghelardi et al. (2022) destacan que conocer la resistencia o sensibilidad de ciertas bacterias probióticas permite evaluar su viabilidad en tratamientos combinados con antibióticos sin comprometer el microbiota intestinal. En particular, determinar la sensibilidad de *Bacillus clausii* es esencial para establecer si puede coexistir con determinados antibióticos sin ser eliminado, lo que podría favorecer su uso en terapias prolongadas sin afectar su viabilidad. Por otro lado, algunas bacterias probióticas presentan resistencia intrínseca a ciertos antimicrobianos sin transferir genes de resistencia a patógenos, lo que las hace seguras para su aplicación clínica. De acuerdo con De Castro et al. (2020), este tipo de resistencia puede ser beneficioso en el ámbito de la terapia antibiótica, ya que permite reforzar el microbiota intestinal sin riesgo de diseminación de genes de resistencia. En este contexto, evaluar la sensibilidad de *Bacillus clausii* frente a antibióticos específicos permitirá comprender mejor su potencial terapéutico y su papel en la preservación del equilibrio intestinal durante el uso de antimicrobianos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se adquirieron dos probióticos comerciales con *Bacillus clausii* (sujeto A y sujeto B), con una concentración inicial de 4×10^9 UFC para el sujeto A y 2×10^9 UFC para el sujeto B. Para la preparación del medio de cultivo, se pesaron 9.33 g de agar nutritivo, los cuales se disolvieron en 430 mL de agua destilada y se calentaron hasta ebullición. La mezcla se esterilizó en autoclave a 120 °C por 15 minutos y se dejó enfriar antes de verter en 20 cajas Petri estériles. Bajo condiciones estériles, se sembraron las cepas mediante la técnica de estrías, utilizando un asa bacteriológica y 10 µL de cada probiótico. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24-48 horas. Posteriormente, se realizó la caracterización macroscópica de las colonias y una tinción de Gram para verificar la morfología y pureza de *Bacillus clausii*. Para evaluar la sensibilidad a antibióticos, las cepas se resembraron en agar Mueller-Hinton, ajustado a 15.96 g en 430 mL de agua destilada. La prueba de susceptibilidad se realizó mediante la técnica de Kirby-Bauer. Se prepararon soluciones de clindamicina, trimetoprima-sulfametoxazol y ciprofloxacino en concentraciones de 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 µg/mL, basándose en la concentración mínima inhibitoria (CMI) de clindamicina para bacterias grampositivas (1.6 µg/mL) según la ficha técnica de Clindamicina Normon 300 mg. Se sumergieron discos de sensibilidad en cada solución y se colocaron sobre las placas inoculadas. Luego, se incubaron a 37 °C por 16-24 horas. Finalmente, se midieron los halos de inhibición y se calculó el porcentaje de inhibición mediante la ecuación de Miranda-Cruz et al. (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la caracterización macroscópica y microscópica. Según León et al. (2015) *B. clausii* es una bacteria Gram-positiva, aerobia estricta, soporta entornos alcalinos, no patógeno, móvil y formadora de esporas, con flagelos y colonias color blanco cremoso, 40°C es su temperatura de crecimiento óptimo. El sujeto A y el sujeto B crecieron en medio nutritivo a un pH de 7.5 con un tiempo de

crecimiento de alrededor de 60 minutos a una temperatura de 37°C en placa Petri, similar a lo reportado por Senesi et al. (2001) donde a un pH de 7 y en un rango de 35°C a 40°C el tiempo de crecimiento resultó en 39 minutos, evidenciando la tolerancia de *B. clausii* a la alcalinidad. A pesar de solo haber inoculado 1 µL de probiótico por placa, las colonias observadas tuvieron una variación en el tamaño y densidad, pues, investigaciones señalan que el número de colonias se relaciona con la cantidad de UFC presentes. A nivel microscópico se observaron bacilos móviles, ambos teñidos de violeta característica propia de bacterias grampositivas como se muestra en la derecha de la Figura 1. La cantidad de células observadas también proporcional a la cantidad de UFC que contienen las muestras de probiótico utilizadas. Las características de ambos se describen en el Cuadro 1.

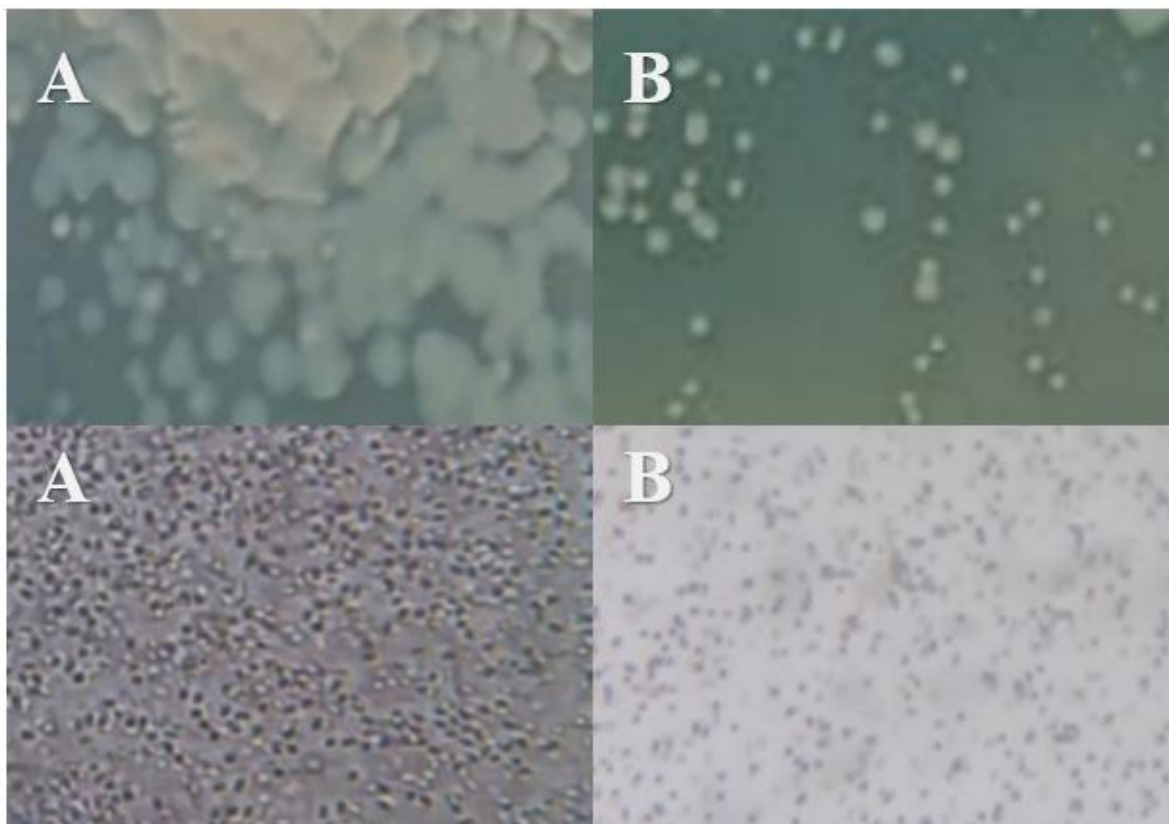


Figura 1. Imagen aumentada de *B. clausii* del sujeto A y sujeto B para comparar su tamaño y crecimiento en medio de cultivo nutritivo (izquierdo), células de *Bacillus clausii* teñidas de color violeta y cantidad de células en sujeto A y B (derecho).

Cuadro 1. Características morfológicas microscópicas de *B. clausii*

Característica	<i>B. c.*</i> Sujeto A	<i>B. c.*</i> Sujeto B	<i>Bacillus clausii</i>
Diámetro	Entre 2-4mm	1-3 mm	3-4 mm en colonias
Forma colonial	Circular	Circular	Circular
Borde	Irregular y ligeramente ondulado	Irregular y ligeramente ondulado	Lisa tendiendo a irregular

Característica	<i>B. c.*</i> Sujeto A	<i>B. c.*</i> Sujeto B	<i>Bacillus clausii</i>
Elevación	Convexa	Convexa	Convexa/plana
Textura	Lisa brillante	Lisa brillante	Lisa brillante
Cromogénesis	Grisáceo claro	Grisáceo claro	Grisáceo claro

*La abreviación *B. c.* corresponde a *Bacillus clausii*. Datos referenciales obtenidos de (Scaldeferri et al., 2021).

Del porcentaje de inhibición Clindamicina. *Bacillus clausii* del sujeto A mostró un porcentaje de inhibición bajo del $5.01\% \pm 0.01$ mientras que, para el sujeto B, el porcentaje de inhibición fue del $3\% \pm 0.02$. resultados previos como los reportados por Senesi et al. (2001) afirman que las esporas de *B. clausii* son resistentes a clindamicina debido a la existencia de genes de resistencia a antibióticos similares a clindamicina intrínsecos en su DNA cromosomal.

Ciprofloxacino. El porcentaje de inhibición promedio fue de $20.45\% \pm 0.28$ para el sujeto A, mientras que para el sujeto B obtuvo un promedio de $24.81\% \pm 0.13$, indicando que el sujeto B tiene una menor tolerancia. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan su eficacia contra bacterias grampositivas (Chin & Neu, 1987) pues la variación en la inhibición depende de la cepa usada.

Trimetoprima-sulfametoxazol (TMP-SMX). El porcentaje de inhibición fue significativamente mayor en el sujeto A ($38.25\% \pm 0.37$) en comparación con el sujeto B ($1\% \pm 0.02$), lo que indica que el efecto del antibiótico varió dependiendo de la cepa analizada.

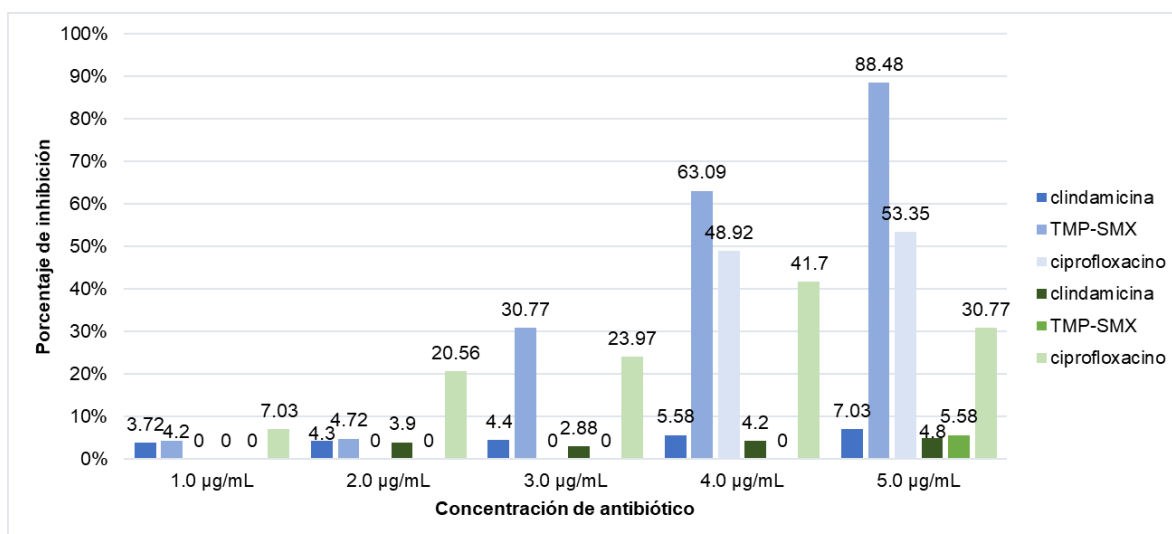


Figura 2. Porcentaje de inhibición de antibióticos contra *B. clausii* del sujeto A (columnas azules) y del sujeto B (columnas verdes). El antibiótico utilizado se diferencia según la saturación del color en orden descendente (clindamicina, TMP-SMX y ciprofloxacino), por ejemplo: los valores del porcentaje de inhibición para clindamicina corresponden a las columnas de color azul y verde más pigmentadas.

De la comparación del porcentaje de inhibición. Las diferencias en la respuesta de *Bacillus clausii* a los antibióticos entre el producto A y el producto B pueden deberse a factores genéticos y de formulación. Según León et al. (2015), la composición genética y la exposición a compuestos nocivos para la célula influye en su resistencia. Las cepas que contiene el sujeto A son O/C (CNCM I-276),

N/R (CNCM I-274), SIN (CNCM I-275) y T (CNCM I-273), según indican Ghelardi et al. (2022). Así mismo De Castro et al. (2020) afirman que las esporas tienen resistencia a varios antibióticos: O/C, resistente al cloranfenicol; N/R, resistente a novobiocina y rifampicina; SIN, resistente a neomicina y estreptomycin; T, resistente a tetraciclina, además en lo que respecta a *Bacillus clausii* de Sujeto B la única cepa que contiene es (TBC-034).

Investigaciones previas han demostrado que las variaciones en la respuesta de *Bacillus clausii* a los antibióticos pueden depender de factores como la cepa utilizada y las condiciones en las que ha sido cultivada (León et al., 2015). El producto A contiene cuatro cepas específicas en cambio, la composición del producto B no está claramente documentada, lo que dificulta la comparación.

León et al. (2015) reportan que existen factores que promueven la supervivencia a ambientes de estrés en bacterias, como la esporulación y la cantidad de UFC y que al ser mayor el número de bacterias viables como es el caso para el sujeto A que cuenta con 4×10^9 UFC, el doble que el sujeto B (2×10^9 UFC), aumenta el porcentaje de éxito de resistencia sin que se vea afectada la funcionalidad de los probióticos. En este sentido, la diferencia en los porcentajes de inhibición entre los sujetos A y B sugiere que sus características pueden influir en la forma en que responden a este antibiótico. Así mismo, Ghelardi et al. (2022), reportan que la capacidad de inhibición de ciertos antibióticos en *Bacillus clausii* puede estar determinada por la densidad bacteriana y la resistencia intrínseca de las cepas involucradas. Esto podría explicar por qué el sujeto A, con una mayor diversidad de cepas, muestra una mejor adaptación a estas condiciones, logrando su supervivencia en ambientes con antibióticos inhibidores de bacterias grampositivas

CONCLUSIÓN

El estudio comparativo de *Bacillus clausii* en los sujetos A y B evidenció diferencias significativas en su morfología, crecimiento y resistencia a antibióticos. Mientras que la inhibición frente a clindamicina fue baja en ambos casos ($5.01\% \pm 0.01$ en A y $3\% \pm 0.02$ en B), se observaron mayores diferencias con ciprofloxacino ($20.45\% \pm 0.28$ en A y $24.81\% \pm 0.13$ en B) y, especialmente, con trimetoprima-sulfametoxazol, donde el sujeto A mostró una inhibición de $38.25\% \pm 0.37$, en contraste con el $1\% \pm 0.02$ en el sujeto B. Estas variaciones pueden atribuirse a la composición genética, ya que el sujeto A contiene cuatro cepas (CNCM I-276, CNCM I-274, CNCM I-275 y CNCM I-273), con resistencia documentada a diversos antibióticos, mientras que el sujeto B solo presenta la cepa TBC-034. Estos hallazgos resaltan la importancia de evaluar la sensibilidad de las cepas antes de seleccionar probióticos, ya que su resistencia a determinados antibióticos puede influir en su eficacia para mantener el microbiota intestinal en pacientes bajo tratamiento antimicrobiano.

REFERENCIAS

- Chin, N. X., & Neu, H. C. (1987). Post-antibiotic suppressive effect of ciprofloxacin against gram-positive and gram-negative bacteria. *American Journal of Medicine*, 82(4A), 58–62.
- De Castro, J. A., Kesavelu, D., Lahiri, K. R., Chajitiraruch, N., Chongsrisawat, V., Jog, P. P., Liaw, Y. H., Nguyen, G. K., Nguyen, T. V. H., Pai, U. A., Phan, H. N. D., Quak, H. S., Tanpowpong, P., & Guno, M. J. (2020). Recommendations for the adjuvant use of the poly-antibiotic-resistant probiotic *Bacillus clausii* (O/C, SIN, N/R, T) in acute, chronic, and antibiotic-associated diarrhea in children: Consensus from Asian experts. *Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines*, 6(21), 2–15.
- Ghelardi, E., Abreu, Y., Abreu, A. T., Marzet, C. B., Alvarez-Calatayud, G., Perez, M. III, & Moschione-Castro, A. P. (2022). Current progress and future perspectives on the use of *Bacillus clausii*. *Microorganisms*, 10(6), 1246.
- León, K., Urbina-Medina, H., Sánchez, E., Abraham, A., & Artis, M. T. (2015). Productos y efectos. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 78(4), 129–134.
- Martínez-Campos, L. (2021). Lectura interpretada del antibiograma: Una herramienta esencial en la práctica clínica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 39(3), 182–189.

- Miranda-Cruz, E., Espinosa-Moreno, J., Centurión-Hidalgo, D., Velázquez-Martínez, J. R., & Alor-Chávez, M. de J. (2012). Actividad antimicrobiana de extractos de *Psidium friedrichsthalianum* L., *Pterocarpus hayesii* L., *Tynanthus guatemalensis* L. y *Spondias purpurea* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(4), 354–361.
- Scaldaferri, F., Graziani, C., Mora, V., Petito, V., Lopetuso, L. R., Puca, P., Ianiro, G., Napolitano, D., Quaranta, G., Masucci, L., Sanguinetti, M., Poscia, A., Talocco, C., Sgambato, A., & Gasbarrini, A. (2021). *Bacillus clausii* (O/C, SIN, N/R, T) improves acute mild colitis in mice while in vivo modulating gut microbiota. *Annals of Gastroenterology and Digestive System*, 4(1), 1035.
- Senesi, S., Celandroni, F., Tavanti, A., & Ghelardi, E. (2001). Molecular characterization and identification of *Bacillus clausii* strains marketed for use in oral bacteriotherapy. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(2), 834–83.

Huertos familiares de subsistencia en los Valles Centrales de Oaxaca

Tamara Aquino-Aguilar^{1*}, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹, Jesús Andrés Morales-López¹, Teodulfo Aquino-Bolaños¹

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: taquinoa2000@alumno.ipn.mx

Recibido: 06/10/25; Aceptado: 06/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Los huertos familiares son sistemas de producción tradicionales que ayudan a la soberanía alimentaria de las familias. El objetivo de este estudio fue analizar la estructura, tecnificación y biodiversidad de los huertos familiares de los Valles Centrales de Oaxaca. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a dueños de huertos familiares y visitas programadas en el mes de mayo de 2024. Se encontró que el 62% de los encargados de los huertos son mujeres, el rango de edad es de 40 a 60 años, y el 100 % de las familias no dependen directamente de los huertos sino son un ingreso complementario. Por otro lado, el 66.66 % de los huertos son pequeños debido a que cuentan con una superficie entre 25 a 200 m², el 16.66% se conforma por huertos medianos con una superficie menor a 650 m² y el resto corresponde a huertos grandes que superan una superficie mayor a 1500 m². El uso de químicos en los huertos familiares solo se presentó en un 33% por lo que en general los productos cosechados son orgánicos, los huertos grandes usan trabajadores externos a los de su núcleo familiar, así como instrumentos más sofisticados y algunos tienen cultivos bajo cubierta. Los animales que predominan en las granjas son aves de corral y la flora predominante pertenecen a las familias Rutaceae, Fabaceae, Asteraceae y Lamiaceae. Se concluye que los huertos familiares son de subsistencia, ayudando a la soberanía alimentaria de las comunidades y a la conservación de la flora y fauna, así como al conocimiento de técnicas tradicionales de cultivo y su uso.

Palabras clave: Cultivos tradicionales, hortalizas, solares y producción.

ABSTRACT

Home gardens are traditional production systems that contribute to the food sovereignty of families. The objective of this study was to analyse the structure, technification and biodiversity of home gardens in the Central Valleys of Oaxaca. Semi-structured interviews were conducted with home garden owners and visits were scheduled in May 2024. It was found that 62% of the people in charge of the gardens are women, the age range is between 40 and 60 years, and 100% of the families do not depend directly on the gardens, but they are a complementary income. On the other hand, 66.66% of the orchards are small because they have a surface area between 25 and 200 m², 16.66% are medium-sized orchards with a surface area of less than 650 m² and the rest are large orchards with a surface area of more than 1500 m². The use of chemicals in the home gardens was only present in 33% of them, so in general the harvested products are organic, the large gardens use workers from outside the family nucleus, as well as more sophisticated instruments and some have crops under cover. The predominant animals on the farms are poultry, and the predominant flora belong to the Rutaceae, Fabaceae, Asteraceae and Lamiaceae families. It is concluded that the home gardens are subsistence gardens, helping the food sovereignty of the communities and the conservation of flora and fauna as well as the knowledge of traditional cultivation techniques and their use.

Key words: Traditional crops, vegetables, plots, production.

INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares también conocidos como solares son considerados sistemas de producción de subsistencia y tradicionales que no superan la hectárea, la diversidad con la que cuentan es alta y se encuentran cerca de las viviendas, por conveniencia y cuidado personal (Sol-Sánchez et al., 2016). De estos sistemas de producción se obtienen diversos productos de origen animal y vegetal durante

todo el año para su autoconsumo, además, los huertos cumplen servicios ambientales como lo son: reciclaje de nutrientes, almacenamiento de agua, sombra, captura de carbono y protege al suelo de la erosión, así como funciones sociales: convivencia, recreación y descanso entre la familia y la comunidad (Chablé-Pascal et al., 2015).

En México se han elaborado estudios de huertos familiares: Castañeda-Guerrero et al. (2020), encontró que los huertos familiares de Caxhuacan, Puebla son de importancia cultural y social, además se encontraron 361 especies vegetales que forman parte la composición florística. Cano (2015), menciona que los huertos familiares en Tabasco son parte fundamental para tener una soberanía alimentaria, así como ayudan a la conservación de razas y variedades locales de plantas y animales. Monroy-Martínez et al. (2016) reportó 45 especies y dos variedades de plantas, así como tres animales domésticos alimentarios, uno de carga y dos de compañía en huertos ubicados en Tlaltizapan, Morelos, México. Chablé-Pascual et al. (2015) encontró un total de 330 especies vegetales distintas, así como fauna silvestre (zorros, búhos, ratones de campo serpientes, entre otros) y doméstica (gallinas, patos, pavos, cerdos y perros).

En Oaxaca se han elaborado trabajos de investigación sobre huertos familiares, debido a su gran diversidad biótica y cultural: De la Rosa-Reyes et al. (2014) reportó una riqueza florística de 120 especies útiles, que se utilizan para autoconsumo, como alimento para sus animales, como plantas medicinales, condimentos y ornamental. Así como la presencia de animales como vacas, bueyes y aves de corral en huertos familiares ubicados en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca. Zurita-Vásquez et al. (2020) reportó en San Andrés Paxtlán, Oaxaca 90 especies vegetales donde la mayor parte de la producción es para autoconsumo y una mínima parte para la venta local. Gómez & Arellanes (2018) reportaron huertos familiares en la Villa de Zaachila, Oaxaca donde encontraron 35 especies cultivadas y comercializadas en el día de plaza de la comunidad. La creación y manejo de los huertos familiares han sido una práctica que ayuda a satisfacer necesidades básicas del hombre, por medio del manejo sostenible de los recursos alimenticios, medicinales y ornamentales, además de ayudar a la conservación del ambiente de forma cultural, promoviendo los valores éticos y normas de conservación. Por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar la estructura, tecnificación y biodiversidad de los huertos familiares de los Valles Centrales de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 12 huertos familiares que fueron elegidos a conveniencia, ubicados en los Valles Centrales de Oaxaca que comprende siete distritos (Centro, Ejutla, Etla, Ocotlán, Tlacolula, Zaachila y Zimatlán) con 121 municipios (Figura 1). El Instrumento de recolección de datos fue a través de una entrevista semiestructurada a los propietarios de los huertos, con el fin de obtener información sobre las características sociales, culturales y económicas. Se formuló un guion de entrevista para identificar mediante el análisis situacional las razones por las cuales decidieron crear huertos familiares, el manejo que se les da, cuáles son las plantas que siembran, el uso que le dan, si son para consumo propio o para venta, años que llevan funcionando, beneficios y limitantes. Así mismo se preguntaron datos de los propietarios de los huertos (edad, sexo y escolaridad).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura y manejo de los huertos familiares. Los huertos familiares son parte integral del hogar familiar, que satisface cierto tipo de requerimientos alimentarios, económicos y recreativos (Escobar-Hernández et al., 2017), por lo general estos huertos están a cargo de mujeres de mediana edad y hombres de edad avanzada, debido a que las personas jóvenes se dedican a estudiar o a trabajar, así como los jefes de familia se dedican a actividades remuneradas (agricultor, comerciante, albañil o asalariados) (Pulido-Salas et al., 2017; Castañeda-Guerrero et al., 2020).

De acuerdo con los datos obtenidos el 38 % de los propietarios de los huertos son hombres, los cuales tienen otro trabajo, de modo que el 62 % restante son mujeres que se dedican a las labores del hogar y al cuidado de los huertos, sin embargo, sus esposos cuentan con un trabajo, por lo que las familias no dependen al 100 % de los huertos. La mayoría de los entrevistados solo tienen educación básica y la edad predominante es de 40 a 60 años (Figura 2). Estrada-Martínez & Escobar-Salas (2020) reportan que el 83.45 % de los encargados de los huertos son mujeres que se dedican a las labores del hogar, otros autores reportan datos similares (Krishnamrthy et al., 2017; Montenegro & Leiva, 2017). Por lo que se destaca la importancia de la mujer en el cuidado de los huertos familiares, debido a que son las principales personas que proporcionan alimentos a la familia, así como su participación en la economía doméstica (Cruz, 2016).

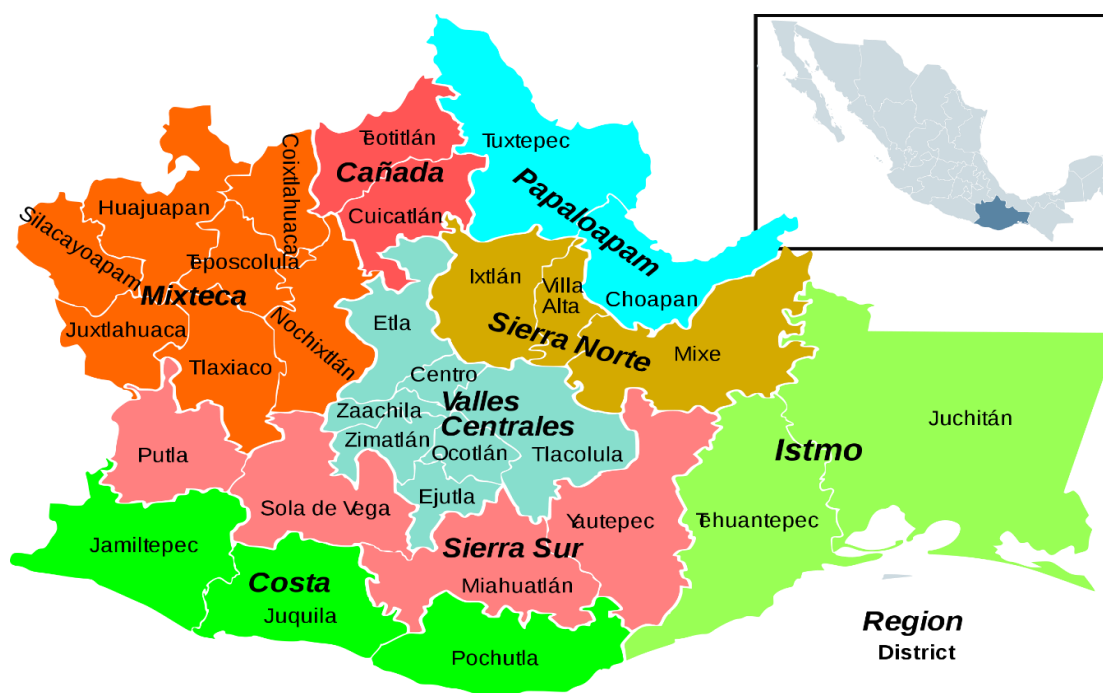


Figura 1. Mapa de micro localización de los Valles Centrales de Oaxaca.

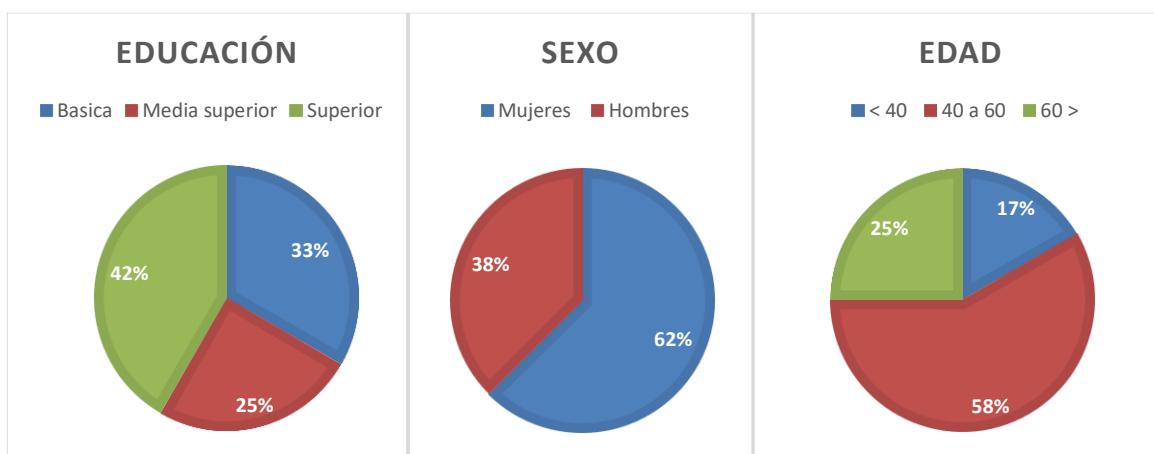


Figura 2. Valores promedio de los propietarios de huertos familiares encuestados en los Valles Centrales de Oaxaca.

Los huertos donde se realizaron las entrevistas tienen de 4 a 20 años funcionando para consumo propio o/y venta, por lo tanto, el 45.83% de los huertos entrevistados es para consumo propio, el 37.5% venden y consumen sus productos cosechados y el 16.66% de los huertos se dedican a vender todo lo que cosechan (Cuadro 1). Pulido-Salas et al. (2017) menciona que en el sureste mexicano los huertos son sistemas humano-naturales alternativos, que contribuyen a la conservación de biodiversidad, además, es una forma de obtener alimentos de consumo familiar y de ingresos monetarios a partir de sus productos cosechados.

Cuadro 1. Ubicación de los huertos familiares entrevistados.

Huerto familiar	Localidad y municipio	Coordenadas L.N y L.O	Años	Consumo	Otro tipo de cultivo	Superficie (m ²)
1	Cuicapam de Guerrero	16° 59' 45'', 96° 46' 47''	4	CP y VL	Peces (mojarra)	634
2	San Isidro monjas, Santa Cruz Xoxocotlán.	17° 16' 17', 96° 74' 86''	15	CP	No	30
3	Arrazola, Santa Cruz Xoxocotlán.	17° 03' 97'', 96° 78' 97''	10	VL	No	1610
4	Esquipulas, Santa Cruz Xoxocotlán.	17° 06' 71', 96° 60' 61''	4	CP y VL	Gallinas	648
5	Ocotlán de Morelos	16° 47' 29'', 96° 40' 30''	10	VL	Peces (mojarra)	1672
6	Zimatlán de Álvarez	16° 52' 9.8", 96° 47' 66"	8	CP y VL	Gallinas	105
7	Zimatlán de Álvarez	16° 52' 9.8", 96° 47' 66"	20	CP y VL	Chivos	200
8	San Sebastián, Etlá.	17° 16' 52'', 96° 78' 22''	15	VL	Gallinas	1750
9	Santiago Tenango, Etlá.	17° 19' 00'', 97° 00' 00''	8	CP	Gallinas y guajolotes	30.24
10	San Francisco, Telixtlahuaca.	17° 18' 1'', 96° 53' 60''	5	CP	No	16.8
11	San Jerónimo Tlacoahuaya	17° 0' 27'', 96° 35' 2''	7	CP	Gallinas y guajolotes	25
12	San Pablo Villa de Mitla	16° 55' 19'', 96° 21' 35''	6	CP y VL	No	100
13	Bosque sur, Santa Lucía del Camino	17° 04' 00'', 96° 41' 00''	10	CP	Conejos	20
14	Tlacolula de Matamoros	16° 57' 15'', 96° 28' 45''	9	CP y VL	No	650
15	La Soledad, Zaachila	16° 57' 04'', 96° 44' 58''	4	CP	Gallinas	31
16	Santa Gertrudis	16° 47' 00'', 96° 48' 00''	5	CP y VL	Cerdos	112
17	Santa Gertrudis	16° 47' 00'', 96° 48' 00''	6	CP	No	25
18	El Retiro, Santa María del Tule	17° 02' 47'', 96° 38' 11''	8	VL	Peces (mojarra)	1750

Huerto familiar	Localidad y municipio	Coordenadas L.N y L.O	Años	Consumo	Otro tipo de cultivo	Superficie (m ²)
19	San Andrés Huayapam	17° 06' 00'', 96° 40' 00''	7	CP y VL	No	630
20	San Sebastián Tutla	17° 04' 00'', 96° 40' 00''	5	CP	No	30
21	Santa María Coyotepec	16° 59' 00'', 96° 42' 00''	7	CP	Gallinas	16
22	El Llanito, Santa María Coyotepec	16° 59' 00'', 96° 42' 00''	5	CP	No	45
23	Paraje las Salinas, San Raymundo Jalpan	16° 97' 18'', 96° 75' 60''	6	CP y VL	No	120
24	San Raymundo Jalpan	16° 97' 18'', 96° 75' 60''	8	CP	Gallinas	80

CP: consumo propio, VL: venta local

Animales domésticos. Cano (2015) menciona que el subsistema de producción animal en los huertos familiares ha sido poco estudiado, sin embargo, se propusieron cinco categorías con los animales asociados a los huertos, que son: animales de protección, de consumo, de valor de cambio y uso, de trabajo y de ornato (Mariaca et al., 2007). Del 100 % de los propietarios entrevistados el 58.33 % cultiva algún tipo de animal (gallinas, guajolotes, chivos, cerdos, conejos o peces) (Cuadro 1). Las personas que tienen gallinas aprovechan los huevos para su consumo propio y venta local solo en ocasiones, el número de gallinas es de 8 a 15 organismos, sin embargo, existe un huerto familiar el cual se dedica a la producción de huevos para su venta local y en el restaurant que tiene, por lo que sus gallineros están mejor contruidos y tiene 50 gallinas ponedoras (Figura 3). Se ha reportado que en las zonas rurales de México se conserva la tradición de criar aves domésticas (gallinas y guajolotes), sin embargo, es una práctica que está desapareciendo junto con las culturas indígenas locales (Moctezuma, 2014), a pesar de su valor biocultural que pueden aportar las variedades criollas de guajolote (Mariaca, 2012). En este estudio solo dos granjas crían guajolotes.

Respecto a los huertos con cultivo de peces, pasa algo similar, en uno la producción es para consumo propio y en ocasiones venta local, por lo que su sistema de cultivo es extensivo (estanque rustico, a cielo abierto, sin aireación y no suministran alimento comercial), en cambio los otros dos huertos producen para venta, por lo que utilizan un sistema semi-extensivo (estanques bajo cubierta, sistema de aireación por las noches y suministra alimento comercial) (Figura 3). El único huerto que cultiva cerdos los crece para venta local y regional. El resto de los huertos que crían animales (guajolotes, chivos y conejos) son para consumo propio por lo que solo tienen de 1 a 8 organismos. Van der wall & Torres (2011) menciona que los huertos familiares son de autoconsumo, de trueque (en algunas regiones donde a un existe esta forma de comercialización) y venta en mercados locales e internacionales tanto de sus productos de origen animal como vegetal, sin embargo, su función en la economía familiar sigue siendo complementaria.

Tecnificación y tamaño de los huertos familiares. Dentro de los huertos existen cinco capitales de estrategia económica familiar, que ayudan a conocer su contribución económica, estas son: capital natural (bienes públicos intangibles (biodiversidad y atmosfera), y activos utilizados en la producción, como árboles y tierra), físico (infraestructura básica y bienes de producción como herramientas y equipos), humano (aptitudes, conocimiento y capacidades laborales, tomando en cuenta la cantidad y calidad de la mano de obra), financiero (créditos, subsidios, ahorros de dinero y en especie para autoconsumo y producción) y social (redes y relaciones desarrolladas con el fin de conseguir un beneficio mutuo) (Van der wall & Torres, 2011).

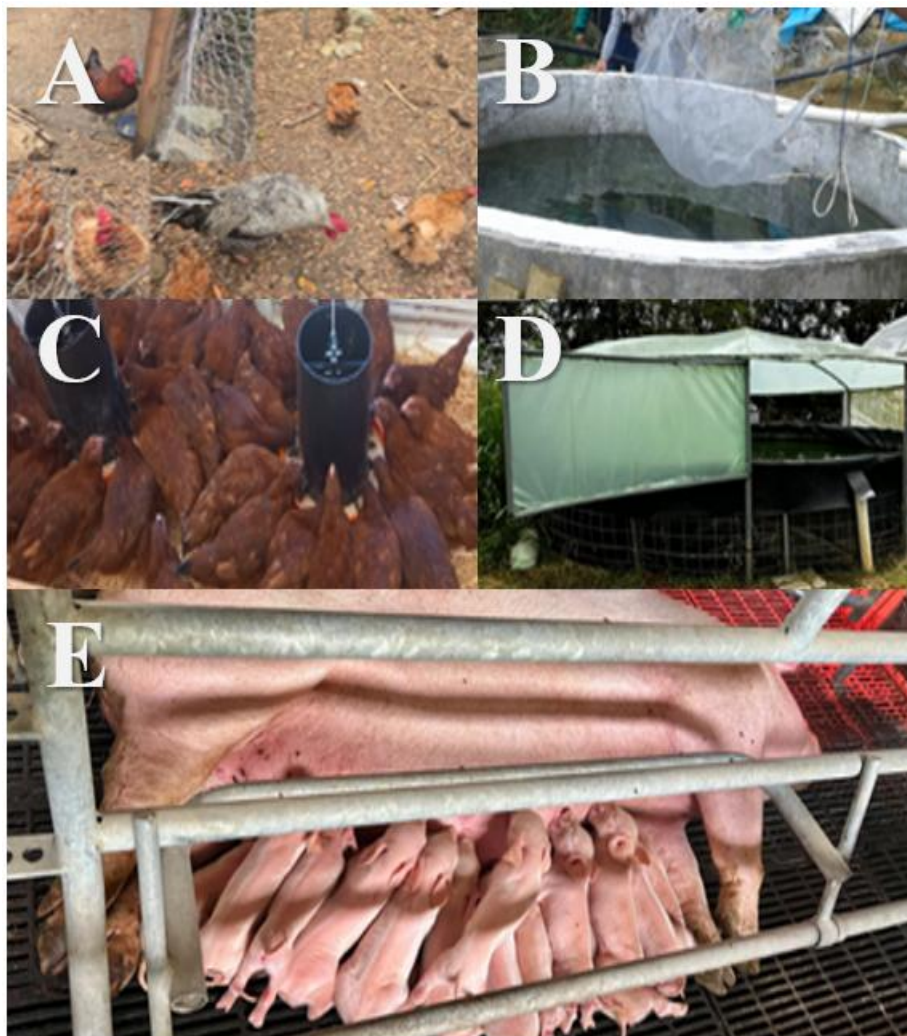


Figura 3. Animales cultivados, A) gallineros para consumo propio, B) cultivo de peces extensivo, C) gallineros para venta, D) cultivo de peces semi-extensivo y E) cría de cerdos para venta.

Por lo que en los huertos familiares entrevistados se presentaron diferentes tamaños (m^2), dieciséis de los huertos tienen una superficie menor a $201 m^2$, cuatro huertos presentaron una superficie entre 630 a $650 m^2$ y los cuatro restantes una superficie mayor a los $1500 m^2$ (Cuadro 1). El uso de químicos en los huertos solo se presentó en un 33% por lo que en general los productos cosechados son orgánicos, los huertos grandes usan trabajadores externos a los de su núcleo familiar, así como instrumentos más sofisticados (tractores, sistema de riego, agroquímicos) y alguno de ellos tienen cultivos bajo cubierta (Figura 4).

Castañeda-Guerrero et al. (2020) realizó un estudio de huertos familiares en Caxhuacan, Puebla, México donde indicó que el tamaño promedio de los predios fue de $447 m^2$, similar a los resultados obtenidos con $430.41 m^2$, por otro lado, Chablé-Pascal et al. (2015) reportó el tamaño promedio de tres diferentes huertos ubicados en tres sitios distintos de la Chontalpa, Tabasco, México y obtuvo promedios muy por arriba de los nuestros con: $2,189$ 8553 y $3105 m^2$ y Sol-Sánchez et al. (2016) reportó huertos de $300 m^2$ a $2,268 m^2$ y menciona que los huertos que no se sobrepasan de una hectárea, indican su naturaleza de subsistencia o tradicional, así mismo clasificó los huertos en pequeños (293.93 a $494.41 m^2$), medianos (509.04 a $920.18 m^2$), regulares (1011.35 a $1498.7 m^2$),

grandes (1545.78 a 1756.8 m²) y muy grandes (2,214.31 a 2866 m²) esto en relación a la superficie de los huertos.

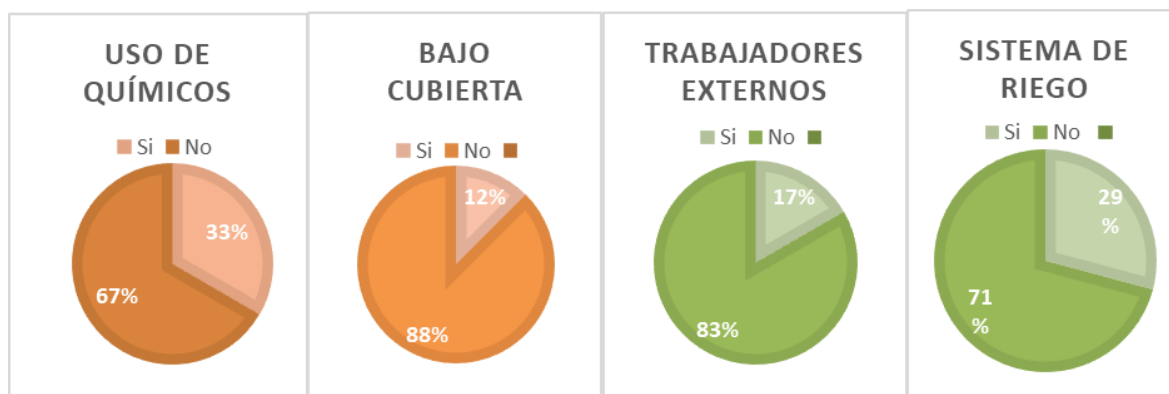


Figura 4. Tecnificación de los huertos familiares

Huertos pequeños. En este estudio se encontraron huertos con una superficie menor a la establecida por Sol-Sánchez et al. (2016), en los huertos pequeños, sin embargo, se establecieron en esta categoría en un rango de 25 a 200 m², estos huertos iniciaron con la finalidad de tener alimentos de origen vegetal para consumo propio, de esta forma aprovechan los residuos orgánicos que se generan en su hogar. Los entrevistados comentan tener experiencia en la siembra y cosecha de vegetales, debido a que desde niños realizaban labores de agricultura. En este tipo de huertos solo las personas del núcleo familiar intervienen en el cuidado de los cultivos (Figura 5). Los huertos pequeños en regiones rurales de bajos recursos, contribuyen al subsidio de productos frescos y variados proporcionando vitaminas, proteínas y calorías a las familias, sin implicar un gasto en efectivo (Van der Wal & Torres, 2011). Además de generar un valor agregado a los residuos orgánicos que se generan, debido a que se incorporan al suelo después de un proceso de compostaje y de esta manera se incrementa la fertilidad de los suelos (Schwanse, 2011).

Huertos medianos. Presentaron una superficie de 630 a 650 m² (Figura 6), estos huertos se iniciaron hace 4 años a causa de la pandemia del COVID-19, los propietarios mencionan que fue la manera de poder distraerse y lidiar con el estrés que causaba el encierro. Acevedo-Ortiz et al. (2023) menciona que el rescate o la creación de huertos familiares que se dio en la época de la pandemia del COVID-19 fue causado por las condiciones preexistentes en las comunidades rurales, como el incremento de los precios de los alimentos y su desabasto, la falta de empleo y un ingreso regular. En el huerto 1: la familia contaba con un cultivo de peces y para aprovechar el agua que recambiaba de los estanques sembraron policultivos. En el huerto 4: el propietario es ingeniero agrónomo y contaba con un terreno, por lo que decidió iniciar un huerto familiar para obtener hortalizas para su consumo propio, los encargados de este huerto son principalmente su esposa y el, sin embargo, existe el apoyo ocasional de otros integrantes de familia en épocas de siembra y cosecha. La cosecha de ambos huertos es para consumo y propio y venta local (vecinos y mercado local). Los huertos familiares son considerados como una estrategia de desarrollo que brinda alimentos, seguridad y bienestar a las familias involucradas, en donde se contribuye a la equidad de género, permitiendo que tanto como hombres y mujeres participen en la generación de ingresos económicos al hogar de forma sostenible (Lugo-Espinoza et al., 2023). El uso de agroquímicos para el control de plagas en este tipo de huertos se utiliza en cantidades bajas y cuando el método cultural aplicado no haya funcionado, se recurre al uso de plaguicidas químicos. De acuerdo con la FAO (2017) en los huertos familiares se utilizan productos agroquímicos, sin embargo, las técnicas culturales son las predominantes, debido a las tradiciones y costumbre de las personas, por cuidar el medio ambiente y la preferencia por el consumo de alimentos frescos y seguros.



Figura 5. Huertos familiares pequeños.



Figura 6. Huertos familiares medianos.

Huertos grandes. Presentan una superficie de 1610 a 1750 m². Donde dos de ellos tienen un restaurant y la mayor parte de su cosecha es destinada a sus negocios propios, además cuentan con

otro tipo de cultivo, uno de ellos tiene cultivo de peces (mojarra) y el otro de gallinas. Por otro lado, el tercer huerto solo se dedica a la venta de su cosecha, por lo que se asocia con productores de la región para poder vender sus productos. En este sentido la demanda de producción es mayor en los tres huertos comparados con los demás, por lo que utilizan mayor tecnificación como es el uso de; sistema de riego, agroquímicos y cultivos bajo cubierta (Figura 7). México es uno de los países con mayor número de huertos familiares, tanto en zonas rurales y urbanas, produciendo diversos alimentos que aportan a la dieta familiar, generan un ingreso económico extra en la mayoría de los casos y disminuye la dependencia del abasto exterior de insumos y alimentos de una forma tradicional y ecológicamente sustentable (Castellanos-Guzmán et al., 2024). De acuerdo con los datos del Censo Agropecuario 2017 (INEGI, 2017), el 51.9% son productores pequeños, que poseen menos de 2 hectáreas de terreno para cultivar y el 96.8 % realiza la agricultura a cielo abierto. Oaxaca es uno de los estados donde el 62% de los terrenos se utiliza para la actividad agrícola. Existen huertos que cuentan con micro o macro túneles para cultivar hortalizas y la extensión del espacio de los huertos puede variar desde unos cuantos metros cuadrados hasta una hectárea o más (Ortiz-Hernández et al., 2024). En México solo el 24.4% de los productores agrícolas utiliza abonos naturales y el 67.4 % mencionan utilizar fertilizantes químicos de acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria en el 2019 (INEGI, 2020).



Figura 7. Huertos familiares grandes con el uso de sistemas de riego, estructuras de cubierta y agroquímicos.

Plantas cultivadas. Los huertos familiares de los Valles Centrales de Oaxaca están conformados por 78 diferentes especies de plantas y 19 familias, las predominantes son la familia Lamiaceae, Asteraceae, Fabaceae y Rutaceae, las cuales están conformados por hierbas que se utilizan como condimentos en la elaboración de comidas y árboles frutales. El 28.94 % de las plantas cultivadas tienen un uso medicinal, la mayoría de ellas se utilizan para el dolor de estómago, dolor de cabeza y cólicos menstruales, por lo que el uso de las plantas de los huertos concuerda con lo citado por Chablé-Pascual et al. (2015) y Kantún-Balam et al. (2013) que indicaron que el principal uso de las plantas de los huertos es: alimenticio, medicinal y ornamental. Los entrevistados mencionan que el uso medicinal que le dan a las plantas es un conocimiento tradicional que han adquirido y esperan no perder, por lo que los huertos familiares ayudan de alguna manera a transmitir estos conocimientos a las nuevas generaciones. Moctezuma (2014) menciona que el conocimiento tradicional ecológico refleja las creencias y las relaciones del hombre con su entorno.

Un estudio elaborado por De la Rosa-Reyes et al. (2014) en la localidad de Cuilapam de Guerrero, Oaxaca perteneciente a los Valles Centrales de Oaxaca, encontró una diversidad florística de 120 especies, que pertenecen a 32 familias, siendo Asteraceae y Rutaceae las más predominantes. Otras investigaciones hechas en México por Kantún-Balam et al. (2013), Chablé-Pascual et al. (2015) y Castañeda-Guerrero et al. (2020) reportaron una diversidad de 449, 330 y 361 especies vegetales respectivamente, por lo que son datos mayores a los encontrados en los huertos de Valles Centrales de Oaxaca. Un factor importante que influye es la cercanía que tienen estas localidades con las zonas urbanas, tal y como lo menciona Moctezuma (2014).

Cuadro 2. Plantas cultivadas y sus usos en 24 huertos familiares de los Valles Centrales de Oaxaca.

Familia	Nombre común	Nombre científico	Uso
Amaranthaceae	Quintonil	<i>Amaranthus hybridus</i>	A
	Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	A
	Acelga	<i>Beta vulgaris</i> var. cicla	A
	Betabel	<i>Beta vulgaris</i> L.	A y M (anemia e hipertensión arterial).
	Epazote	<i>Dysphania ambrosioides</i>	C y M (dolor de estómago, para controlar el asma).
Amaryllidaceae	Cebollín	<i>Allium schoenoprasum</i>	A
	Ajo	<i>Allium sativum</i>	C y M
Asteraceae	Chepiche	<i>Porophyllum linaria</i>	A
	Árnica	<i>Arnica</i> sp.	M
	Cempasúchil	<i>Tagetes erecta</i>	O y M (tos, dolor de estómago)
	Pápalo	<i>Porophyllum ruderale</i>	A y M (dolor de muela)
	Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile</i>	M (cicatrizante y gastritis)
Apiaceae	Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	O
	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	A
	Apio	<i>Apium graveolens</i>	A
	Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>	C y A
	Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	C y A
Anacardiaceae	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	A
	Ciruela	<i>Spondias</i> sp.	A
	Mango	<i>Mangifera</i> sp.	A
	pistache	<i>Pistacia mexicana</i>	A
Apocynaceae	Flor de mayo	<i>Plumeria rubra</i>	O
Asparagaceae	Magüey	<i>Agave</i> spp.	A

Familia	Nombre común	Nombre científico	Uso
Asphodelaceae	Sábila	<i>Aloe vera</i> L.	M (heridas y quemaduras)
Annonaceae	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	A
Brassicaceae	Berro	<i>Nasturtium officinale</i>	A
	Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	A
	Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	A
	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	A
Cacteaceae	Nopal	<i>Opuntia</i> sp.	A y M
	Pitahaya	<i>Hylocereus</i> sp.	O y A
Cucurbitaceae	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	A
	Chilacayota	<i>Cucurbita ficifolia</i>	A
	Calabacita	<i>Cucurbita pepo</i>	A
	Chayote	<i>Sechium edule</i>	A
Caricaceae	Papaya	<i>Carica papaya</i>	A
	Chaya	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	M (desinflamante)
Euphorbiaceae	Corona de cristo	<i>Euphorbia milii</i>	O
	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	A y M
Fabaceae	Chípil	<i>Crotalaria</i> sp.	A
	Jícama	<i>Pachyrhizus erosus</i>	A
	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	A
	Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i>	A y M (desparasitante)
	Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	A
	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	A
Geraniaceae	Geranio	<i>Geranium</i>	O
Lamiaceae	Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	C y M
	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	C y M
	Menta	<i>Mentha</i> sp.	C y M
	Romero	<i>Salvia rosmarinus</i>	C y M
	Lavanda	<i>Lavandula angustifolia</i>	O y M (insomnio)
	Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i>	C y M (dolor de cabeza)
	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	C y M (cólicos, diarrea y tos)
	Hierba de olor	<i>Thymus vulgaris</i>	C
Lythraceae	Granada	<i>Púnica granatum</i>	A
Lauraceae	Aguacate	<i>Persea americana</i>	A
Nyctaginaceae	Bugambilia	<i>Bougainvillea</i> sp.	O y M
Musaceae	Plátano	<i>Musa</i> sp.	A
Myrtaceae	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	A
Portulacaceae	Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	A y M (estreñimiento)
Piperaceae	Hierba santa	<i>Piper auritum</i>	C y M (fiebre e inflamación)
Poaceae	Maíz	<i>Zea mays</i>	A
Rosaceae	Rosa	<i>Rosa</i> sp.	O
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	A
	Fresa	<i>Fragaria</i> sp.	A
Rutaceae	Toronja	<i>Citrus paradisi</i>	A
	Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	A
	Limón	<i>Citrus limon</i>	A y M (tos)

Familia	Nombre común	Nombre científico	Uso
Rubiaceae Solanaceae	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	A
	Lima	<i>Citrus limetta</i>	A
	Ruda	<i>Ruta graveolens</i>	O y M (desparasitante)
	Café	<i>Coffea sp.</i>	A
	Miltomate	<i>Physalis ixocarpa</i>	C
	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	A
	Chile de agua	<i>Capsicum annum L.</i>	A
	Chile piquín	<i>Capsicum annuum</i>	A
Verbenaceae	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	A
	Cedrón	<i>Aloysia citrodora</i>	O y M (dolor de estómago e insomnio)

A= Alimento, M= Medicinal, C= Condimento y O= Ornamental

CONCLUSIÓN

Se concluye que los huertos familiares la región de los Valles Centrales de Oaxaca son de subsistencia, los cuales ayudan a la soberanía alimentaria proporcionando alimentos frescos y de calidad, así mismo contribuyen a la economía de las familias, debido a la venta local o regional que se lleva a cabo. Por otra parte, contribuyen a la conservación de especies de plantas y animales, técnicas de cultivo y uso tradicional (alimenticio, medicinal y ornamental) de las especies cultivadas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado a la primera autora para realizar sus estudios de doctorado en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales en el CIIDIR IPN Oaxaca y al Sistema Nacional de Investigadores (SNII) del SECIHTI por el apoyo brindado a los Profesores del IPN.

REFERENCIAS

- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., Ortiz-Hernández, Y. D., & Pérez-Pacheco, R. (2023). Construyendo capacidades locales para obtener financiamiento colectivo e implementar huertos familiares en la Chinantla, Oaxaca. En ASMIIA. Los objetivos del desarrollo sostenible versus la pandemia de la COVID-19 (pp. 112–124).
- Cano, C. E. J. (2015). Huertos familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 10(20), 70–91.
- Castañeda-Guerrero, I., Aliphat-Fernández, M. M., Caso-Barrera, L., Lira Saade, R., & Martínez-Carrera, D. C. (2020). Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacan, Puebla, México. *Polibotánica*, (49), 185–217.
- Castellanos-Guzmán, D., Toledo-López, A., & Guzmán-Cruz, D. L. (2024). La transición agroecológica de los pequeños productores de huertos familiares. *Ciencias Administrativas: Teoría y Praxis*, 20(1), 66–87.
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 23–39.
- Cruz, Y. L. A. (2016). El papel de las mujeres en los huertos familiares. *Alternativas en Psicología*, 36, 46–60.
- De la Rosa-Reyes, P. K., Vázquez-Dávila, M. A., Villegas-Aparicio, Y., & Jerez-Salas, M. P. (2014). Los huertos familiares y la seguridad alimentaria de Cuilapam de Guerrero, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1), 40–51.
- Escobar-Hernández, M. E., Estrada-Lugo, E. I. J., & Bello-Baltazar, E. (2017). Intercambio de plantas entre huertos y otros espacios: ¿una estrategia de conservación para el bosque mesófilo de montaña del volcán Tacaná, Chiapas, México? *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 10(20), 92.
- Estrada-Martínez, M. E., & Escobar-Salazar, D. C. (2020). Desarrollo de huertos familiares por los adultos mayores guabeneños de la provincia El Oro, Ecuador. *Cooperativismo y Desarrollo*, 8(2), 349–361.

- Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). Algunas informaciones básicas sobre las huertas familiares. <https://www.fao.org/4/y5112s/y5112s03.htm>
- Gómez, S. L., & Arellanes, C. N. (2018). El huerto familiar como alternativa de seguridad alimentaria y de desarrollo sustentable: estudio de caso, Villa de Zaachila, Oaxaca. Libro Universitario, 178–192.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Censo Agropecuario 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo Agropecuario 2019.
- Kantún-Balam, J., Flores, J. S., Tun-Garrido, J., Navarro-Alberto, J., Arias-Reyes, L., & Martínez-Castillo, J. (2013). Diversidad y origen geográfico del recurso vegetal en los huertos familiares de Quintana Roo, México. *Polibotánica*, (36), 163–196.
- Krishnamurthy, L. R., Krishnamurthy, S., Rajagopal, I., & Peralta-Solares, A. (2017). Agricultura familiar para el desarrollo rural incluyente. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 135–147.
- Lugo-Espinosa, G., Acevedo-Ortiz, M. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & Aquino-Bolaños, T. (2023). Huertos familiares y participación comunitaria para la generación de medios de vida sostenibles. En ASMIIA. Los objetivos del desarrollo sostenible versus la pandemia de la COVID-19 (pp. 125–138).
- Mariaca, M. R. (2012). La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco / ECOSUR.
- Mariaca, M. R., González-Jácome, A., & Lerner, M. T. (2007). El huerto familiar en México: Avances y propuestas. En *Avances en agroecología y ambiente* (Vol. I, pp. 119–138). Universidad Autónoma de Puebla.
- Moctezuma, P. S. (2014). Cambios en la biodiversidad de los huertos familiares en una comunidad del suroeste de Tlaxcala. *Sociedad Ambiental*, 2(1), 4–22.
- Monroy-Martínez, R., Ponce-Díaz, A., & Colín-Bahena, H. (2016). Huertos familiares tradicionales: soporte de seguridad alimentaria en comunidades campesinas del estado de Morelos, México. *Ambiente y Sostenibilidad*, (6), 33–43.
- Montenegro, M. I., & Leiva, B. M. (2017). Enfoques de género en el papel de la mujer rural en la agricultura cubana. *Revista Prolegómenos. Derechos y Valores de la Facultad de Derecho*, 20(39), 29–38.
- Ortiz-Hernández, Y. D., Acevedo-Ortiz, M. A., Ortiz, H. F. E., & Tavera, C. M. E. (2024). Presencia y aportaciones de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) en los huertos familiares de Oaxaca. En ASMIIA (Ed.), *Rescatando la producción doméstica* (pp. 90–103).
- Pulido-Salas, M. T., Ordóñez, D., & Cáliz de Dios, H. (2017). Flora, usos y algunas causales de cambio en quince huertos familiares en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México. *Península*, 12(1), 119–145.
- Schwanse, E. (2011). Recycling policies and programs for PET drink bottles in México. *Waste Management and Research*, 29(9), 973–98.
- Sol-Sánchez, Á., Bautista-García, G., Velázquez-Martínez, A., & Llanderal-Ocampo, T. (2016). Estructura y zonas de manejo de los huertos familiares del Ejido La Encrucijada, Cárdenas, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(14), 2741–2756.
- Van der Wal, H., Huerta, L., & Torres, D. A. (2011). Huertos familiares en Tabasco: Elementos para una política integral en materia de ambiente, biodiversidad, alimentación, salud, producción y economía. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco y El Colegio de la Frontera Sur.
- Zurita-Vásquez, G. G., Manzanero-Medina, G. I., Vásquez-Dávila, M. A., & Lustre-Sánchez, H. (2020). Mujer, huerta familiar zapoteca y seguridad alimentaria en San Andrés Paxtlán, Sierra Sur de Oaxaca, México. *Red Temática de Sistemas Agroforestales de México*, 209–223.

Agroturismo: Flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) en huertos de Xoxocotlán, Oaxaca con perspectiva de género

Gema Lugo-Espinosa¹, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz^{1*}, Yolanda Donají Ortiz-Hernández², Teodulfo Aquino-Bolaños², Fernando Elí Ortiz-Hernández³

¹Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, SECIHTI. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, México.

²Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. ³Instituto Politécnico Nacional. ESIME CULHUACÁN, San Francisco Culhuacán, Ciudad de México. *Autor para correspondencia: macevedoo@ipn.mx

Recibido: 30/06/25; Aceptado: 02/10/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

La flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) es un elemento básico de ornato que se usa para decorar altares durante los festejos de día de muertos, una tradición nacional considerada patrimonio inmaterial de la humanidad por la UNESCO, y debido a estas festividades, la ciudad de Oaxaca cada año recibe un alto flujo de turistas y visitantes nacionales e internacionales. El objetivo de este trabajo fue analizar la importancia que tiene la iniciativa de agroturismo en huertos para los cultivos de flor de cempasúchil desde el enfoque de nueva ruralidad y la perspectiva de género. Se realizó investigación cualitativa, con análisis documental, observación participativa y entrevistas no estructuradas. Los principales resultados muestran que productores de flor Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, advirtieron la oportunidad de generar visitas en sus huertos mediante la exposición de huertos con iluminación en recorridos temáticos nocturnos para promocionar la venta de flor en mayor proporción cempasúchil, así como la cresta de gallo (*Celosia argentea* var. *cristata*) en diferentes colores; además, de un concurso de disfraces alusivos a la muerte hechos con diversos materiales naturales y sintéticos. Lograron la difusión y promoción de la cultura local, así como un espacio de recreación e interacción local y fomentan la equidad de género en las actividades. Se concluye que esta iniciativa de innovación de producción sostenible posiciona al agroturismo como un elemento detonador de desarrollo basado en el enfoque de nueva ruralidad, atrayendo visitantes y generando impactos sociales positivos, así como ingresos económicos que contribuyen al cultivo y comercio efectivo de la flor, salvaguardando la tradición y el desarrollo local.

Palabras clave: Innovación, tradición, *Tagetes erecta*, producción sostenible, turismo alternativo, equidad.

ABSTRACT

The Cempasúchil flower (*Tagetes erecta*) is a basic ornamental element used to decorate altars during the Day of the Dead celebrations, a national tradition considered intangible heritage of humanity by UNESCO. According to estimates of the Government of Mexico, Oaxaca, in 2022 ranked sixth nationally in cempasúchil production with 43 hectares planted. During the November festivities for the Day of the Dead, the city of Oaxaca receives every year a high flow of tourists and national visitors who come to enjoy the traditions. The objective of the research is to analyze the importance of the agro-tourism initiative in orchards for the cultivation of cempasúchil flowers from the new rurality approach. Qualitative research was conducted with documentary analysis, participatory observation and unstructured interviews. The main results show that flower producers in Xoxocotlan, noticed the opportunity to generate visits to their orchards through the exhibition of orchards with lighting in thematic night tours to promote the sale of flower in greater proportion cempasúchil as well as the cockscomb (*Celosia argentea* var. *cristata*) in different colors; in addition, a contest of costumes alluding to death made with various natural and synthetic materials. They achieved the dissemination and promotion of local culture as well as a space for recreation and local interaction and promote gender equity in the activities. It is concluded that this innovation initiative of sustainable production positions agrotourism as a detonating element of development based on the new rurality approach, attracting visitors and generating positive social impacts, as well as economic income that contributes to the effective cultivation and trade of the flower, safeguarding tradition and local development.

Key words: Innovation, tradition, *Tagetes erecta*, sustainable production, alternative tourism, equality.

INTRODUCCIÓN

En el año 2022, la producción de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) a nivel nacional fue de 20 mil 245 toneladas (SADER, 2022), anualmente la producción varía de acuerdo con las condiciones climáticas y estructurales, aunque la producción reflejada en 2020 y 2021 fueron ventas que disminuyeron por restricciones derivadas de la pandemia. En el año 2022, Oaxaca ocupó el sexto lugar a nivel nacional de producción de cempasúchil con 43 hectáreas sembradas (SADER, 2022). A nivel nacional, la flor de cempasúchil es usada principalmente en las ofrendas de los altares para las celebraciones de día de muertos, en sitios de recreación, casas, escuelas, restaurantes y para adornar las tumbas en los panteones. La celebración de día de muertos es considerada Patrimonio inmaterial de la humanidad por la UNESCO desde 2003 (Correa-Guevara, 2024). La nueva ruralidad como alternativa, emergió cuando el paradigma de desarrollo basado en modelos económicos delimitados por organismos internacionales como el Banco Mundial, tuvieron fracaso en países de Latinoamérica, con el incremento de desigualdades. La nueva ruralidad surgió como un enfoque donde las actividades alternativas dinamizan el sector agrícola, brindando opciones de ingresos con actividades no agrícolas y complementarias al salario campesino (Carton-de Grammont, 2019), entre ellas destacan las artesanías, trabajo asalariado, labores domésticas, migración a zonas urbanas, recolecta, intercambio en mercados locales, entre otras.

El turismo alternativo de igual manera es capaz de generar sustento económico para el desarrollo de la producción de forma sustentable; es decir, se basa en la prestación de servicios de recreación para visitantes orientado a la conservación de los recursos naturales con un impacto social (Lugo-Espinosa et al., 2021) en el desarrollo de actividades incorporadas al sector agrícola. La investigación se contempla desde la perspectiva de género para observar las desigualdades estructurales y considerar si las iniciativas de agroturismo en huertos promueven participación justa y equilibrada en el ámbito colectivo y familiar. Delgado-Piña et al. (2010) señalan que visualizar las limitaciones que enfrentan las mujeres como condiciones inadecuadas que restringen sus oportunidades de desarrollo, permite cuestionar las estructuras establecidas y promover nuevas acciones de inclusión y equidad. Por su parte, la UNESCO (2025) afirma que las desigualdades y los estereotipos de género conducen a la discriminación por lo que es fundamental reflexionar sobre aquellas costumbres que frenan la justicia social en el sector cultural para transformarlas.

En el estado de Oaxaca, la fuerza laboral femenina corresponde al 42% de la población; y el 12% se encuentran dedicadas a actividades de agricultura (Gobierno de México, 2025) desempeñando un rol fundamental para el desarrollo rural. La región de Valles centrales se caracteriza por mantener espacios de cultivo, actividades turísticas y sector de comercio distribuidas desde la zona centro hasta la periferia. En esta región, los agricultores ofrecen sus productos agropecuarios en mercados locales con ingresos económicos constantes. Los productores de flor de cempasúchil enfrentan problemas como la baja venta de sus productos, la competencia y el corto periodo de venta (30, 31 octubre, 1 y 2 de noviembre). Muchos agricultores deben trasladarse a zonas de alta afluencia para lograr vender la mayor parte de su producción. En algunos casos, los vendedores reducen los precios para aumentar las ventas. Aunque la flor de cempasúchil es tradicionalmente utilizada para adornar ofrendas y panteones, también es usada para decorar paredes de hoteles, restaurantes y zonas de recreación que frecuentan turistas nacionales y extranjeros.

A pesar de la constante demanda de esta flor cada año, los agricultores a menudo se ven obligados a vender su producción a bajo precio debido a la presión de los consumidores. Esta situación, junto con la competencia de productores de otras localidades, dificulta la venta óptima de su producto. En esta investigación, el objetivo fue analizar la importancia que tiene la iniciativa de agroturismo para los cultivos de flor de cempasúchil desde el enfoque de nueva ruralidad con perspectiva de género.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, donde había cultivos de flor de cempasúchil. La investigación tuvo un diseño cualitativo, durante el periodo de octubre-noviembre 2023, este periodo que se contrastó con las actividades del año 2024, para ello las técnicas de recopilación de datos fueron: A) Revisión documental, para conocer las principales aportaciones en las temáticas de agroturismo, nueva ruralidad y desarrollo sustentable que involucran la participación de actores locales para detonar autogestión para mejorar sus condiciones de vida; B) Observación participativa. Visitas a los huertos de cempasúchil a nivel comunitario; y C) Entrevistas no estructuradas, se realizaron entrevistas a personas que se encontraban en puntos estratégicos durante el evento de apertura de huertos de flor de cempasúchil al público visitante.

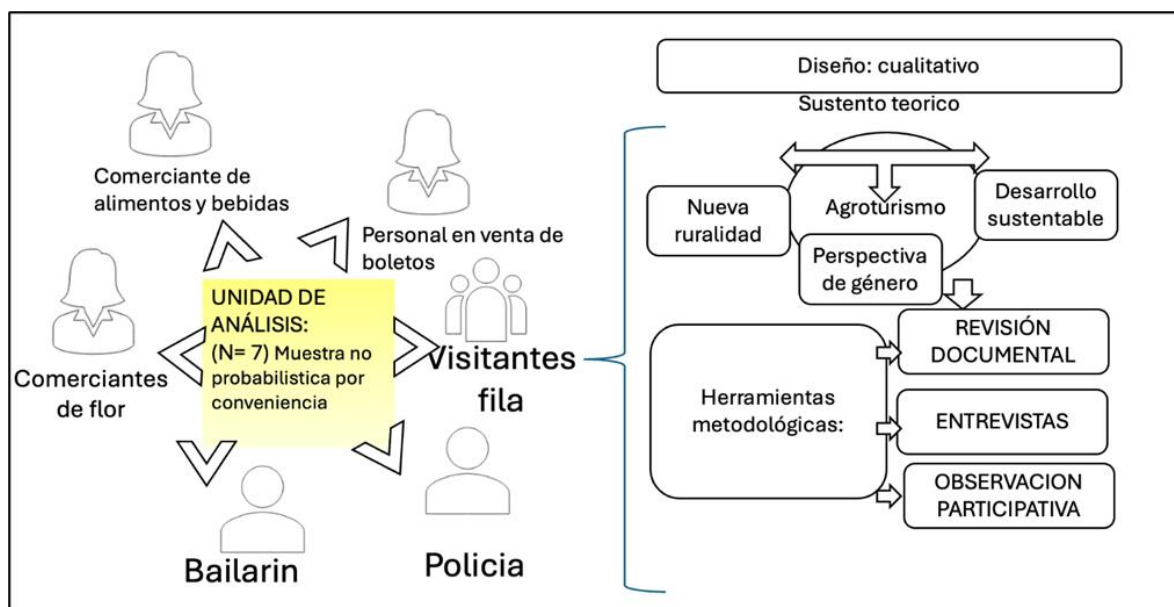


Figura 1. Marco metodológico de la investigación.

La investigación cualitativa aporta calidad de datos que explican a mayor detalle el contexto en el que ocurre un fenómeno social. Esta nos permite comprender los significados de las experiencias y realidades personales de los individuos, lo que a su vez nos brinda un conocimiento más profundo sobre los fenómenos sociales implicados; además el principal desafío de este tipo de investigación radica en sumergirse en el entorno y adaptarse a él, con la finalidad de captar de manera efectiva las expresiones de los casos estudiados y así obtener un conocimiento más profundo sobre el fenómeno en cuestión.

Análisis de datos. Mediante el desarrollo de categorías socioambientales, se realizó la selección de la información para su análisis, la herramienta usada fue Excel; las categorías fueron: actividades de agroturismo, desarrollo rural, innovación y cultura, las cuales se contrastaron con los principales enfoques conceptuales de nueva ruralidad, agroturismo y equidad de género para la discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron actividades alternativas y complementarias a la agricultura y con base en un enfoque paisajístico (Cuadro 1). Esta iniciativa parte de una propuesta de egresados de ingeniería agrícola, quienes advirtieron la oportunidad de innovar en sus huertos de flor de temporada. La iniciativa dio inicio en el año 2023, la concurrencia de visitantes tuvo una amplia afluencia. La propuesta se replicó

este año 2024 con la integración de más personas que incluyeron actividades extras como la interacción de la granja de animales; logrando una amplia difusión y una afluencia mayor.

Cuadro 1. Actividades de agroturismo desarrolladas en el sembradío de flor de cempasúchil.

Actividades agroturismo	Descripción
Recorrido temático a pie	Los visitantes interactúan durante recorridos entre los sembradíos de flor de cempasúchil,
Toma de fotografías	La fotografía panorámica es representativa porque enmarca las celebraciones de día de muertos
Observación de pinturas	Entre los surcos de flores iluminadas colocaron pinturas elaboradas por artesanos locales, las cuales se pueden observar y se encuentran disponibles a la venta
Observación de concurso de catrinas	Los eventos culturales programados fomentan el intercambio de experiencias y la recreación temática
Degustación de alimentos locales	Los habitantes locales se incluyen en esta iniciativa al presentar alimentos y bebidas para venta al público visitante
Compra de flor de cempasúchil	Al final de su recorrido los visitantes pueden comprar flor de corte o en macetas de cempasúchil, eligiendo la que más les agrade
Observación de los diferentes procesos de huerto	En el sembradío existen diferentes secciones en donde se puede observar el proceso de crecimiento en huertos cubiertos por malla sombra, la sección de producción y venta
Interacción con animales de granja	Durante este año 2024 invitaron a una empresa oaxaqueña que lleva animales de granja para que los niños interactúen con animalitos domésticos
Recorrido en caballo	En el 2024 en el recorrido se incluyó un caballo para quienes gusten tomarse fotografía
Visita y observación en las secciones del proceso	Secciones: surcos de siembra, invernadero-malla sombra, campo abierto, sección de actividades culturales, surcos iluminados para recorrido temático

La puesta en marcha de estas actividades, logró captar la atención por su innovación y creatividad para el evento diseñado en la recepción de visitantes, formulando impactos en tres dimensiones de la sustentabilidad: social, ambiental y económico (Cuadro 2), de esta forma la diversificación de actividades no agrícolas dan paso al enfoque de nueva ruralidad aplicado a los huertos de flor de cempasúchil con impactos positivos para los productores y productoras, enmarcando un espacio de venta y recreación, a la vez que salvaguardan la semillas para futuras plantaciones.

Cuadro 2. Tipos de impactos

Variable	Resultado	Tipo de impacto
Desarrollo rural	Con las actividades de promoción de visitas a los huertos de flor, se detona un efecto multiplicador que proporciona la posibilidad de incorporar a más familias que se sumen al proyecto en la venta de productos locales.	Social
Actividades de agroturismo	Fomentan el desplazamiento de visitantes y turistas de la zona centro y sus alrededores; además, de promover la educación ambiental.	Económico y Ambiental

Equidad de género	Se fomentó la participación femenina en las actividades de venta, atención a los visitantes, representación de manifestaciones culturales y un desarrollo equitativo en actividades de cultivo	Social
Innovación	Los surcos iluminados con figuras decorativas alusivas a la muerte como la catrina, para recorridos temáticos (alusivos al tema de día de muertos) representan una innovación de actividades de agroturismo que combina cultura, tradición e innovación de forma sustentable.	Ambiental
Cultura	La combinación de sembradíos de flor cempasúchil con un espacio para la expresión cultural (pintura, eventos programados, artesanías y concursos de disfraces) contribuyen al desarrollo solidario.	Social y económico

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo.

En la zona se identificaron las actividades culturales que complementan los recorridos temáticos, mediante la observación participante fue notable que los visitantes disfrutaban la experiencia de los recorridos, realizan actividades recreativas y adquieren flores (Figura 2) lo cual contribuye al propósito de generar ingresos económicos a los productores.

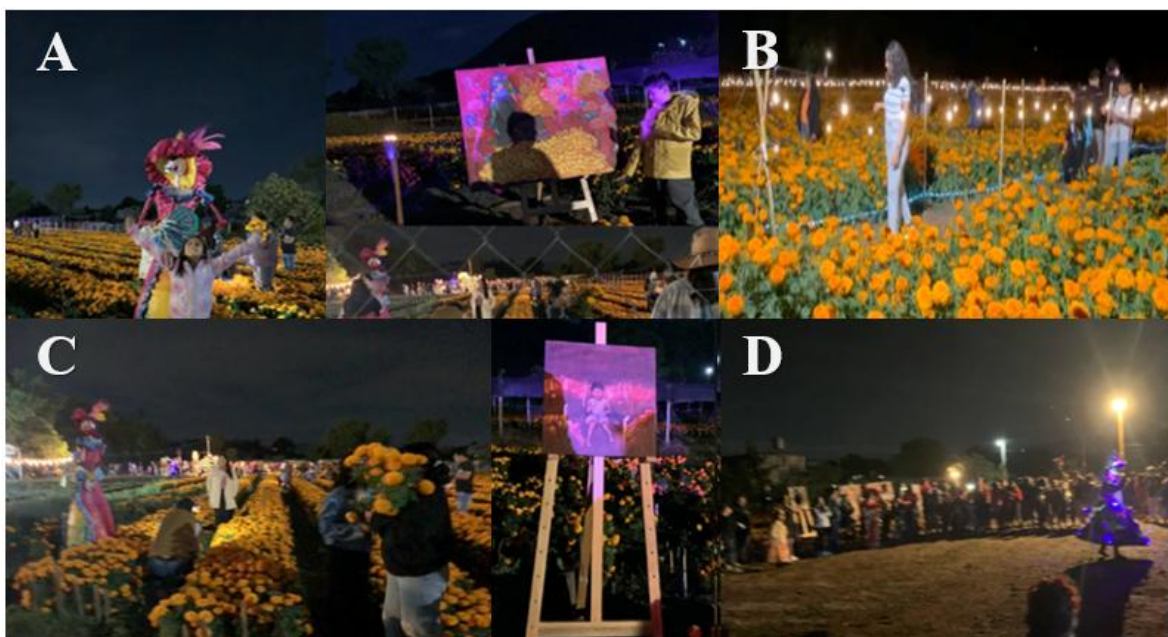


Figura 2. a) Actividades de agroturismo en los huertos, b) senderos temáticos, c) manifestaciones culturales, d) área de concurso de disfraces.

En tanto, el agroturismo es una forma de turismo rural que se desarrolla en zonas agrícolas, aprovechando en entorno natural. En esta modalidad, las comunidades campesinas comparten su identidad, ambiente natural, expresiones culturales y socio productivas, para brindar al campesinado una oportunidad de ampliar su actividad económica al combinar la agricultura con el turismo (figura 3), logrando así beneficios a través de la interacción con visitantes (SECTUR, 2002). A la par, que aprovechan flujos de turistas provenientes de otras regiones que suelen pernoctar en la zona centro de Oaxaca y aprovecha el sistema turístico que se enmarcan en Valles centrales de Oaxaca, así como son complementarios los diversos atractivos que se ofertan en este sistema turístico (Figura 3).

Este mapa ilustra las rutas turísticas en Oaxaca de México, destacando los atractivos culturales, históricos y naturales de cada zona. Las rutas están representadas por flechas de color naranja que conectan los puntos de interés.

Centros y Puntos de Interés:

- Zaachila:** Mercado gastronómico, Zona arqueológica, Murales.
- Cuiclapam:** Ex convento siglo XVI.
- Arrazola:** Alebrijes.
- Xoxocotlan:** Festividades, Tapetes día de muertos, Martes de brujas.
- Oaxaca centro:** Infraestructura.
- San Bartolo Coyotepec:** Mercado de Barro negro.
- Agroturismo en campos iluminados:** Representado por un icono de una flor.

Conectividad y Transporte:

- Las flechas naranjas indican las rutas principales entre los centros.
- El icono de un avión cerca de Cuiclapam sugiere la proximidad a un aeropuerto.
- Los iconos de tren y autobús en la ruta entre Xoxocotlan y Oaxaca centro indican opciones de transporte público.

Orientación: Se incluye una brújula en la esquina inferior derecha, indicando que el Norte (N) está hacia arriba.

En este contexto conceptual se coincide con Carton-de Grammont (2004) y SECTUR (2002) porque este tipo de actividades emergen como una alternativa que contribuye a generar ingresos económicos a partir de la incorporación de actividades del sector terciario, así como la construcción de experiencias innovadoras que resignifican las tradiciones locales como lo muestran los resultados en los que la iniciativa motiva la curiosidad y el conocimiento sobre la flor de cempasúchil, su significado, valor productivo y cultural para los visitantes, en tanto que los campesinos obtienen ingresos económicos por la venta de la flor de ornato y con ello dan lugar a espacios de interacción donde los visitantes acuden a los surcos para llevar directamente la flor a la par que se fomentan espacios de equidad para mujeres y hombres de la zona.

La iniciativa de agroturismo en huertos con flor de campasúchil promueve en primer lugar el cultivo de una flor de ornato con simbolismo socio cultural mediante la innovación, en segundo lugar genera oportunidades de desarrollo con la obtención de ingresos económicos e inclusión de población local en la diversificación de actividades complementarias y en tercer lugar la práctica de conciencia ambiental por medio del turismo rural en su modalidad de agroturismo que promueve el respeto y

conocimiento del entorno, involucrando a los visitantes a conocer del proceso productivo, motivando la justicia social por medio de la equidad de género y el desarrollo de prácticas responsables con el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el aporte de los profesores-investigadores y por proporcionar los espacios de enseñanza-aprendizaje. A la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la estancia posdoctoral; así como al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras SNII por el apoyo para el desarrollo de trabajos de investigación.

REFERENCIAS

- Carton-de Grammont, H. (2004). La nueva ruralidad en América Latina. *Revista Mexicana de Sociología*, 66, 279.
- Carton-de Grammont, H. (2019). La nueva ruralidad en América Latina. *Revista Mexicana de Sociología*, 1.
- Correa-Guevara, B. (2024). Día de Muertos en México: 20 años Patrimonio Cultural Inmaterial [Informativa]. Anáhuac México. <https://www.anahuac.mx/mexico/noticias/dia-muertos-mexico-patrimonio-cultural-inmaterial>
- Delgado-Piña, D., Zapata-Martelo, E., Martínez-Corona, B., & Alberti-Manzanares, P. (2010). Identidad y empoderamiento de mujeres en un proyecto de capacitación. *Ra Ximhai*, 6(3).
- Gobierno de México. (2025). Oaxaca, entidad federativa. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/>
- Lugo-Espinosa, G., Acevedo-Ortiz, M. A., & Ortiz-Hernández, F. E. O. (2021). Análisis del turismo en Huayapam, desde la perspectiva de género y en el contexto de pandemia. En *Innovación, turismo y perspectiva de género en el desarrollo regional* (Vol. V, 1a ed., pp. 517–534). UNAM-AMECIDER.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2022, noviembre 16). Aumenta producción de flor de cempasúchil en temporada 2022 de Día de Muertos [Informativa]. <http://www.gob.mx/agricultura/prensa/>
- SECTUR (Secretaría de Turismo). (2002). Turismo alternativo: Una nueva forma de hacer turismo (1a ed.). CEDOC. <https://cedocvirtual.sectur.gob.mx/janium/Documentos/006145.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2025). Patrimonio cultural inmaterial y género.

Evaluación sinérgica de biofiltros de carbón activado y fotocátalisis UV en la degradación de paracetamol en condiciones de laboratorio

Carolina Díaz-Gutiérrez¹, Alexandra Peñaloza-Hernández¹, Jesús Ignacio Reyes-Díaz^{1*}

¹Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Unidad Académica de Capulhuac, México. *Autor para correspondencia: jesus.reyes@utvtol.edu.mx

Recibido: 01/10/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

La presencia de paracetamol en aguas residuales representa un problema ambiental debido a su persistencia y resistencia a los tratamientos convencionales. En este estudio, se evaluó la combinación de biofiltros de carbón activado y fotocátalisis con radiación ultravioleta para su eliminación en soluciones acuosas. Se prepararon soluciones de paracetamol al 1.2 % p/v y se sometieron a un proceso de filtración mediante biofiltros de carbón activado, seguido de un tratamiento fotocatalítico con óxido de zinc (ZnO) y luz UV durante 48 horas. La concentración de paracetamol se cuantificó antes y después del tratamiento mediante espectrofotometría UV-Vis a 243 nm. Los resultados mostraron que el carbón activado absorbió aproximadamente el 72 % del paracetamol, mientras que la fotocátalisis permitió una degradación adicional del 20 %, alcanzando una eficiencia total del 92 %. La combinación de biofiltros de carbón activado y fotocátalisis demostró ser una alternativa eficiente y sostenible para la remoción de paracetamol en aguas residuales a nivel laboratorio.

Palabras clave: Paracetamol, biofiltros de carbón activado, fotocátalisis.

ABSTRACT

The presence of paracetamol in wastewater represents an environmental problem due to its persistence and resistance to conventional treatments. In this study, the combination of activated carbon biofilters and photocatalysis with ultraviolet radiation was evaluated for its elimination in aqueous solutions. 1.2% w/v paracetamol solutions were prepared and subjected to a filtration process using activated carbon biofilters, followed by a photocatalytic treatment with zinc oxide (ZnO) and UV light for 48 hours. The concentration of paracetamol was quantified before and after treatment by UV-Vis spectrophotometry at 243 nm. The results showed that activated carbon absorbed approximately 72% of paracetamol, while photocatalysis allowed an additional degradation of 20%, reaching a total efficiency of 92%. The combination of activated carbon biofilters and photocatalysis proved to be an efficient and sustainable alternative for the removal of paracetamol in wastewater at the laboratory level.

Key words: Paracetamol, activated carbon biofilters, photocatalysis.

INTRODUCCIÓN

El paracetamol (acetaminofén), un analgésico y antipirético de uso global, representa un problema ambiental debido a su persistencia en cuerpos de agua, producto de su eliminación incompleta en plantas de tratamiento de aguas residuales. Su presencia en ecosistemas acuáticos puede afectar la biodiversidad y generar subproductos tóxicos que alteran procesos biológicos (Smith, 2022), lo que subraya la necesidad de desarrollar métodos eficientes para su eliminación en soluciones acuosas. Los tratamientos convencionales, como la cloración y la biodegradación, han mostrado limitaciones en la eliminación de compuestos orgánicos como el paracetamol (Dabrowski et al., 2005). Como alternativa, se han explorado tecnologías avanzadas, como la adsorción con carbón activado y la fotocátalisis con óxido de zinc (ZnO) activada por luz UV. Este estudio evalúa, en un entorno de laboratorio, la eficacia de combinar biofiltros de carbón activado y fotocátalisis con ZnO con luz UV

para degradar paracetamol en soluciones acuosas. Se plantea que la sinergia entre ambas tecnologías mejorará significativamente la eficiencia del tratamiento, ofreciendo una alternativa más viable y sostenible para la degradación de paracetamol a nivel laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración del biofiltro de carbón activado. Se elaboraron tres biofiltros de carbón activado utilizando una botella plástica retornable de 15 centímetros de diámetro. La parte inferior de la botella fue cortada cuidadosamente para crear una tapa, lo que permitió obtener un recipiente adecuado donde se integraron las diferentes capas filtrantes. En el fondo de la botella, se colocó una capa de algodón de aproximadamente 10 centímetros de espesor, sobre la cual se añadió una capa de 8 centímetros de carbón activado pulverizado. Se incorporó una capa de 10 centímetros de arena fina, con un diámetro inferior a 1 milímetro, seguida de una capa de 8 centímetros de gravilla, cuyas partículas tenían un tamaño de alrededor de 1 milímetro. Finalmente, se completó el filtro con una capa de 10 centímetros de grava de construcción, cuyas partículas oscilaban entre 9.5 y 7.5 milímetros de tamaño. Cada paso se realizó con precisión para asegurar la funcionalidad del biofiltro.

Preparación de la solución de paracetamol. Se prepararon tres soluciones, con una concentración del 1.2 % p/v, para ello se utilizaron tabletas comerciales de paracetamol (Medley). Se pesaron 12 g de paracetamol, se disolvió en 1 L de agua destilada a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). La solución se agitó en una placa magnética a 300 rpm durante 30 minutos, asegurando la completa disolución del compuesto.

Proceso de filtración y fotocátalisis. Se vertió la solución semi-saturada de paracetamol lentamente a través del biofiltro de carbón activado, se permitió el flujo por gravedad sin aplicar presión externa. El líquido filtrado se recolectó en un recipiente limpio, se repitió el proceso tres veces para asegurar replicabilidad. Se midió el volumen final del filtrado. Se añadieron 3 g de ZnO en cada muestra, dispersándolo con agitación magnética a 300 rpm durante 15 minutos. Las soluciones se transfirieron a recipientes de vidrio resistentes a UV. Se colocaron bajo lámparas UV (254 nm, 15 W), asegurando una irradiación uniforme. Se expusieron a radiación UV por 48 horas, con agitación intermitente cada 6 horas.

Análisis de la concentración de paracetamol. Se calibró el espectrofotómetro con agua destilada como blanco. Se midió la absorbancia de cada muestra a 243 nm, utilizando celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico. Se preparó una curva de calibración con estándares de paracetamol en concentraciones de 0, 0.0005, 0.0010, 0.0015 y 0.0020 % p/v. Se compararon los valores obtenidos antes y después del tratamiento para calcular la eficiencia de la combinación de ambos procesos. Para la obtención del porcentaje degradado de paracetamol se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ degradado} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Donde: C_i es la concentración inicial (1.2 % p/v) y C_f es la concentración final después de ambos tratamientos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biofiltro de carbón activado. El biofiltro permitió un flujo controlado sin colapsos estructurales. Las capas desempeñaron funciones específicas: La capa de algodón retiene partículas gruesas y distribuye el líquido uniformemente (Saritha et al., 2017), mientras que la capa de carbón activado adsorbe el paracetamol mediante interacciones hidrofóbicas y fuerzas de Van der Waals (Dabrowski et al., 2005; Rivera-Utrilla et al., 2013). La arena fina contribuye a la retención de partículas suspendidas, reduce la turbidez y evita que contaminantes sólidos alcancen las capas superiores (Sharma et al., 2020). Finalmente, la grava gruesa proporciona soporte estructural, evitando la

compactación de las capas superiores y asegurando un flujo uniforme del agua. La combinación de estos materiales no solo permite la adsorción efectiva de contaminantes, sino que también garantiza la estabilidad estructural y un flujo regulado, lo que respalda la validez del diseño y su aplicabilidad en la purificación de aguas contaminadas.

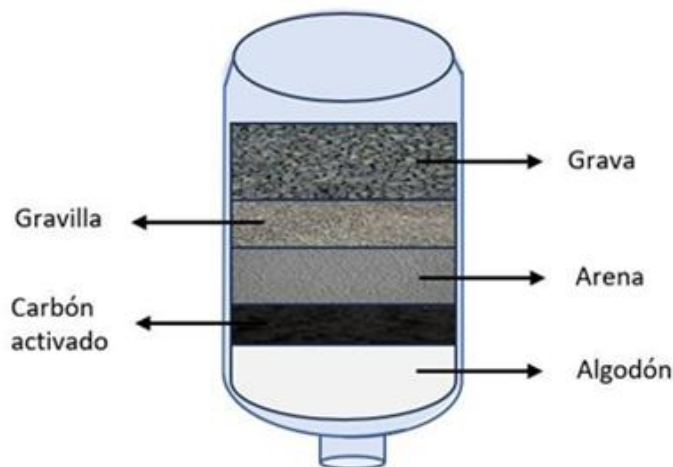


Figura 1. Representación sistemática del biofiltro

Proceso de filtración. En la figura 2 podemos observar el porcentaje de paracetamol adsorbido en cada una de las muestras con ayuda del biofiltro. Obteniendo un promedio del 72%. Estos valores son congruentes con estudios previos que han demostrado que el carbón activado es efectivo para la eliminación de contaminantes farmacéuticos. Dabrowski et al. (2005) indican que el carbón activado puede eliminar hasta un 70-90% de diversos contaminantes, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en este estudio.

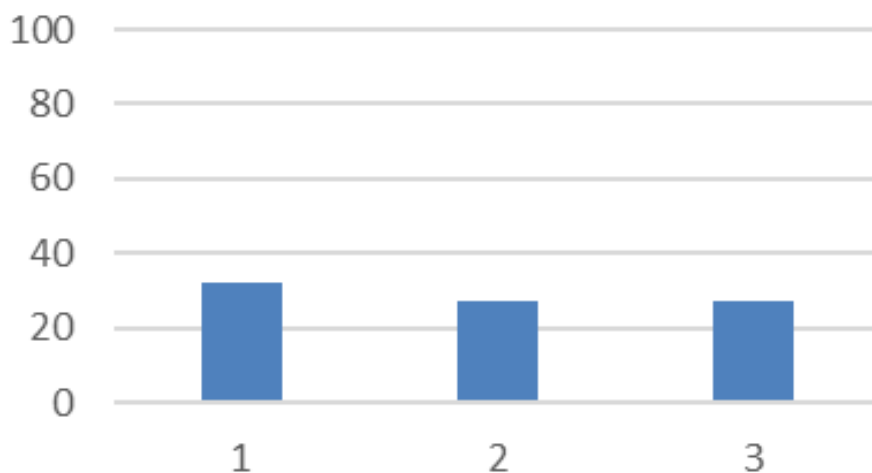


Figura 2. Porcentaje de paracetamol obtenido después del biofiltro

Fotocatálisis con ZnO y radiación UV. En el tratamiento fotocatalítico con óxido de zinc (ZnO) y radiación UV, se llevó a cabo una reacción de oxidación-reducción, esta reacción es iniciada por la luz UV, ya que, excita el ZnO, generando pares electrón-hueco, que inicia la formación de radicales hidroxilo y especies reactivas de oxígeno (Ahmed et al., 2011; Duan et al., 2018). Estas especies

atacan la molécula del paracetamol, degradándola hasta compuestos más simples como CO_2 y H_2O (Raza et al., 2020; Feng et al., 2022). Tomando esto en cuenta, en la figura 3, podemos visualizar el porcentaje de paracetamol que fue oxidado, obteniendo un promedio del 20%. Este resultado es inferior a los valores reportados en la literatura. Zhang et al. (2011) han demostrado que la fotocátalisis puede eliminar entre el 50% y el 90% de contaminantes orgánicos bajo condiciones óptimas.

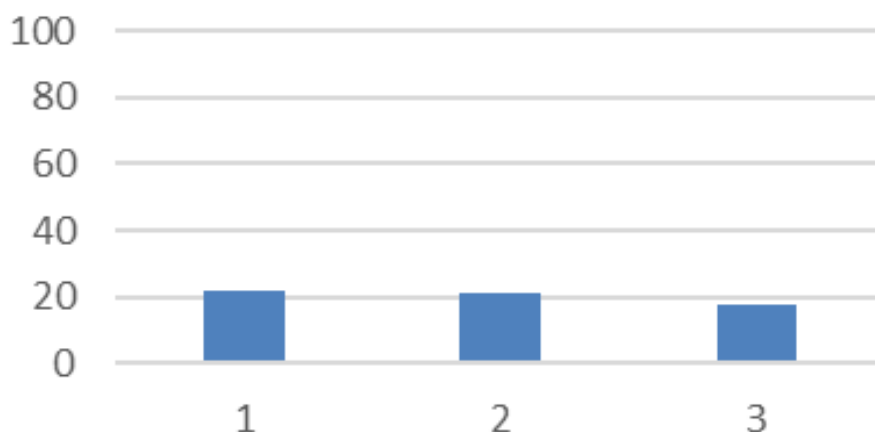


Figura 3. Porcentaje de degradación de paracetamol en las tres muestras.

Eliminación total de paracetamol combinando biofiltración y fotocátalisis. En la figura 4, se visualiza el porcentaje de paracetamol degradado en cada una de las muestras, obteniendo entre el 90-95% de paracetamol degradado. La comparación global muestra que la combinación de métodos de tratamiento mejora la degradación de paracetamol en comparación con el uso de cada método por separado. Este resultado está en línea con los hallazgos de Chen et al. (2013), quienes sugieren que la combinación de técnicas de tratamiento puede ser más efectiva para abordar contaminantes emergentes en comparación con el uso de un solo método.

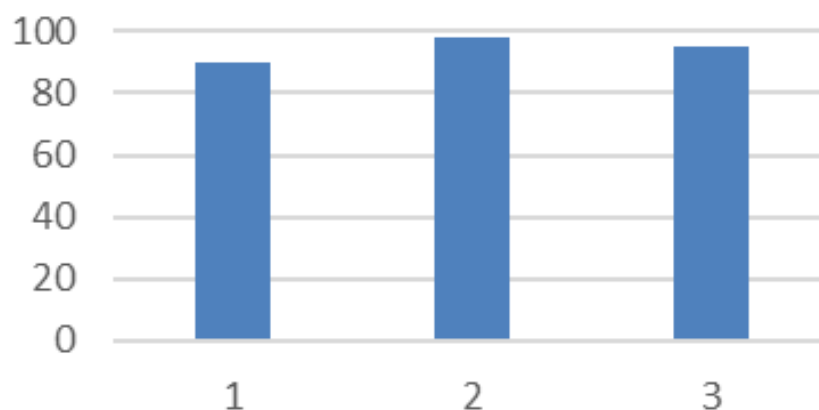


Figura 4. Porcentaje de degradación de paracetamol, obtenido de la sinergia del biofiltro de carbón activado y el proceso de fotocátalisis asistido por luz UV.

CONCLUSIÓN

La elaboración de los biofiltros con carbón activado fue eficiente. Los filtros de carbón activado adsorbieron en promedio un 72% del paracetamol, confirmando su eficacia en la retención de este contaminante, tal como se observa en la literatura. El proceso fotocatalítico con rayos UV logró una oxidación promedio del 20% del paracetamol, lo cual es menor a lo reportado en estudios. Esto sugiere que la fotocatálisis, en su forma actual, necesita optimización para mejorar su rendimiento. La combinación de carbón activado y fotocatálisis degradó en promedio el 92% del paracetamol, destacando que la integración de ambos métodos es significativamente más eficaz que cada uno por separado, ofreciendo una solución prometedora para tratar aguas residuales a nivel laboratorio.

REFERENCIAS

- Ahmed, S., Rasul, M. G., Martens, W. N., Brown, R., & Hashib, M. A. (2011). Heterogeneous photocatalytic degradation of phenols in wastewater: A review on current status and developments. *Chemical Engineering Journal*, 170(2–3), 448–469.
- Chen, Y., Zhang, X., & Ding, Y. (2013). Occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment facilities: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 3075–3085.
- Dabrowski, A., Hubicki, Z., Podkościelny, P., & Robens, E. (2005). Selectivity of adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon: A review. *Chemosphere*, 58(5), 673–680.
- Duan, J., Zhou, Y., Jiang, J., Gao, Y., Pang, S.-Y., Ma, J., Guo, Q., Li, J., & Yang, Y. (2018). Oxidation of steroid estrogens by peroxymonosulfate (PMS) and effect of bromide and chloride ions: Kinetics, products, and modeling. *Water Research*, 138, 56–66.
- Feng, J., Zhang, Q., Wang, T., Li, X., & Xu, J. (2022). Photocatalytic degradation of acetaminophen using ZnO-based catalysts under UV light irradiation. *Environmental Research*, 214, 113820.
- Fujishima, A., Rao, T. N., & Tryk, D. A. (2008). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 1(1), 1–21.
- Raza, K., Sharma, K., Kaushik, G., Thotakura, N., Sharma, N., & Nimesh, S. (2020). Enhancement effects of process optimization technique while elucidating the degradation pathways of drugs present in pharmaceutical industry wastewater using *Micrococcus yunnanensis*. *Chemosphere*, 238, 124689.
- Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M., Gómez-Serrano, V., Álvarez, P. M., Alvim-Ferraz, M. C., & Dias, J. M. (2013). Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications: An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 258–259, 1–13.
- Saritha, K., Srinivasulu, K., & Reddy, K. T. R. (2017). Synthesis and characterization of Fe-doped ZnO thin films deposited by chemical spray pyrolysis. *Modern Electronic Materials*, 3(2), 76–85.
- Sharma, N., Agrawal, A., & Sharma, P. (2020). Designing an economical slow sand filter for households to improve water quality parameters. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1582–1586.
- Smith, T. (2022). Pharmaceuticals in wastewater: Environmental and health impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 4890–4905. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17341>
- Zhang, H., Wang, L., & Yu, J. (2011). Titanium dioxide-based photocatalysts for environmental remediation: A review. *Catalysis Today*, 168(1), 30–42.

Efectos de cepas *Lactobacillus plantarum* y *Bacillus subtilis* en la producción de biogás y bioabono

Jesús Ignacio Reyes-Díaz^{1*}, Alyn Violeta Marín-Vázquez¹, Marisol Espinosa-Camacho¹, Evelin Sovera-Mireles¹, Dafne Stefany Fuentes-López¹

¹Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Unidad Académica de Capulhuac, México. *Autor de Correspondencia: jesus.reyes@utvtol.edu.mx

Recibido: 08/10/25; Aceptado: 08/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En este estudio, la incorporación de *Lactobacillus plantarum* y *Bacillus subtilis* en biodigestores tuvo como objetivo optimizar la producción de biogás y bioabono, además de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) generadas durante la descomposición de materia orgánica. Se evaluaron biodigestores cargados con sustratos orgánicos (restos de verduras, frutas y estiércol), inoculados con bacterias en sistemas individuales y combinados para analizar su relación con la producción de biogás. El diseño del biodigestor se basó en estudios previos, empleando materiales adecuados y pruebas de rendimiento. Durante el proceso, se controlaron parámetros como pH, conductividad eléctrica y temperatura; asimismo, se cuantificó el volumen de biogás producido y se analizaron las propiedades del bioabono (pH, fósforo, potasio y nitrógeno). El biodigestor de 50 kg inoculado con la mezcla bacteriana (*B. subtilis* y *L. plantarum*) presentó condiciones óptimas para la generación de biogás y el desarrollo microbiano. Sin embargo, el de 55 kg, inoculado solo con *B. subtilis*, registró la mayor producción de metano (0.13768 L), mientras que el de 40 kg con *L. plantarum* mostró la menor (0.04947 L) debido a la acidificación del medio. Los análisis de nutrientes evidenciaron variabilidad en nitrógeno y potasio, sin diferencias significativas en fósforo entre tratamientos, lo que sugiere la necesidad de mejorar la homogeneidad del bioabono. En conjunto, el biodigestor de 55 kg se destacó por su mayor eficiencia en la producción de biogás y por presentar condiciones ambientales más estables, reflejadas en una menor variabilidad de los nutrientes del bioabono.

Palabras clave: Biodigestores, biogás, bioabono, inoculación bacteriana, materia orgánica.

ABSTRACT

Bacterial inoculation is the process of introducing bacteria into a specific medium to promote their growth and achieve particular benefits. In this context, inoculating bacteria such as *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* in biodigesters enhances the production of biogas and biofertilizer, while also reducing greenhouse gas emissions such as methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) generated during the decomposition of organic matter. These gases were collected in the biodigesters evaluated in the study. Biodigesters containing organic substrates (vegetable residues, fruits, and manure) were analyzed, with bacteria inoculated in individual and combined systems to study their relationship with biogas production. The biodigester was designed based on previous studies, using suitable materials and conducting performance tests to assess its efficiency. The bacteria were inoculated into the substrates under controlled conditions of pH, electrical conductivity, and temperature. Additionally, the volume of biogas produced was quantified, and the biofertilizer was analyzed for pH, phosphorus, potassium, and nitrogen content. The 50 kg biodigester inoculated with the bacterial mixture (*B. subtilis* and *L. plantarum*) exhibited optimal conditions for biogas generation, which also favored bacterial growth. However, the 55 kg biodigester demonstrated the most favorable performance, as it was inoculated with *B. subtilis*, which produced the highest methane yield (0.13768 L), whereas the 40 kg biodigester inoculated with *L. plantarum* showed the lowest production (0.04947 L) due to medium acidification. Nutrient analyses revealed variability in nitrogen and potassium levels, while no significant differences were observed among the biodigesters in phosphorus content, suggesting the need to improve the homogeneity of the biofertilizer. Overall, the 55 kg biodigester stood out for its higher biogas production, indicating optimal environmental conditions and reduced variability in the nutrient composition of the biofertilizer.

Key words: Biodigesters, biogas, biofertilizer, bacterial inoculation, organic matter.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las problemáticas más urgentes es el calentamiento global, causado por los gases de efecto invernadero, los cuales representan una amenaza significativa para el medio ambiente. Este fenómeno está estrechamente relacionado con el manejo inadecuado de los residuos orgánicos, que contribuyen de manera sustancial a las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente en forma de metano y dióxido de carbono. Según el IPCC (2014), el sector de residuos es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). En particular, el metano, con un potencial de calentamiento global 25 veces superior al del dióxido de carbono, se posiciona como un gas crítico en el cambio y en la degradación de la calidad de aire (Smith et al., 2007; IPCC, 2014). Anualmente, se estima que alrededor del 30% de los alimentos producidos a nivel global se desperdicia, generando un impacto ambiental sustancial (FAO, 2013). La descomposición de estos residuos en condiciones anaeróbicas no controlada, como vertederos y prácticas de quema a cielo abierto, intensifica esta problemática (Rosenberg et al., 2008).

En respuesta a esta situación, los biodigestores han emergido como una alternativa sostenible para el manejo de residuos orgánicos, transformándolos en biogás y bioabono. Un biodigestor es un sistema cerrado donde la materia orgánica, como estiércol y residuos alimentarios, se descompone en ausencia de oxígeno, generando dos productos principales: biogás y bioabono. El biogás, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, puede utilizarse como una fuente de energía renovable y fertilizantes orgánicos (Ward et al., 2008). Sin embargo, la eficiencia de los biodigestores depende en gran medida de la comunidad microbiana encargada de la degradación anaerobia de materia orgánica. La inoculación de microorganismos específicos puede afectar y acelerar el proceso de fermentación al igual que optimizar la producción de biogás y bioabono, ya que reduce el tiempo de adaptación microbiana y mejora la estabilidad del sistema (Li et al., 2020). En particular *Bacillus subtilis* y *Lactobacillus plantarum* desempeñan funciones cruciales. *B. subtilis*, una bacteria formadora de esporas contribuye a la descomposición inicial de compuestos orgánicos complejos mediante la producción de enzimas hidrolíticas, facilitando la disponibilidad de sustratos para los microorganismos metanogénicos (Patel et al., 2021). Por otro lado, *L. plantarum* mejora la acidificación inicial al producir ácidos orgánicos, regulando el pH y favoreciendo la estabilidad del sistema anaerobio (Chen et al., 2020). Además, esta estrategia puede influir en la calidad del digestato resultante, enriqueciendo su contenido de nutrientes y promoviendo su aplicación como biofertilizante sostenible (Angelidaki & Ellegard, 2003).

En este contexto, la inoculación directa de bacterias en biodigestores ha emergido como una estrategia clave para mejorar la eficiencia en la producción de biogás y bioabono, abordando la significativa problemática de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al manejo de sustratos orgánicos. Además, este proceso permite la reducción de emisiones netas de GEI y la generación de bioabonos de alta calidad, que no solo mejoran la fertilidad del suelo, sino que también fomentan prácticas agrícolas sostenibles (Molinuevo-Salces et al., 2013). Esta investigación propone explorar los efectos de la inoculación bacteriana en la producción de biogás y bioabono, así como su potencial para mitigar las emisiones de GEI contribuyendo a un manejo más eficiente y sostenible de los residuos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en este estudio es de tipo experimental y se desarrolló a través de varias etapas. Primeramente, se construyó un biodigestor basado en el diseño de Gonzales et al. (2021), utilizando bidones de color blanco con capacidades de 55 kg, 50 kg y 40 kg. Se realizaron las siguientes modificaciones al diseño original: se ajustó el espacio entre las entradas para la inoculación y la evacuación de desechos en la tapa del tanque, tomando como referencia tapones de PVC de 3". Posteriormente, se instaló una llave de gas adaptada con una conexión de ½" y un niple de tamaño

proporcional para facilitar la conexión de una manguera de silicona. Los cortes necesarios se realizarán con un taladro en forma circular. Además, se colocó una llave de agua de ½" a 10 cm de la parte inferior del tanque para la salida del efluente. La salida del bioabono se diseñó en forma de "S", ubicándola a 30 cm de la salida del efluente. Para su construcción, se emplearon dos tubos rectos de PVC de 2", conectados mediante dos codos del mismo diámetro y sellados con pegamento para PVC y silicona de poliuretano.

Previo a la inoculación, se colectaron y prepararon 80 kg de sustrato a base de materia orgánica la cual consistió en cascaras de frutas, restos de verdura, y residuos vegetales (tallos y hojas) los cuales fueron triturados manualmente hasta obtener partículas de aproximadamente 1-2 cm. Se verificó que los sustratos estuvieran libres de contaminantes y obstrucciones para el biodigestor por medio de una búsqueda visual extendiendo los sustratos sobre el piso para retirar papel, bolsas de plástico, tallos de fruta muy anchos.

Se procedió a inocular las bacterias; estas se adquirieron comercialmente, se inóculo con una concentración de 3.6% de *B. subtilis* y 0.01% de *L. plantarum* respecto a la cantidad (kg) de sustrato; se utilizó una técnica de vaciado directo sobre el sustrato dentro del biodigestor por la entrada que se adaptó para la inoculación directa, se utilizó una jeringa sin aguja para distribuir la solución que contenían las bacterias. La solución fue distribuida de manera uniforme mediante una mezcla homogénea dentro del biodigestor, utilizando herramientas adecuadas como palas para garantizar una dispersión eficaz. Se agregó una cantidad de 20, 25 y 27.5 litros de agua purificada para los respectivos biodigestores con capacidad de 40, 50 y 55 kg.

Durante y después del proceso de inoculación, se monitorearon parámetros mediante muestras de 5 ml de bioabono almacenadas en recipientes de plástico, enseguida se monitoreó temperatura y conductividad eléctrica con un conductímetro TDS-3 el cual solamente se introdujo dentro del recipiente; el pH se registró con tiras reactivas Macherey-Nagel las cuáles se introdujeron dentro del recipiente y se dejaron secar para comparar mediante la colorimetría brindada por el producto, esto para asegurar condiciones óptimas dentro del biodigestor. Se realizó dos veces por semana por 30 días.

En cuanto a la cuantificación de biogas se utilizó un dispositivo medidor de gas metano AS-FC, se colocó la antena dentro de la entrada de residuos orgánicos a 5 cm de distancia de la tapa dentro del biodigestor el cual arrojó el porcentaje de metano en %LEL, por lo que tuvo que ser convertido siguiendo la fórmula establecida por Industrial Scientific (s,f).

$$\% LEL = \frac{\text{Gas Concentration (in \% vol)}}{\text{Lower Explosive Limit (in \% vol)}} \times 100$$

Para analizar el bioabono resultante del biodigestor y determinar su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, se utilizó un kit de análisis de suelo Genérico OEM. Se hizo mediante toma de muestras del bioabono cada semana por un lapso de 30 días, se diluyó un mililitro de bioabono en dos mililitros de agua destilada y se filtró mediante papel filtro, este se transfirió a un tubo eppendorf y se agregó una gota del reactivo, enseguida se agitó y con el cambio de color se obtuvo la medición de mg/L de cada nutriente a partir de la colorimetría que brindaba el kit de análisis de suelo. Cada medición se realizó por triplicado para garantizar precisión, a partir de esto se realizó un cálculo promedio de los resultados obtenidos de cada nutriente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diseño del biodigestor

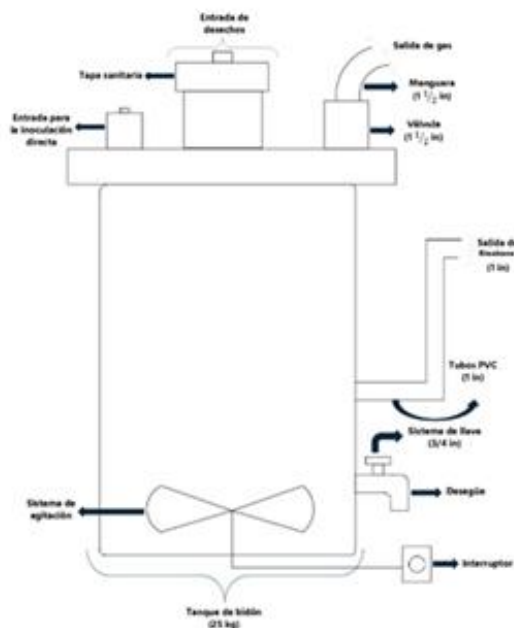


Figura 1. Diseño adaptado del biodigestor para realizar la inoculación bacteriana.

Funcionamiento del biodigestor. Se observó que en los tres biodigestores no se deseó el digestato correctamente, lo que dificultó la salida del efluente. Según Smith et al. (2014), un problema común en los biodigestores es la acumulación excesiva de digestato, lo cual puede obstruir la salida del efluente si no se maneja adecuadamente. La dificultad en la expulsión del efluente en nuestro biodigestor estuvo relacionada con la acumulación excesiva de digestato, debido a una tasa de carga orgánica alta o a un diseño ineficiente del sistema de salida. Esto subraya la importancia en la cantidad de agua que influye en la fluidez del digestato. Un digestato más diluido es más fácil de manejar y expulsar del biodigestor, Sing et al. (2014) destacan que una proporción inadecuada de agua puede llevar a problemas de obstrucción. Se obtuvieron los presentes resultados a partir de los parámetros internos del biodigestor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones ambientales promedio internas del biodigestor, durante el proceso de biodigestión registrados a lo largo de 30 días.

Biodigestor	3 (40 kg)	2 (50 kg)	1 (55 kg)
Temperatura ambiente dentro de biodigestor	22 °C	22.9 °C	23.2 °C
Temperatura del bioabono	22.6 °C	24 °C	24.5 °C
Conductividad eléctrica	206x10 ppm	353x10 ppm	332x10 ppm
pH	<6	6	6.7

La temperatura ambiente y del bioabono dentro del biodigestor influyen en la actividad microbiana del biodigestor. Sin embargo, las variaciones de 1 °C no afectan significativamente la producción de biogás, estudios indican que solo cambios amplios fuera del rango óptimo alteran la actividad metanogénica, esto sugiere que fluctuaciones mínimas no impactan de forma considerable la degradación de materia orgánica ni la generación de biogás. En este estudio, el biodigestor 1

(capacidad de 55 kg), con una temperatura ambiente de 23.2 °C y una temperatura del bioabono de 24.5 °C, favoreció una mayor actividad microbiana. Según la FAO, (1996), temperaturas más altas dentro del rango psicrófilo pueden incrementar la tasa de crecimiento de los microorganismos anaeróbicos, optimizando la degradación de materia orgánica y la producción de biogás. Esto favoreció el crecimiento de *B. subtilis* (en el biodigestor 2) y de bacterias metanogénicas que son microorganismos anaerobios estrictos que pertenecen al dominio *Archea* y desempeñan un papel clave en la producción de biogás al convertir el ácido acético, el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano, estudios previos han demostrado que temperaturas cercanas a los 25°C pueden favorecer el crecimiento de ciertas especies mesofílicas de metanógenos, mejorando así la eficiencia del proceso de digestión anaerobia (Chen et al., 2008).

La conductividad eléctrica del bioabono refleja la disponibilidad de sales solubles y nutrientes esenciales para los microorganismos metanogénicos. García & Pérez (2019) sugieren que una mayor conductividad eléctrica está asociada con una mayor disponibilidad de estos nutrientes, lo que favorece una mayor producción de biogás. En este estudio se observa que el biodigestor 1 y el biodigestor 2 exhiben una conductividad eléctrica más alta en comparación con el biodigestor 3. Esto indica condiciones más favorables para la actividad de las bacterias metanogénicas y, por lo tanto, una mayor producción de biogás, lo cual es esencial considerando la necesidad de nutrientes para las bacterias inoculadas, según Liu et al. (2008), en este estudio se analizó como la conductividad eléctrica, que puede aumentar debido a las sales y otros compuestos en el sustrato, afecta la actividad microbiana por lo tanto un aumento en la conductividad puede estar asociado con un ambiente más favorable para la producción de metano.

Los resultados de pH obtenidos en los biodigestores, donde se han inoculado las bacterias *L. plantarum* y *B. subtilis*, son fundamentales para entender las condiciones óptimas para la producción de biogás. Según García & Pérez (2019), el pH óptimo para la mayoría de las bacterias metanogénicas está en el rango de 6.5 a 8.0” (p.133). Por lo tanto, el biodigestor con capacidad de 55 kg tiene solamente las condiciones óptimas para esta producción de bacterias metanogénicas. Según Smith et al. (2021) *L. plantarum* es conocida por su capacidad de producir ácidos orgánicos que pueden mantener el entorno ácido, por lo tanto, en el biodigestor con capacidad de 40 kg donde se inóculo *L. plantarum* no tenía un pH óptimo por la producción de ácido láctico en la fermentación de los sustratos.

Producción de biogás. Los resultados obtenidos en este estudio indican que según el análisis estadístico mostraron una correlación positiva entre la capacidad de biodigestores y la producción de biogás, teniendo mayor producción el biodigestor con 55 kg de capacidad inoculado con *B. subtilis* la cual es un tipo de bacterias conocidas por descomponer materia orgánica compleja por la producción de enzimas extracelulares como amilasas, proteasas y celulasas las cuales degradan componentes orgánicos complejos como celulosa, hemicelulosa y proteínas (Glick, 2012) de los restos de fruta y verdura introducidos al biodigestor, lo que facilita la disponibilidad de sustratos para los microorganismos metanogénicos (Patel et al., 2021). En cuanto a la menor producción del biodigestor con 40 kg de capacidad en el cual se inóculo *L. plantarum* una bacteria láctica que produce ácido láctico durante la fermentación, lo que disminuye el pH del medio (Estela et al., 2007) esto inhibe el crecimiento de las bacterias metanogénicas, las cuáles crecen dentro de un rango de 6.5 a 8.0 según García & Pérez (2019), dentro del biodigestor y por lo tanto la producción de biogás no es favorecida (Cuadro 2). Se realizó un análisis estadístico en el que la desviación estándar, con un valor de 4.445×10^{-5} (0.00004445 m^3), este valor de desviación estándar, en relación con la media 0.0000982 m^3 sugiere una variabilidad moderada en los volúmenes de gas metano. Esto significa que, aunque los volúmenes de gas producidos por los biodigestores muestran cierto grado de fluctuación, dichas variaciones no son excesivas, lo que indica que la producción de biogás es relativamente estable.

Cuadro 2. Producción de biogás de cada biodigestor, los valores están expresados en litros tras un periodo de 30 días de retención. El biodigestor 1) inoculado con *Lactobacillus plantarum*, 2) inoculado con *Lactobacillus plantarum* y *Bacillus subtilis*, 3) inoculado con *Bacillus subtilis*.

Biodigestor	Volumen de gas metano en litros
1 (55 kg)	0.13768
2 (50 kg)	0.10744
3(40 kg)	0.04947

En este estudio, se empleó un tiempo de retención de 30 días, el cual se encuentra dentro del rango recomendado para biodigestores mesofílicos operando a temperaturas entre 25-27 °C según Weiland. (2010). No obstante, diversos estudios han demostrado que el tiempo de retención óptimo para maximizar la producción de metano puede situarse entre 30 y 40 días en condiciones mesofílicas, dependiendo del sustrato utilizado y de la carga orgánica aplicada (Appels et al., 2008). Un tiempo de retención menor a 30 días puede llevar a una digestión incompleta de la materia orgánica, reduciendo la eficiencia del biodigestor, dado que las bacterias metanogénicas requieren de un período adecuado para transformar los ácidos grasos volátiles en metano (Mata-Alvarez, 2003). Por lo tanto, aunque los resultados de este estudio sugieren una tendencia positiva entre la capacidad del biodigestor y la producción de biogás, una optimización en el tiempo de retención podría incrementar aún más la producción de metano.

Análisis de concentración de nutrientes. Respecto a la producción de bioabono y la concentración de nutrientes presentes en el, los resultados de análisis de las concentraciones de nutrientes en los biodigestores revelaron patrones que destacan las diferencias y similitudes en el comportamiento de los elementos evaluados. En el biodigestor de 50 kg, los niveles de potasio mostraron un aumento constante, alcanzando más de 240 mg/L al final de la cuarta semana según Möller & Müller (2012) podría deberse a la lixiviación de compuestos celulares y la liberación de cationes adsorbidos en la materia orgánica. En contraste, los niveles de nitrógeno experimentaron fluctuaciones intermitentes, que podría estar relacionada con el pH y temperatura. El pH de 6 según Liu et al. (2008) indica que existe una tendencia a la acidificación, que puede favorecer la formación de amoníaco en lugar de amonio, reduciendo la volatilización de este compuesto, pero también afectando su asimilación microbiana.

En el biodigestor con capacidad de 40 kg, el aumento de potasio hasta 240 mg/L en la tercera semana puede deberse más a la solubilización de compuestos celulares que a la actividad microbiana, como señala Sánchez et al. (2020). Además, según Li et al. (2018) la liberación de potasio en biodigestores esta influenciado por el pH y la conductividad eléctrica, lo que explicaría su estabilidad final. El nitrógeno muestra fluctuaciones, cayendo a 0 mg/L en la tercera semana, lo que según Kim et al. (2017) podría estar asociado con la asimilación microbiana y su posterior liberación en la fase inicial de fermentación. Además, Wang et al. (2022) indican que temperaturas menores a 25 °C pueden afectar la estabilidad de los compuestos nitrogenados. Por otro lado, en el biodigestor de 55 kg el potasio mostro un comportamiento fluctuante; esto puede atribuirse a variaciones en la cinética de descomposición del sustrato y a factores como el pH, la actividad microbiana y la temperatura (Möller & Müller, 2012). La disminución del potasio en la semana 3 podría deberse a su adsorción en la biomasa bacteriana o a la precipitación química, mientras que su aumento en la semana 4 podría estar relacionado con la lisis celular en la fase final de la fermentación (Bastone et al., 2002). En contraste el nitrógeno mostro una tendencia descendente debido a la desnitrificación o asimilación microbiana (Wagner et al., 2019). Los niveles de fósforo se mantuvieron constantes en 120 mg/L en los tres

biodigestores, lo que sugiere que su estabilidad depende más del sustrato inicial que las condiciones operativas (Xu et al., 2020).

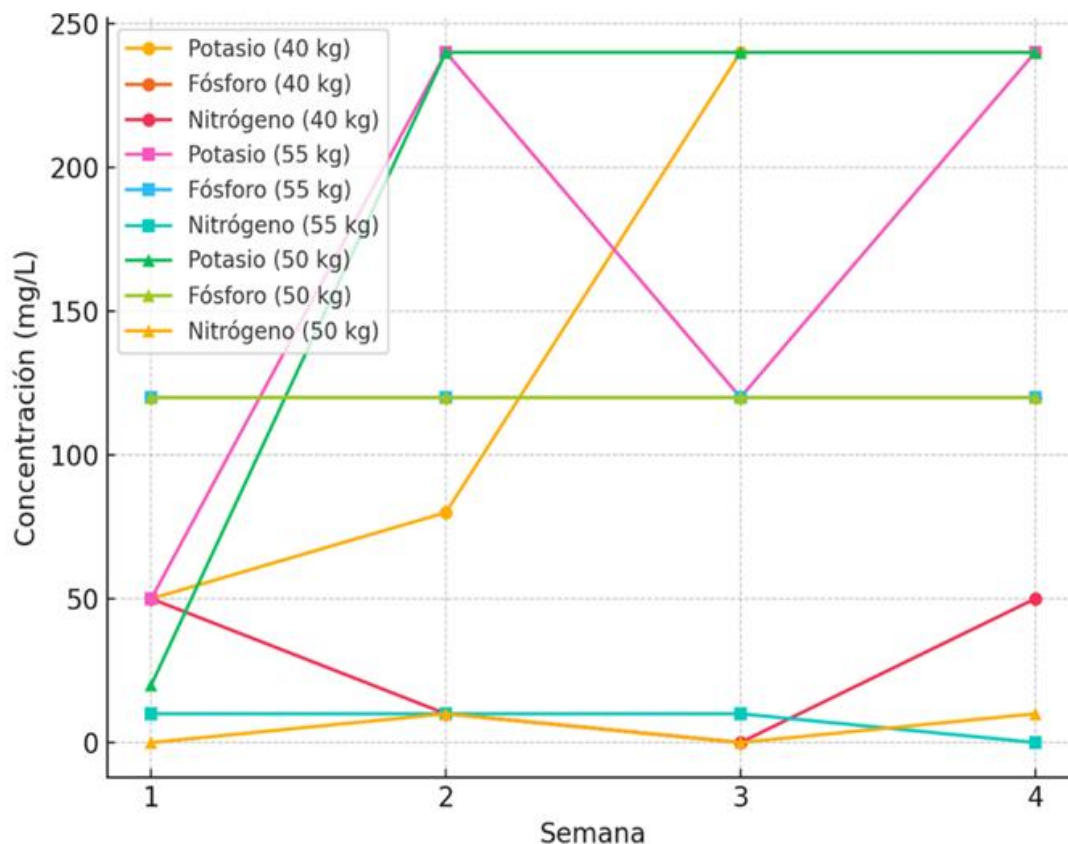


Figura 2. Concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en bioabonos obtenidos de los biodigestores. Los valores están expresados en miligramo por litro. Los datos reflejan un análisis realizado tras un periodo de retención de 30 días tomados cada semana.

La prueba t de Student confirmó que no hubo diferencias significativas en los niveles de nitrógeno ($p > 0.05$) entre los biodigestores de 50 kg y 40 kg ($t = -2.426$, $p = 0.058$), 50 kg y 55 kg ($t = -0.463$, $p = 0.682$) y 40 kg y 55 kg ($t = 1.793$, $p = 0.127$). Del mismo modo, los niveles de potasio fueron estadísticamente comparables entre los biodigestores de 50 y 40 kg ($t = 1.162$, $p = 0.316$), 50 kg y 55 kg ($t = 0.950$, $p = 0.409$) y 40 kg y 55 kg ($t = -0.288$, $p = 0.800$), indicando que la capacidad del biodigestor no tuvo impacto significativo en este parámetro.

CONCLUSIÓN

En cuanto al diseño de los tres biodigestores las entradas adaptadas fueron favorables para la dispersión de las bacterias, pero el espacio limitó la distribución de estas. Por esto se proponen mejoras como aumentar el espacio para la inoculación de las bacterias. La inoculación directa de *B. subtilis* resultó en la mayor producción de biogás, confirmando que su concentración óptima (3.6%) promueve una alta actividad enzimática, particularmente en la descomposición inicial de carbohidratos complejos y lignocelulosa. Esto indica que la acción de *B. subtilis* favorece la disponibilidad de carbono utilizable por las bacterias metanogénicas, acelerando la generación de metano. Por otro lado, *L. plantarum*, a una concentración significativamente más baja (0.01%), presentó la menor producción de biogás. Este resultado sugiere que su principal contribución al proceso está más relacionada con la acidificación inicial y la estabilización del medio que con la

generación de metano directamente. Su baja concentración podría limitar la producción de ácidos volátiles necesarios para las etapas posteriores de metanogénesis, afectando la eficiencia total del biodigestor con la combinación de ambas bacterias, se logró un balance intermedio, aprovechando los beneficios sinérgicos de ambas especies. En términos de nutrientes, no se encontraron diferencias cualitativas significativas entre los biodigestores evaluados, sugiriendo que todos generaron bioabono con concentraciones similares de fósforo. Sin embargo, la variabilidad observada en la composición de nitrógeno y potasio en los bioabonos producidos puede atribuirse a la heterogeneidad de los sustratos utilizados. Finalmente, la combinación de frutas y verduras y estiércol, con un tiempo de retención de 30 días, influyó en la calidad del bioabono y en la producción de biogás. Los desechos vegetales y de fruta al tener una mayor cantidad de materia orgánica fácilmente degradable, pueden producir biogás más rápidamente en las etapas iniciales del proceso. Sin embargo, el estiércol, de descomposición más lenta, permite la producción sostenida. La inoculación bacteriana, particularmente en un corto período de tiempo, puede resultar en una mejora rápida en la producción de biogás, como lo sugieren investigaciones que destacan el impacto positivo de bacterias específicas de los sustratos utilizados y los tiempos de retención adecuados. Estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar bacterias específicas y controlar las condiciones ambientales del biodigestor.

REFERENCIAS

- Angelidaki, I., & Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants: Status and future trends. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109, 95–105.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781.
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., & Sanders, W. (2002). The IWA anaerobic digestion model no. 1 (ADM1). *Water Science and Technology*, 45(10), 65–73.
- Chen, C., Ma, X., Wang, J., & Guo, X. (2020). Effects of *Lactobacillus plantarum* on the anaerobic digestion of organic waste: Acidification and microbial community shifts. *Bioresource Technology*, 302, 122888.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064.
- Estela, W., Rychtera, M., Melzoch, K., Quillama, E., & Egoavil, E. (2007). Producción de ácido láctico por *Lactobacillus plantarum* L10 en cultivos batch y continuo. *Revista Peruana de Biología*, 14(2), 271–275.
- FAO. (1996). Manual de biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>
- García, J. L., & Pérez, R. (2019). Microbial ecology of methanogens. *Journal of Environmental Microbiology*, 133, 123–145.
- García, M., & Pérez, R. (2019). Conductividad eléctrica como indicador del potencial de producción de biogás. *Revista Internacional de Investigación en Biogás*, 8(3), 110–115.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria and their role in soil health and agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 39(5), 1317–1328.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. IPCC.
- Kim, S., Lee, J., & Park, H. (2017). Fluctuaciones de nitrógeno durante la fase inicial de fermentación: asimilación y liberación microbiana. *Environmental Engineering Research*, 22(1), 75–82.
- Li, Y., Chen, Y., & Zhao, Z. (2018). Efecto del pH y la conductividad eléctrica en la liberación de potasio en biodigestores. *Bioresource Technology*, 256, 259–265.
- Li, Y., Liu, Y., Yan, Y., & Wang, D. (2020). Enhancing biogas production in anaerobic digestion through microbial community engineering: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110382.

- Liu, Y., Whitman, W. B., & Zinder, S. H. (2008). Methanogenic degradation of complex organic matter in anaerobic environments. *FEMS Microbiology Reviews*, 12(1–2), 65–79.
- Mata-Álvarez, J. (2003). Digestión anaeróbica de residuos sólidos. Publicaciones IWA.
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242–257.
- Molinuevo-Salces, M. J., García-González, M. C., González-Fernández, C., & León-Cofreces, C. (2013). Producción de biogás a partir de residuos agroindustriales: optimización del proceso y valorización del digestato. *Revista de Energías Renovables*, 3(2), 45–54.
- Patel, M., Singh, L., Zhang, Q., & Kumar, A. (2021). Enhancing biogas production from organic waste through *Bacillus subtilis* inoculation: Mechanisms and microbial interactions. *Renewable Energy*, 179, 1657–1665.
- Ramírez, J. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de biogás en biodigestores anaerobios. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI004010.PDF>
- Rosenberg, E., DeLong, E. F., Lory, S., Stackebrandt, E., & Thompson, F. (Eds.). (2008). The prokaryotes: Volume 5. Proteobacteria: Alpha and beta subclasses. Springer.
- Sánchez, M., Pérez, A., & Gómez, R. (2020). Influencia de la solubilización de compuestos celulares en el aumento de potasio durante la digestión anaerobia. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*, 15(3), 210–220.
- Singh, R. P., Sharma, S., & Gupta, V. (2014). Producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de desechos de cocina. *Energy Procedia*, 54, 262–268.
- Smith, J. (2018). Influencia de la temperatura ambiente en la eficiencia de la digestión anaeróbica. *Journal of Environmental Science*, 15(2), 45–51.
- Smith, J., Brown, L., & Thompson, P. (2014). Manejo del digestato en sistemas de biodigestión: desafíos y soluciones. En P. Green (Ed.), *Tecnologías sostenibles en la gestión de residuos* (pp. 123–140). EcoInnovate Press.
- Smith, J., Brown, L., & Thompson, P. (2021). Efecto de *Lactobacillus plantarum* en la fermentación de sustratos dentro de biodigestores de 40 kg. *Journal of Applied Microbiology*, 130(5), 1456–1465.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., & McCarl, B. (2007). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation* (pp. 497–540). Cambridge University Press.
- Soto Gonzales, H. H., Colla Tonconi, M. L., Colana Jorge, E. A., & Quispe Camaticona, N. M. (2021). Elaboración de un biodigestor para la generación de biogás a partir de desechos orgánicos de animales (porcino-vacuno) en el distrito de Ite. Universidad Nacional de Moquegua.
- Wagner, A. O., Gstraunthaler, G., & Illmer, P. (2019). Procesos de desnitrificación y asimilación microbiana del nitrógeno en sistemas anaerobios. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1234.
- Wang, Y., Zhang, Y., Wang, J., Meng, L., & Wang, J. (2019). Role of *Bacillus subtilis* in enhancing methane production from hydrolyzed sludge in anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 281, 226–233.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928–7940.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860.
- Xu, F., Li, Y., & Ge, X. (2020). Impacto del sustrato inicial en la estabilidad de biodigestores: Más allá de las condiciones operativas. *Renewable Energy*, 146, 2152–2160.

Metabolitos secundarios y actividad biológica de tres árboles nativos de México: Guaje (*Leucaena* spp.), mezquite (*Prosopis* spp.) y guamúchil (*Pithecellobium dulce*)

Jesús Andrés Morales-López^{1*}, Tamara Aquino-Aguilar¹, Teodulfo Aquino-Bolaños¹, Angelica Bautista-Cruz¹, Edgar García-Sánchez¹

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: jmoralesl2100@alumno.ipn.com

Recibido: 03/07/25; Aceptado: 15/11/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Guaje (*Leucaena* spp.), mezquite (*Prosopis* spp.) y guamuchil (*Pithecellobium dulce*) son árboles nativos de México, considerados recursos ancestrales por los pueblos mesoamericanos. En México son empleados como recurso comestible, cerca viva, forraje y propiedades medicinales. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo recopilar información acerca de las actividades biológicas de guaje, mezquite y guamúchil, así como evidenciar los compuestos bioactivos presentes en hojas, tallos, semillas y frutos con aplicaciones farmacológicas. Para ello, se realizó una búsqueda organizada y sistemática de artículos científicos relacionados con sus actividades biológicas y compuestos bioactivos presentes en hojas, tallos, semillas y frutos de guaje, mezquite y guamúchil. Se encontró que las hojas y semillas de los tres géneros poseen actividades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, antiinflamatorias, antitumorales, inmunoestimulantes, y anti proliferativas, relacionada con sus componentes bioactivos donde destacan los compuestos fenólicos, flavonoides, taninos, alcaloides, mono y triterpenos, esteroides, y saponinas. Por lo tanto, se concluyó que los compuestos presentes en las hojas y semillas de las especies estudiadas pueden ser una alternativa en el uso y desarrollo de nuevos tratamientos farmacológicos.

Palabras clave: Metabolitos secundarios, compuestos bioactivos, actividades biológicas.

ABSTRACT

Guaje (*Leucaena* spp.), mezquite (*Prosopis* spp.) and guamuchil (*Pithecellobium dulce*) are trees native from Mexico, considered ancestral resources by Mesoamerican peoples. In Mexico they are used as an edible resource, living fence, forage and medicinal properties. Therefore, the aim of this work was to compile information about the biological activities of guaje, mesquite and guamúchil, as well as to demonstrate the bioactive compounds present in leaves, stems, seeds and fruits with pharmacological applications. For this purpose, an organized and systematic search of scientific articles related to their biological activities and bioactive compounds present in leaves, stems, seeds and fruits of guaje, mesquite and guamúchil was carried out. It was found that the leaves and seeds of the three genera possess antioxidants, antibacterial, antifungal, antiinflammatory, antitumour, immunostimulant, and antiproliferative activities, related to their bioactive components, where phenolic compounds, flavonoids, tannins, alkaloids, mono- and triterpenes, steroids, and saponins stand out. Therefore, it was concluded that the compounds present in the leaves and seeds of the species studied can be an alternative in the use and development of new pharmacological treatments.

Key words: Secondary metabolites, bioactive compounds, biological activities.

INTRODUCCIÓN

México posee una amplia biodiversidad y riqueza cultural que ha conducido a estudios etnobotánicos enfocados en la determinación y evaluación de propiedades vegetales; los estudios etnobotánicos son fundamentales porque permiten comprender la relación ancestral y actual entre las comunidades humanas y las plantas que las rodean. A través de ellos se documentan los conocimientos tradicionales sobre el uso de especies vegetales con fines alimenticios, medicinales, rituales, agrícolas o

tecnológicos, contribuyendo así a la preservación del patrimonio biocultural. Estos estudios no solo rescatan saberes locales en riesgo de desaparecer, sino que también ofrecen información valiosa para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de nuevas aplicaciones científicas, como la búsqueda de compuestos bioactivos o el diseño de estrategias sostenibles de manejo de recursos naturales. Además, la etnobotánica fortalece el vínculo entre ciencia y comunidad, promoviendo el respeto por los conocimientos tradicionales y fomentando su integración en políticas de conservación y desarrollo sustentable (Cutiupala et al., 2023). Las plantas y su metabolismo vegetal se han reconocido como una fuente inagotable de compuestos químicos y complejas sustancias activas (Torres-Chatí et al., 2017). El guaje (*Leucaena* spp.), el mezquite (*Prosopis* spp.) y el guamúchil (*Pithecellobium dulce*) son considerados árboles nativos de México y centro América, así como recursos ancestrales de los pueblos mesoamericanos (Román-Cortés et al., 2014). Son especies pertenecientes a la familia Fabaceae (leguminosas arbóreas) con una amplia importancia económica científica y ecológica.

En México y en otros países como Tailandia y Malasia, sus hojas, vainas y semillas son consumidas debido a su sabor, alto contenido de proteínas, nutrientes y propiedades medicinales, donde destaca su uso en el tratamiento de padecimientos estomacales y respiratorios (Mora-Villa et al., 2021), de igual forma, se reporta su uso como cerca viva y forraje para la alimentación de animales. Investigaciones recientes nos revelan que sus hojas, tallos, semillas y frutos poseen una amplia variedad y un alto contenido de metabolitos secundarios, principalmente compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas y alcaloides (Sethi & Kulkarni, 1995). Compuestos químicos con actividades biológicas de gran importancia, capaces de inhibir el crecimiento microbiano (Murugesan et al. 2019), reducir los radicales libres (Román-Cortés et al., 2014) e inhibir la proliferación celular en procesos cancerígenos (Olmedo-Agudo et al., 2016). Metabolitos secundarios relacionados con actividades biológicas como la antihelmíntica, antibacterial, anti proliferativa, antioxidante y antidiabética. (Zayed & Samling, 2016).

Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo recopilar información acerca de los metabolitos secundarios presentes en las hojas, tallos, semillas y frutos de guaje (*Leucaena* spp.), mezquite (*Prosopis* spp.) y guamúchil (*P. dulce*) así como las actividades biológicas relacionadas con los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo se empleó metodología de tipo cualitativa. Se realizó una revisión sistemática de literatura científica procedente de bases de datos online (Scopus, SciELO, PubMed, Dialnet, Web of Science, Science Direct), libros y artículos científicos, donde se recopiló información acerca de las actividades biológicas y metabolitos secundarios presentes en las hojas, tallos, semillas y frutos de guaje (*Leucaena* spp.), mezquite (*Prosopis* spp.) y guamúchil (*P. dulce*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades preventivas o curativas de las plantas se asocian a la presencia de compuestos químicos resultantes de su metabolismo secundario. Existen más de 100,000 metabolitos secundarios conocidos, pero solo se conoce la actividad biológica de importancia médica del 1% de los compuestos. Las plantas pertenecientes a la familia Fabaceae han sido estudiadas debido a su variedad taxonómica, fitoquímica y por qué forman parte principal de la alimentación humana (Mora-Villa et al., 2023). Los árboles de guaje, mezquite y guamúchil (Figura 1) se consideran una especie de leguminosas, conocidas comúnmente como leguminosas leñosas y se caracterizan por poseer vainas que contienen en su interior semillas (legumbres), las leguminosas se consideran un grupo de plantas con gran importancia económica, científica y ecológica, donde destacan algunos tipos de frijol (*Phaseolus* spp.), garbanzo (*Cicer arietinum*), lenteja (*Lens culinaris*), chicharo (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*), se consideran especies con alto contenido de proteínas, grasas, hidratos de carbono

de asimilación lenta, minerales (calcio, hierro, cinc), fibra (soluble) y algunos componentes bioactivos minoritarios (Alonso et al., 2010).



Figura 1. *Leucaena* spp. A) Árbol B) Vainas y C) Semillas. *Pithecellobium dulce* D) Árbol E) Vainas y F) Semillas. *Prosopis* spp. G) Árbol H) Vainas y I) Semillas. Fotografías: Jesús Andrés Morales López.

El guaje es un árbol que puede alcanzar los 12 m de alto, con ramas cilíndricas, inflorescencia blanca, fruto en forma de vaina oblongo, café y lisa, semillas obovadas de color rojizo claro a oscuro, el cual pertenece al género *Leucaena* y cuenta con 24 especies, 13 de ellas se distribuyen en México principalmente en el centro y sur del país (Mora-Villa et al., 2021), las especies más relevantes son *L. leucocephala* y *L. esculenta* comúnmente conocidas como guaje blanco y guaje rojo en donde tradicionalmente se utiliza para alimentación, uso terapéutico y vivienda en zonas rurales y suburbanas, en los estados de Guerrero y Oaxaca son considerados como parte de su identidad cultural (Román-Cortés et al., 2014). Estudios etnobotánicos y fitoquímicos realizados en México muestran el uso medicinal del guaje para tratar enfermedades infecciosas (gastrointestinales y respiratorias). Así mismo se reportaron efectos antimicrobianos, antiparasitarios, eupépticos y afrodisíacos (Peralta et al., 2017; Sepulveda et al., 2018; Orozco et al., 2020).

La actividad antimicrobiana de las hojas y semillas del guaje están relacionadas con los compuestos químicos presentes como lo son: fenoles, taninos, flavonoides, alcaloides, glicósidos, saponinas y terpenos (Cuadro 1). Abu et al. (2016) reportaron propiedades antimicrobianas del extracto acuoso de hojas de guaje blanco para dos cepas del género *Staphylococcus*, *S. aureus* y *S. epidermis*, las cuales son microorganismos oportunistas presentes en el cuerpo humano de forma natural sin causar daños, sin embargo, pueden provocar infecciones menores o mortales (Rupa et al., 2025). Retnaningsih et al. (2016) reportaron actividad antimicrobiana en los extractos etanólicos de hojas de guaje contra *Escherichia coli*.

Otras actividades biológicas que se reportan son el caso de Gamal-Eldeen et al. (2007) quienes mencionan que ciertos complejos polisacáridos-proteína aislados de semilla de guaje presentaron efecto quimiopreventivo y anticancerígeno. Syamsudin et al. (2010) reportaron que la galactosa, así como otros compuestos de glucosa obtenidos de la semilla de guaje blanco presentaron efecto hipoglucemiante en ratones de laboratorio. Así mismo, Kuppusamy et al. (2014) indican que los extractos acuosos de semilla de guaje blanco presentan actividad hipoglucemiante por lo que se podría utilizar en el tratamiento de la diabetes tipo 2. Husein et al. (2020) demostraron que los extractos etanólicos de semilla de guaje tienen actividad antidiarreica, por lo que valida su uso en la medicina tradicional. Además, el extracto etanólico de hojas de guaje demostraron poseer actividad antiinflamatoria debido a que contienen saponinas, las cuales han demostrado ser capaces de estimular la formación de colágeno (Prajá et al., 2017). Igualmente, Aquino-González et al. (2023) mencionan

que se ha reportado actividad anticoagulante, analgésica, lipolítico y emoliente debido a la fracción proteica que contienen las semillas de guaje.

Por otra parte, las semillas de guaje contienen un compuesto químico perteneciente al grupo de los alcaloides llamada miosina [ácido 3-N- (3-hidroxi-4-piridona)-aminopropiónico], la cual se ha demostrado que en animales produce efectos secundarios como retraso en el crecimiento, cataratas, alopecia e infertilidad cuando se excede la dosis de ingesta permitida por lo que se considera un anti nutriente (Aquino-González., 2023). Por esta razón, es importante que para la dieta humana se realicen pretratamiento térmicos, físicos o químicos antes de la ingesta de semillas, para disminuir los anti nutrientes presentes en las semillas (Elizalde et al., 2009).

El mezquite es un árbol que puede llegar alcanzar los 10 m de altura, tiene una corteza gruesa de color café-negruzco, ramas con espinas, flores de color blanco-amarillentas, presenta frutos en forma de vaina de color café-amarillento a veces rojizo y sus semillas son de color verde amarillento (Rodríguez-Sauceda et al., 2014). Perteneciente al género *Prosopis* él cuenta con 44 especies y 42 de ellas se distribuyen en el continente americano, principalmente en zonas áridas y semiáridas (García-López et al., 2019). En México los mezquites forman parte de la flora nacional y tiene diversos usos como maderable, combustible, forraje, gomas y medicinal (Luna-Almaraz et al., 2022). Gul et al. 2017 mencionan que el mezquite es utilizado en la medicina tradicional para tratar diferentes enfermedades como lo son: diarrea, dolor de garganta, resfriado, catarro, disentería, inflamación, entre otros. La actividad biológica que posee el mezquite está relacionada con los compuestos químicos que contiene principalmente de tipo alcaloide, terpenos, flavonoides y fenólicos (Rennan et al., 2018).

En lo que se refiere a la actividad antimicrobiana, estudios anteriores han demostrado que las hojas del mezquite contienen alcaloides y flavonoides que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos (Valencia et al., 2020). Por otra parte, los biopéptidos aislados de semilla de mezquite inhibieron el crecimiento de *Bacillus cereus*, la cual se considera una bacteria patógena para el ser humano (Acostas et al., 2019). Otras actividades biológicas reportadas son la actividad antiinflamatoria, antitumoral y antioxidante que presentan los extractos de hoja de mezquite, así mismo los extractos de corteza del mezquite poseen actividad antiviral y antidiarreica (Díaz-Batalla et al., 2018; Valencia et al., 2020). De acuerdo con Hoffmann et al. (2024) las harinas de dos especies de mezquite (*P. alpataco* y *P. flexuosa*) presentan propiedades bioactivas para disminuir el síndrome metabólico dado que ayudan a regular la hiperglucemia y el estrés oxidativo. Además, presentan actividades antihelmínticas debido a la presencia de terpenos, así mismo poseen actividades antiinflamatorias, antiinfecciosas analgésicas, inmunoestimulantes y anticoagulantes gracias a los compuestos fenólicos del mezquite (Henciya et al., 2017).

El guamúchil es un árbol endémico de México y tiene una amplia distribución en regiones tropicales del país, puede crecer hasta 18 metros de altura, presenta ramas espinosas, flores pequeñas con aroma, de color blanco-cremoso o verdes, sus frutos son vainas delgadas enroscadas de color rojizas o rosas, contienen pulpa y semillas las cuales tienen un tamaño de 7 a 12 mm, de forma ovoide y plana y son de color negro (Kiranmayee & Riazunnisa, 2025). Se ha reportado el uso medicinal del guamúchil para el tratamiento de diversas enfermedades (corteza: disentería; hoja: antiabortivo y bilis; planta: diarrea, hemorragia y tuberculosis; tallo: dolor de muelas; y semilla: úlceras internas) (Poongadi & Hemalatha, 2015; Kalavani et al., 2016). Villaruel et al. (2008) reportó que el extracto acuoso de corteza de guamúchil y el extracto etanólico de hoja de guamúchil presentan actividad antimicrobiana contra bacterias gram positivas (*S. aureus*, *Enterococcus faecalis* y *Bacillus cereus*), por otra parte, el extracto acuoso de hojas de guamúchil no presentó actividad antimicrobiana, pero sí actividad antifúngica contra *Candida* spp. Los extractos de la raíz de guamúchil mostraron efectos antibacterianos frente a *Enterobacter aerogenes*, *S. aureus* y *Klebsiella pneumoniae* (Aldarhami et al., 2023). Así mismo los extractos de metanol y acetónitrilo de hoja de guamúchil presentaron

propiedades antibacterianas contra *E. coli* y *Bacillus subtilis* (Kiranmayee & Riazunnisa, 2025), causantes de enfermedades infecciosas en personas con sistemas inmunes comprometidas (Ikhimiukor et al., 2022), por otra parte, Suman (2017) reporto actividad antifúngica de infusiones de hoja de guamúchil frente a *Aspergillus niger* y *A. fumigatus*.

Otras actividades biológicas presentes en la planta de guamúchil es la actividad antioxidante, que presentan los extractos de los arilos rojos del fruto, por lo que el consumo de estos podría proporcionar beneficios para la prevención y el tratamiento de enfermedades degenerativas (López-Angulo et al., 2018). Ali et al. (2020) reporto que el extracto de guamúchil contiene propiedades anticancerígenas (cancer colorrectal). Por otra parte, diferentes autores han reportado que todas las partes del guamúchil contienen una gama extensa de compuestos biológicamente activos los cuales presentan diferentes propiedades biológicas como: antidiabéticas, antiinflamatorias, antidiftérico, anticonvulsivo, antidiarreico y antiulceroso (Sukantha et al., 2011; Manna et al., 2011; Mule et al., 2016; Srinivas et al., 2018).

Cuadro 1. Actividades biológicas y compuestos bioactivos de especies de *Leucaena* spp., *Prosopis* spp. y *Pithecellobium dulce*.

Especie	Fracción vegetal	Tipo de extracto	Actividad biológica	Compuestos bioactivos	Referencia
<i>Leucaena leucocephala</i> (Guaje verde)	Semillas	Polvo Metanol	Antioxidante	Taninos condensados (proantocianidinas)	(Román-Cortés et al., 2014)
<i>Leucaena esculenta</i> (Guaje rojo)	Semillas	Polvo Metanol	Antioxidante	Compuestos fenólicos Antocianinas Flavonoides Alcaloides Monoterpenos Triterpenos	(Román-Cortés et al., 2014)
<i>Leucaena leucocephala</i>	Semillas	Metanol Acetona Hexano	Antibacteriana Antifúngica	Esteroides Glicósidos Saponinas Compuestos fenólicos Alcaloides Glicósidos	(Mora-Villa et al., 2021)
<i>Leucaena esculenta</i>	Semillas	Metanol Acetona Hexano	Antibacteriana Antifúngica	Saponinas Monoterpenos Triterpenos Esteroides	(Mora-Villa et al., 2021)
<i>Leucaena leucocephala</i>	Hojas	Hexano Éter de petróleo Cloroformo Acetato de etilo Metanol	Antimicrobiano Antiinflamatorio Antitumoral Inmunoestimulante Plaguicida	Fitol Escualeno n-ácido hexadecanoico	(Zayed & Samling, 2016)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Hojas Frutos Semillas	Hexano- diclorometano Acetona Metanol-agua	Antifúngica	Triacil glicerol	(Barrera-Necha & Bautista-Baños, 2002)

Especie	Fracción vegetal	Tipo de extracto	Actividad biológica	Compuestos bioactivos	Referencia
<i>Pithecellobium dulce</i>	Hojas	Metanol	Antiproliferativa (Cáncer de próstata)	Compuestos fenólicos Flavonoides	(Almedo-Agudo et al., 2016)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Corteza	Metanol	Anticancerígeno Antioxidante	Ácidos Fenólicos Flavonoides polifenoles	(Kotb et al., 2024)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Corteza Hojas	-	Antioxidante antibacteriana	Fracciones lipofílicas Alcaloides Flavonoides	(Kotb et al., 2020)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Hojas	Etanol	Antiinflamatorio	Glucosidos Fenoles Esteroides saponinas Esteroles Alcaloides	(Kalavani et al., 2016)
<i>Pithecellobium dulce</i>	corteza	Etanol	Antidiabético	Taninos Proteínas Flavonoides Fenólicos	(Praveen et al., 2010)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Hoja	Etanolico y acuoso	Anticonvulsivante	Flavonoides	(Sugumaran et al., 2008)
<i>Pithecellobium dulce</i>	Flor Fruto	Acuoso	Cardio protector	-	(Bhavani et al., 2014)
<i>Prosopis</i> spp.	Vaina	Acuoso Etanolico	antioxidante	-	(Rivera et al., 2016)
<i>Prosopis laevigata</i>	Semillas	-	Antimicrobial	Biopéptidos	(Acostas et al., 2016)
<i>Prosopis velutina</i>	Hojas	Acuoso Etanol	Antioxidante	Fenoles flavonoides	(Ramirez-Rojo et al., 2019)
<i>Prosopis alpataco</i>	Flores	Harina	Inhiben enzimas digestivas	-	(Hoffmann et al., 2024)
<i>Prosopis flexuosa</i>	Flores	harina	Inhiben enzimas digestivas	-	(Hoffmann et al., 2024)

CONCLUSIÓN

Se encontró que los tres árboles nativos de México (guaje, mezquite y guamuchil) poseen diversas actividades biológicas como antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena, antidiarreica, antihipoglucemiante entre otras más, esto debido a que presentan metabolitos secundarios, principalmente flavonoides, terpenos, alcaloides, saponinas y glucósidos. Por lo que muestran potencial para su posible aplicación en área farmacéutica, sin embargo, se requiere realizar más estudios que ayuden a identificar algunas sustancias tóxicas que puedan presentar para el humano.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado al primer autor para realizar sus estudios de doctorado en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales en el CIIDIR IPN Oaxaca y al Sistema Nacional de Investigadores (SNII) del SECIHTI por el apoyo brindado a los Profesores del IPN.

REFERENCIAS

- Abu, M., Yin, H., Isha, A., & Armania, N. (2016). Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic potential of condensed tannins from *Leucaena leucocephala* hybrid-Rendang. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 65–75.
- Acostas, S. U. J., Favela, G. K., Pérez, G. K. M., del Río, A. C. N., & De la Fuente-Salcido. (2019). Extracción preliminar y determinación de la actividad biológica de péptidos de semilla de *Prosopis laevigata* (mezquite). *Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina*, 4, 56–67.
- Aldarhami, A., Bazaid, A. S., Alhamed, A. S., Alghaith, A. F., Ahamad, S. R., Alassmrry, Y. A., Alharazi, T., Snoussi, M., Qanash, H., Alamri, A., Badraoui, R., Kadri, A., Binsaleh, N. K., & Alreshidi, M. (2023). Antimicrobial potential of *Pithecellobium dulce* seed extract against pathogenic bacteria: In silico and in vitro evaluation. *BioMed Research International*, 2848198.
- Ali, M. A., Ahmed, T., Wu, W., Hossain, H. R., Islam, M., Wang, Y., Sun, G., & Binli, L. (2020). Advancements in plant and microbe-based synthesis of metallic nanoparticles and their antimicrobial activity against plant pathogens. *Nanomaterials*, 10(113), 1–24.
- Alonso, B. O., Rovir, R. F., Vegas, C. A., & Pedrosa, M. M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2), 72–76.
- Aquino-González, L. V., Noyola-Altamirano, B., Méndez-Lagunas, L. L., Rodríguez-Ramírez, J., Sandoval-Torres, S., & Barriada, B. G. (2023). Potential of *Leucaena leucocephala* and *Leucaena esculenta* seeds in human nutrition: Composition, techno-functional properties, toxicology and pretreatment technologies. *Legume Research: An International Journal*, 46(10), 1261–1270.
- Barrera-Necha, L. L., & Bautista-Baños, S. (2002). Influence of leaf, fruit and seed powders and extracts of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. (Fabaceae) on the in vitro vegetative growth of seven postharvest fungi. *Revista Fitopatología Brasileira*, 20(1), 66–71.
- Bhavani, R., Shobana, R., & Rajeshkumar, S. (2014). Cardio-protective activity of *Pithecellobium dulce* flower and fruit pulp aqueous extracts. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 6(3), 82–89.
- Cutiupala, G. M. A., Mendoza, I. M. L., Lucio, M. V., & Peñafiel, E. A. (2023). Revisión bibliográfica: aplicación de estudios etnobotánicos para inventariar el conocimiento y uso de la biodiversidad vegetal. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(10), 610-627.
- Díaz-Batalla, L., Hernández-Urbe, J. P., Román-Gutiérrez, A. D., Cariño-Cortés, R., Castro-Rosas, J., Téllez-Jurado, A., & Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Chemical and nutritional characterization of raw and thermal-treated flours of mesquite (*Prosopis laevigata*) pods and their residual brans. *CYTA Journal of Food*, 16(1), 444–451.
- Elizalde, A. D., Portilla, Y. P., & Chaparro, D. C. (2009). Factores nutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7, 45–54.
- Gamal-Eldeen, A. M., Amer, H., Helmy, W. A., Ragab, H. M., & Talaat, R. M. (2007). Propiedades antiproliferativas y quimiopreventivas del extracto glicosilado sulfatado derivado de *Leucaena leucocephala*. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 69, 805–811.
- García-López, J. C., Durán-García, H. M., de-Nova, J. A., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., López-Aguirre, S., Ruiz-Tavares, D., Rendón-Huerta, J. A., Vicente-Martínez, J. G., & Salinas-Rodríguez. (2019). Producción y contenido nutrimental de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el altiplano potosino, México. *Agrociencia*, 53(6), 821–831.
- Gul, R., Jan, S. U., Faridullah, S., Sherani, S., & Jahan, N. (2017). Preliminary phytochemical screening and antioxidant activity of *Ephedra intermedia*. *Scientific World Journal*, 17(2), 1–7.
- Henciya, S., Seturaman, P., Rathimnam, J. A., Yi-Hong, T., Rahul, N., Yang-Chang, W., Hans-Uwe, D., & Fang, R. C. (2017). Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae Leguminosa). *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 187–196.
- Hoffmann, E., Boeri, P., Monasterio, R., Fontana, A., Puppo, M. A., Barrio, D. A., & Piñuel, L. (2024). Bioactivity of *Prosopis alpataco* and *Prosopis flexuosa* flours: Healthy alternatives as ingredients for nutritional foods. *Food Bioscience*, 58, 103778.
- Husein, S., Nainggolan, M., Yuandani, Y., & Fanany, I. (2020). Evaluation of antidiarrheal activity of the ethanol extract of *Leucaena leucocephala* seeds. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 25(8), 278–282.
- Ikhimiukor, O., Ewomazino, E., Odih, P. D. G., & Iraku, O. N. (2022). A bottom-up view of antimicrobial resistance transmission in developing countries. *Nature Microbiology*, 7, 757–765.

- Kalavani, R., Sabitha, B. R., Jeyanthi, K. A., Sankari, U. T., & Kanna, A. V. (2016). Evaluation of anti-inflammatory and antibacterial activity of *Pithecellobium dulce* extract. *Biotechnological Research*, 2(4), 148–154.
- Kiranmayee, M., & Riazunnisa, K. (2025). Bioactive phytochemical compounds characterization, antioxidant and antimicrobial activity of *Pithecellobium dulce* leaf extracts. *Phytomedicine Plus*, 5(2), 100760.
- Kotb, S. S., Ayoub, I. M., El-Moghazy, S. A., & Singab, B. A. N. (2020). Profiling the lipophilic fractions of *Pithecellobium dulce* bark and leaves using GC/MS. *Chemistry and Biodiversity*, 17(7), e2000048.
- Kotb, S. S., Ayoub, I. M., El-Moghazy, S. A., & Singab, B. A. N. (2024). Phytochemical analysis of *Pithecellobium dulce* bark via UPLC-ESI-MS/MS and evaluation of its biological activity. *Natural Product Research*, 38(8), 1424–1429.
- Kuppusamy, U. R., Arumugam, B., Azaman, N., & Chai, J. W. (2014). *Leucaena leucocephala* fruit aqueous extract stimulates adipogenesis, lipolysis and glucose uptake in primary rat adipocytes. *Science World Journal*, 1, 1–8.
- López-Angulo, G., Montes-Ávila, J., Sánchez-Ximello, L., Díaz-Camacho, S. P., Miranda-Soto, V., López-Valenzuela, J. A., & Delgado-Vargas, F. (2018). Anthocyanins of *Pithecellobium dulce* fruit associated with antioxidant activities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73, 308–313.
- Luna-Almaraz, A. G., Martínez-Herrera, R. E., & Alemán, H. M. E. (2022). El mezquite: un superalimento ancestral. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica UANL*, 25(115), 20–29.
- Manna, P., Bhattacharyya, S., Das, J., Ghosh, J., & Sil, P. C. (2011). Phytochemical role of *Pithecellobium dulce* against CCl₄-mediated hepatic oxidative impairments and necrotic cell death. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 832805.
- Mora-Villa, A., Estrella-Parra, A., Ávila-Acevedo, G., Jiménez-Estrada, M., Lira-Saade, R., & Hernández-Delgado, T. (2023). Estudio biodirigido de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana y aislamiento de D-pinitol de semillas de *Leucaena esculenta* y *L. leucocephala*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 22(5).
- Mule, V. S., Naikwade, N. S., Magdum, C. S., & Jagtap, V. A. (2016). Effect of *Pithecellobium dulce* Benth leaves in dexamethasone-induced diabetic rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(9), 317–320.
- Murugesan, S., Kumar, L. D., Arumugam, V., & Anuf, A. R. (2019). Nutritional and therapeutic benefits of medicinal plant *Pithecellobium dulce* (Fabaceae): A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(7), 130–139.
- Olmedo-Agudo, D. A., Marrone-Paredes, N. S., Espinosa-Rivas, A. F., Guerra-Torres, C. P., & Prashad-Gupta, M. (2016). Evaluación de la actividad antiproliferativa de extractos metanólicos de plantas de la familia Leguminosae. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(3), 272–283.
- Orozco, J., Lira, R., Jiménez, M., Ávila, J. G., Serrano, R., & Hernández, T. (2020). Plantas medicinales de Oaxaca, México: Etnobotánica y actividad antibacteriana. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 19(2), 221–235.
- Peralta, I., Gómez, A., Romero, P. A., & Reyes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé ex DC.) Benth en dos comunidades de la Mixteca baja oaxaqueña, México. *Polibotánica*, 43, 1–16. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n43/1405-2768-polib-43-00349.pdf>
- Poongadi, T., & Hemalatha, R. (2015). In vitro cytotoxicity, phytochemistry, and GC–MS analysis of *Pithecellobium dulce* leaves. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4, 1266–1276.
- Praja, M. H., & Oktarlina, R. Z. (2017). Uji efektivitas daun petai cina (*Leucaena glauca*) sebagai antiinflamasi dalam pengobatan luka bengkok. *Jurnal Majority*, 6(1), 60–63.
- Praveen, A. R., Prasath, K., Kalyan, B., & Babu, I. (2010). Antidiabetic activity of bark extract of *Pithecellobium dulce* Benth in alloxan-induced diabetic rats. *Natural Product: An Indian Journal*, 6(4), 201–204.
- Ramírez-Rojo, M. I., Vargas-Sánchez, R. D., Hernández-Martínez, J., Martínez-Benavidez, E., Sánchez-Escalante, J. J., Torrescano-Urrutia, G. R., & Sánchez-Escalante, A. (2019). Actividad antioxidante de extractos de hoja de mezquite (*Prosopis velutina*). *Biotecnia*, 21(1), 113–119.
- Rennan, P. G., Souza, G. T. A., Moura, H. V., Martins, D. M. E., & Calvalcanti-Mata, M. E. (2018). Caracterização tecnológica de cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(1), 1–8.

- Retnaningsih, A. (2016). Uji daya hambat daun petai cina (*Leucaena leucocephala* folium) terhadap bacterias *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* usando el método de difusión en agar. *Jurnal Dunia Kesmas*, 5(2), 110–114.
- Rivera, V. (2016). Actividad antioxidante de extractos etanólicos y acuosos de vaina de mezquite (*Prosopis velutina*) con potencial de aditivo alimentario. *Tlamati*, 7(2), 1–9.
- Rodríguez-Sauceda, E. N., Rojo, M. G. E., Ramírez-Valverde, B., Martínez-Ruiz, R., Cong, H. M. C., Medina-Torres, S. M., & Piña-Ruiz, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 10(3), 173–193.
- Román-Cortés, N., García-Mateos, M. D., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2), 157–170.
- Rupa, N., Rao, D. P., Basu, S., & Arunasri, K. (2025). The burden of antimicrobial resistance in biofilm-forming *Staphylococcus* spp. from vernal keratoconjunctivitis patients' eyes. *Biofilm*, 9, 100278.
- Sepúlveda, J., Torres, J., Sandoval, C., Martínez, J., & Chan, J. (2018). La importancia de los metabolitos secundarios en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 5(2), 79–95. <https://cutt.ly/Ql1k1Re>
- Sethi, P., & Kulkarni, P. R. (1995). *Leucaena leucocephala*: A nutrition profile. *Food and Nutrition Bulletin*, 16(3), 1–16.
- Srinivas, G., Geeta, H. P., Shashikumar, J. N., & Champawat. (2018). A review on *Pithecellobium dulce*: A potential medicinal tree. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 540–544.
- Sugumaran, M., & Vetrichelvan, T. (2008). Anti-inflammatory activity of *Pithecellobium dulce* Benth. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 2(4), 868–869.
- Sukantha, T. A., Subashini, K. S., Ravindran, N. T., & Balashanmugam, P. (2011). Evaluation of in vitro antioxidant and antibacterial activity of *Pithecellobium dulce* Benth fruit peel. *International Journal of Current Research*, 3, 378–382.
- Suman, K. (2017). Evaluation of phytochemical analysis and antioxidant and antifungal activity of *Pithecellobium dulce* leaves extract. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10, 370–375.
- Syamsudin, X., Sumarny, R., & Simanjuntak, P. (2010). Antidiabetic activity of active fractions of *Leucaena leucocephala* (Lmk) De Wit seeds in an experimental model. *European Journal of Scientific Research*, 43, 384–391.
- Torres-Chatí, J., León-Quispe, J., & Tomas-Chota, G. (2017). Actividad antibacteriana y antifúngica de extractos de hojas de *Luma chequen* (Molina) A. Gray frente a patógenos de origen clínico. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 37(1), 10–16.
- Valencia, D., Rueda, E. O., Leyva, P. M. A., Mazón-López, S. R., & Ortega-García, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de mezquite (*Prosopis* spp.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 50–59.
- Villaruel, J. B., López, Z., Solís, D. B., Salazar, J., & Knauth, P. (2008). Cytotoxicological effects and antimicrobial activity of *Pithecellobium dulce* (guamuchil) extracts. *Universidad de Guadalajara*.
- Zayed, M. Z., & Samling, B. (2016). Phytochemical constituents of the leaves of *Leucaena leucocephala* from Malaysia. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 174–179.

Plaguicidas y extractos vegetales en la agricultura: estudio de caso en el Valle de Etla y Asunción Nochixtlán, Oaxaca

Keyla Cruz-García^{1*}, Tlacaoel Aquino-López¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹, Teodulfo Aquino-Bolaños¹, Jaime Ruíz-Vega¹

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: key_cruz9@hotmail.com

Recibido: 03/07/25; Aceptado: 21/10/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El uso intensivo de plaguicidas sintéticos ha generado problemas ambientales, sanitarios y de resistencia en insectos plaga. Ante este panorama, los extractos vegetales se perfilan como una alternativa viable y sustentable. El presente estudio tuvo como objetivo identificar las principales plagas agrícolas en México, así como las plagas, cultivos afectados y las prácticas de manejo empleadas en el Valle de Etla y Asunción Nochixtlán, Oaxaca. Se empleó una metodología cualitativa-descriptiva, que combinó una revisión sistemática de literatura con entrevistas semiestructuradas aplicadas a 20 productores locales. Se identificaron plagas de alta incidencia como *Spodoptera frugiperda*, *Bemisia tabaci* y *Phyllophaga* sp., así como un predominio en el uso de plaguicidas químicos, con escasa adopción de extractos vegetales. Los resultados mostraron que el 91% hace uso de plaguicidas y solo el 9 % de los productores ha utilizado extractos, principalmente de *Azadirachta indica*, debido a su costo y limitada validación local. Se concluye que los extractos vegetales poseen un amplio potencial como alternativa en el manejo integrado de plagas, pero su adopción requiere mayor transferencia de tecnología, capacitación y validación experimental. Esta investigación aporta evidencia útil para fortalecer estrategias de transición hacia una agricultura más sustentable en contextos rurales.

Palabras clave: Extractos vegetales, plaguicidas químicos, plaga, agricultura sustentable.

ABSTRACT

The intensive use of synthetic pesticides has caused environmental, health, and resistance-related problems in insect pests. In this context, botanical extracts emerge as a viable and sustainable alternative. This study aimed to identify the main agricultural pests in Mexico, as well as the specific pests, affected crops, and pest management practices used in the Valle de Etla and Asunción Nochixtlán, Oaxaca. A qualitative-descriptive methodology was employed, combining a systematic literature review with semi-structured interviews conducted with 20 local farmers. High-incidence pests such as *Spodoptera frugiperda*, *Bemisia tabaci*, and *Phyllophaga* sp. were identified, along with a predominant reliance on synthetic pesticides and limited adoption of botanical extracts. Results showed that 91% of farmers used chemical pesticides, while only 9% reported using plant-based extracts, mainly from *Azadirachta indica*, citing cost and lack of local validation as major barriers. It is concluded that botanical extracts have strong potential as an alternative within integrated pest management strategies; however, their adoption requires improved technology transfer, farmer training, and experimental validation. This research provides useful evidence to support the development of transition strategies toward more sustainable agriculture in rural contexts.

Key words: Plant extracts, Synthetic pesticides, pest, Sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de la población mundial con proyecciones que estiman cerca de 10 mil millones de personas para el año 2050 plantea desafíos críticos para la seguridad alimentaria global (FAO, 2011). Uno de los principales obstáculos para alcanzar este objetivo es el impacto de los insectos plaga en la productividad agrícola, responsables de pérdidas que oscilan entre el 20 % y 40 % del rendimiento global (Culliney, 2014; FAO, 2016). Para contrarrestar este problema, se ha promovido el uso intensivo de plaguicidas sintéticos, particularmente en países como México, donde su aplicación aumentó en un 97.7 % entre 1992 y 2016 (FAO, 2016). No obstante, esta estrategia ha

generado efectos colaterales significativos, como intoxicaciones en hasta el 78 % de los trabajadores agrícolas (Abdullahi et al., 2023), impactos negativos sobre la biodiversidad y la aparición de resistencias en plagas clave como *Spodoptera frugiperda* (Storer et al., 2010; Chandrasena et al., 2018).

Ante este panorama, se han propuesto alternativas más sostenibles, como el uso de extractos vegetales, que destacan por su biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y multifuncionalidad en el manejo de plagas (Pavela, 2016; Andrade et al., 2017). Estos compuestos naturales derivados de hojas, raíces, flores o semillas presentan efectos insecticidas, repelentes, anti alimentarios y reguladores del crecimiento. Su compleja composición química representa una ventaja adicional, al dificultar el desarrollo de resistencia por parte de los insectos plaga (Bolzan et al., 2019). No obstante, la eficacia de estos extractos depende de múltiples factores: la parte vegetal empleada, el genotipo de la planta, las condiciones agroecológicas, la técnica de extracción y el manejo postcosecha (Hernández et al., 2007; Bommegowda & Singh, 2022).

Esta investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo y mixto. Se realizó una revisión sistemática de literatura sobre extractos vegetales y plaguicidas usados principalmente en plagas de importancia, complementada con entrevistas semiestructuradas a productores agrícolas del Valle de Etla y Asunción Nochixtlán, Oaxaca. El objetivo fue identificar los cultivos más afectados, las principales plagas emergentes y las prácticas actuales de control, a fin de evaluar el grado de conocimiento de los extractos vegetales como alternativa viable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-descriptivo con el propósito de identificar plagas agrícolas de importancia local, evaluar el uso actual de plaguicidas y explorar el nivel de conocimiento sobre extractos vegetales como alternativa de control. El estudio se dividió en dos fases: revisión documental y trabajo de campo. Para la revisión bibliográfica, se emplearon motores de búsqueda académicos como Scopus, Google Scholar y ScienceDirect, utilizando combinaciones de palabras clave: “plagas agrícolas”, “extractos vegetales”, “bioinsecticidas”, “manejo integrado de plagas”. En la fase de campo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 20 productores del Valle de Etla y Asunción Nochixtlán, Oaxaca. Las entrevistas abordaron temas como los cultivos predominantes, plagas frecuentes, productos utilizados para su control y conocimientos sobre extractos vegetales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Insectos plaga de interés agrícola. Una plaga es considerada cualquier tipo de organismo, ya sea vegetal, animal o microorganismo que representa una amenaza para las plantas o sus productos (FAO, 2016). Estas plagas llegan a generar entre el 20 y 40% de pérdidas en la producción agrícola global. Ante esto la FAO advierte la urgencia de incrementar en un 60% la producción de alimentos a nivel mundial con la finalidad de abastecer a una población en crecimiento (FAO, 2011).

***Spodoptera frugiperda* (Gusano cogollero).** *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) es una plaga de gran relevancia económica cuya distribución abarca desde América del Norte hasta América del Sur, donde ha sido reconocida como una de las especies más devastadoras para la agricultura. No obstante, durante la última década, ha emergido como una amenaza invasora de escala global, estableciéndose en continentes como África y Asia (Georgen et al., 2016; Sharanabasappa et al., 2018; DGSV-CNRF, 2020; Hussain et al., 2021) lo que ha incrementado su relevancia en los programas internacionales de manejo de plagas. Aunque el maíz representa su principal fuente de alimento, *S. frugiperda* es un insecto polífago, con la capacidad de alimentarse de más de 350 especies vegetales, entre las que se incluyen cultivos básicos como la caña de azúcar, arroz, trigo, sorgo y diversas hortalizas (Montezano et al., 2018). Uno de los desafíos más significativos en su control es su notable

capacidad para desarrollar resistencia tanto a insecticidas sintéticos como a cultivos transgénicos que expresan proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Berliner 1915). De acuerdo con la Base de Datos de Resistencia a Plaguicidas en Artrópodos, se han documentado más de 140 casos de resistencia de esta especie a 40 ingredientes activos distintos, así como a varias tecnologías de maíz *B. thuringiensis* (Storer et al., 2010; Chandrasena et al., 2018). Esta adaptabilidad complica las estrategias de manejo y resalta la necesidad de enfoques integrados y sostenibles para su control.

***Bemisia tabaci* (Mosquita blanca).** *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) es un insecto plaga de distribución mundial, llega a ocasionar importantes daños económicos en cultivos como el tomate y otras plantas hortícolas. Se manifiesta tanto por su alimentación directa del tejido vascular, específicamente del floema, como por su capacidad para transmitir más de 200 virus fitopatógenos (Campos, 2023).

***Phyllophaga* sp. (Gallina ciega).** El género *Phyllophaga* sp. tiene una amplia distribución que abarca desde el Sur de Estados Unidos hasta regiones de América del Sur como Colombia y Venezuela. Se alimenta principalmente de las raíces, entre los cultivos más afectados se encuentra el maíz, sorgo, arroz, frijol, así como especies pertenecientes a las familias Solanaceae y Cucurbitaceae, debido a su alta abundancia (Ruiz et al., 2013).

***Diabrotica virgifera* (Diabrotica).** La diabrotica o gusano alfilerillo (*Diabrotica virgifera* Krysan y Smith, 1980), es una especie que daña las raíces de las plantas, ocasionando un retraso en su desarrollo, es la plaga más importante del maíz. Los estados de México con presencia de diabrotica se encuentra: Aguascalientes, Coahuila, Colima, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Nayarit, Veracruz, Tamaulipas, Michoacán, Morelos, Zacatecas. En México, las pérdidas abarcan entre el 57% y el 90% en el estado de Jalisco. Durante la etapa de larva se alimentan de raíces del maíz produciendo túneles, lo que provoca tallos curvos o inclinados. Además, durante esta etapa reduce la capacidad del cultivo en la absorción de agua y nutrientes. Durante la etapa adulta se alimentan de flores, hojas, estigmas, polen y granos tiernos de maíz. Se tienen reportes que los adultos prefieren plantas de la familia Cucurbitaceae (Gray et al., 2009; Schumann & Vidal, 2012; DGSV-CNRF, 2020).

***Scyphophorus acupunctatus* (Picudo del agave.** *S. acupunctatus* (Gyllenhal 1838) se encuentra en México, principalmente en zonas con cultivo de la familia Agavaceae para la producción del tequila, mezcal y pulque, Dracaenaceae y en plantaciones de *Polianthes tuberosa* (Teran et al., 2012; Arista et al., 2024). Los daños son provocados por larvas, al penetrar internamente la base de las hojas y estructuras reproductivas de las piñas. Por su parte, las perforaciones generadas por los adultos durante la oviposición o al alimentarse pueden convertirse en vías de acceso para bacterias y hongos patógenos que afectan a las plantas (Setliff & Anderson, 2011).

***Sphenarium purpurascens* (chapulín de la milpa).** El género *Sphenarium* Charpentier es considerado el más diverso dentro de la familia Pyrgomorphidae en el continente americano, cuenta con especies que hábitat tanto en regiones de gran altitud como en zonas bajas, extendiéndose desde el estado de Nayarit, en el occidente de México, hasta Guatemala. Es conocido en México como chapulín, este género tiene un importante valor económico y cultural. No obstante, debido a la dieta variada, algunas especies de *Sphenarium* son consideradas plagas agrícolas, como el caso de *Sphenarium purpurascens*, el cual provoca daños en cultivos del centro de México (Cerritos & Cano-Santana, 2008; Sanabria et al., 2017; Ciglicano et al., 2019).

Uso de extractos vegetales y plaguicidas. El uso de extractos vegetales como alternativa a los plaguicidas químicos cobra cada vez más relevancia, especialmente en contextos agrícolas como el de México, donde una parte significativa de la producción está destinada al consumo humano. Según

datos del SIAP (2020), el país se encuentra entre los principales productores agrícolas del mundo, pero también enfrenta grandes desafíos por las pérdidas provocadas por plagas, estimadas en hasta un 45% (Sharma et al., 2019).

Los extractos vegetales, al estar compuestos por metabolitos secundarios como terpenoides, alcaloides, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos, han demostrado un amplio espectro de acción frente a insectos plaga (Andrade et al., 2017). Estos compuestos poseen propiedades insecticidas, repelentes y anti-alimentarias, lo que les permite actuar sobre diversos mecanismos fisiológicos de los insectos sin generar los efectos adversos asociados a los plaguicidas sintéticos, que ocasionan daños al medio ambiente, la flora y fauna benéfica y sobre todo a la salud humana (Campolo et al., 2018; Mu et al., 2022).

Además, el uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos ha generado resistencia en diversas plagas, como es el caso de *S. frugiperda*, que presenta más de 140 casos documentados de resistencia a diferentes ingredientes activos. Esto subraya la necesidad de alternativas más sostenibles como los extractos vegetales, los cuales, por su compleja composición química, dificultan el desarrollo de resistencia por parte de los insectos.

Sin embargo, la concentración y variedad de estos principios activos pueden variar considerablemente, dependiendo de diversos factores como: la parte específica de la planta utilizada (raíz, tallo, hojas, corteza, flores, frutos o semillas), el grado de madurez de la planta, su genotipo, así como las condiciones ambientales (clima y tipo de suelo), las prácticas agrícolas implementadas, el momento de la recolección, el manejo postcosecha, los tratamientos previos aplicados y el procedimiento de extracción empleado (Hernández-Lauzardo et al., 2007; Bommegowda & Singh 2022). Por ello, es necesario continuar con estudios sistemáticos que permitan estandarizar formulaciones y validar su aplicación en campo. La integración de extractos vegetales dentro de un enfoque de manejo integrado de plagas no solo representa una alternativa viable para reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos, sino que también promueve la conservación de la biodiversidad agrícola, la salud humana y el equilibrio ecológico. Esto está completamente alineado con los principios de sostenibilidad que se requieren para enfrentar los desafíos actuales de la producción agrícola.

Documentación de los plaguicidas y extractos vegetales frente a especies plagas. El análisis comparativo entre plaguicidas y extractos vegetales (Cuadro 1) revela que existen múltiples estudios que validan la eficacia de extractos como *Ricinus communis* y *Argemone mexicana* frente a las principales plagas (Campolo et al., 2018; Usseglio et al., 2023). Además, investigaciones recientes han demostrado que formulaciones basadas en aceites esenciales o emulsiones oleosas con hongos entomopatógenos aumentan la viabilidad del control biológico de plagas como *Scyphophorus acupunctatus* y *S. purpurascens* (Vázquez et al., 2016; Aquino-Bolaños et al., 2023). No obstante, esta información aún no se transfiere con efectividad a los productores locales, lo cual limita su adopción a nivel de parcela.

Cuadro 1. Insecticidas químicos y extractos vegetales evaluados para el control de plagas agrícolas.

Especie plaga	Plaguicidas usados	Extractos Vegetales Evaluados
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Benzoato de emamectina (Muraro et al., 2021); Lambda-cyhalothrin, Clorpirifos, Iufenuron, Spinosad, Chlorantraniliprole, spinetoram, teflubenzuron (Diez et al., 2001; Carvalho et al., 2013); Nascimento et al., 2016; Okuma et al., 2018; Bolzan et al., 2019; Lira et al., 2020; Nascimento	<i>A. indica</i> (Tavares et al., 2010); <i>Salvia connivens</i> (Rodríguez et al., 2025); <i>Salvia microphylla</i> , <i>Salvia keerlii</i> y <i>Salvia ballotiflora</i> (Zavala et al., 2013); <i>Ocimum gratissimum</i> , <i>Siparuna guianensis</i> , <i>Piper marginatum</i> , <i>Piper septuplinervium</i> , <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>Citrus limon</i> y

	et al., 2021; Farias et al., 2014; Omoto et al., 2015); <i>Bacillus thuringensis</i> Cry1F y Cry1Ab (Farias et al., 2014; Omoto et al., 2015).	<i>Ageratum conyzoides</i> (Usseglio et al., 2023); <i>Cedrela odorata</i> (Lemus et al., 2022).
<i>Bemisia tabaci</i>	Acetogeninas (Anosom® 1EC, anonina 10,000 mL) y tiametoxam (Actara® 250 WG); Imidacloprid, deltametrina, spiromesifen, spirotetramat, dinotefuran, pyriproxifen y buprofezin (DGSV-CNRF, 2020).	<i>Cymbopogon martini</i> y <i>Cymbopogon flexuosus</i> (Nebapure et al., 2022); <i>Piper callosum</i> y <i>Adenocalymma alliaceum</i> (Fanela et al., 2013); <i>Plectranthus tomentosa</i> (Ruxu et al., 2025); <i>Ruta graveolens</i> L. (Carvalho et al., 2017); <i>Cinnamomum zeylanicum</i> Presl (Deletre et al., 2016); <i>Annona mucosa</i> , <i>Annona muricata</i> y <i>Annona sylvatica</i> (Soares et al., 2021); <i>R. communis</i> y <i>A. indica</i> (Baldin et al., 2007).
<i>Phyllophaga</i> sp.	Acefate, bifentrina, Carbosulfan, Carboxin+ Diazino+ Lindano, Diazinon, Fipronil, Teflutrina, Thiametoxam. (SENASICA, 2011; DGSV-CNRF, 2020).	
<i>Diabrotica virgifera</i>	-Organofosforados (Terbufos, Diazinón, Clorpirifos etil, Clorpirifos); Carbamato (Carbofuran); Carbarilo (Metomilo); Piretroide (cipermetrina, zeta-cipermetrina, Bifentrina, Esfenvalerato, Permetrina). (COFEPRIS, 2020).	<i>A. indica</i> (Tóth et al., 2020; Vörös & Ledóne, 2023).
<i>Scyphophorus acupunctatus</i>	-Malation; Endosulfán; Metomilo; Fipronil; Azinfos metílico (Gusation M-20); Paration metílico (Folidol M-50); Forato; Izasofos y Carbofuran; Piretroide lamda-cyhalotrina. (SENASICA-DGSV, 2016).	<i>Steinernema glaseri</i> y <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> en emulsiones de <i>Tricum vulgare</i> y <i>Olea europea</i> (Ahedo et al., 2023); <i>Metarhizium anisopliae</i> y <i>B. bassiana</i> en emulsión con <i>P. americana</i> (Aquino et al., 2023); <i>H. bacteriophora</i> en emulsión con <i>P. americana</i> (Aquino et al., 2019); <i>A. mexicana</i> , <i>A. sativum</i> , <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Tagetes erecta</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> (Valdés et al., 2016); <i>R. communis</i> (Pacheco et al., 2012).
<i>Sphenarium purpurascens</i>	Azinfos metílico; Clorpirifos etil; Endosulfan; Malation; Paratión metílico; Triclorfon; Carbarilo; Diazinon; Dimetoato.	<i>A. mexicana</i> y <i>R. communis</i> , <i>Beauveria bassiana</i> en combinación con <i>A. mexicana</i> , <i>Capsicum frutescens</i> y <i>R. communis</i> (Vázquez et al., 2016); <i>Metarhizium robertsii</i> en emulsión de <i>P. americana</i> (Cruz et al., 2025).

Cultivos predominantes y diversidad de plagas. En las regiones del Valle de Etna y Asunción Nochixtlán, los cultivos predominantes identificados por los productores son el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) con el 24% lo cual coincide con el sistema tradicional de producción milpa en el estado de Oaxaca (Figura 1).

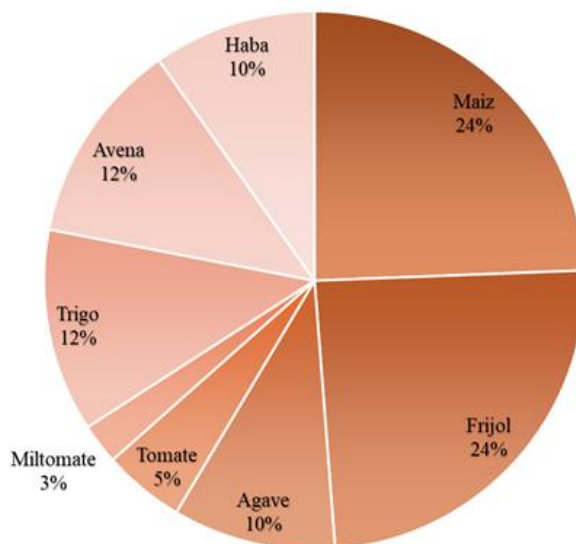


Figura 1. Cultivos reconocidos por los agricultores en Valle de Etna y Asunción Nochixtlán.

A partir de las entrevistas semiestructuradas, se documentó la presencia de *S. frugiperda*, *Phyllophaga* sp. y *B. tabaci*, cada una reportada por el 17 % de los productores como recurrentes en sus parcelas (Figura 2). Estas especies han sido ampliamente reconocidas por su impacto negativo en diversos cultivos a nivel regional y global. *Spodoptera frugiperda* ha sido catalogada como una plaga polífaga (Montezano et al., 2018), mientras que *B. tabaci* se asocia a daños directos por succión de savia y transmisión de más de 200 virus fitopatógenos. En el caso de *Phyllophaga* sp., se ha reportado pérdidas significativas en etapas tempranas de desarrollo (Ruiz et al., 2013).

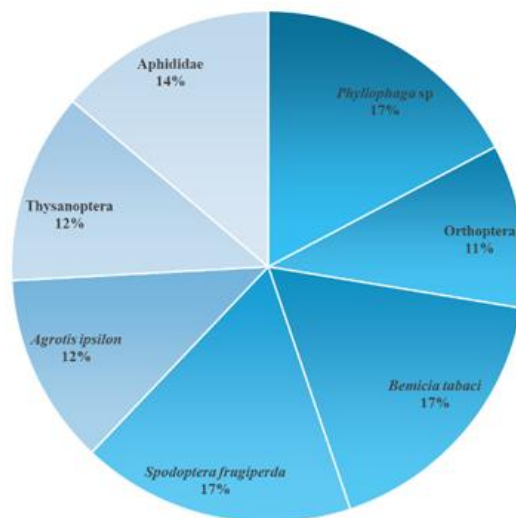


Figura 1. Plagas identificadas por agricultores en el área de estudio.

En lo que se refiere a las prácticas de manejo de plagas, del total de agricultores entrevistados, el 91 % reportó utilizar plaguicidas químicos como estrategia principal de control mientras que solo un 9 % afirmó haber empleado extractos vegetales, específicamente preparados a base de *A. indica* (Cuadro 2). Los productores que han utilizado bioinsecticidas reportaron cierta eficacia en la reducción de plagas, aunque con resultados limitados en su eliminación total. Además, mencionaron el elevado costo como una barrera para su adopción continua. Este hallazgo refleja una limitada apropiación de alternativas ecológicas y evidencia la dependencia de los productores hacia insumos convencionales, frecuentemente adquiridos sin asesoramiento técnico (Sharma et al., 2019). Asimismo, se observó desconocimiento generalizado sobre los ingredientes activos de los plaguicidas comerciales, lo que aumenta el riesgo de uso inapropiado y sus consecuencias en la salud humana y el medio ambiente (Mu et al., 2022, Abdullahi et al., 2023).

Cuadro 2. Plaguicidas utilizados en cultivos.

Nombre comercial	Ingrediente activo
Beleaf	Flonicamid
Confidor	Imidacloprid
Muralla max	Imidacloprid y Betacyfluthrin
Confidel 350 SC	Imidacloprid y notroimidazolidin
Verimark	Ciantraaniliprol
Allectus	Bifentrina e Imidacloprid
Malation	Malation
Regent	Fipronil
Verymark	Ciantraniliprol
Monitor	Metamidofos
Massada max	Zeta cipermetrina y novaluron
Decis	Deltametrina
Tucan 3%	Cipermetrina
Belt	Diamida
Clavis	Tiodicarb + Triflumuron
Diazinon dragón 25E	Diazinon
Mustang Max	Zeta Cipermetrina

Necesidades y oportunidades para el manejo integrado. Aunque existe conocimiento empírico sobre las plagas y su impacto, persiste una fuerte dependencia hacia los plaguicidas convencionales y una baja adopción de estrategias sostenibles. Esto refuerza la necesidad de fortalecer los programas de extensión agrícola, así como fomentar la investigación participativa para adaptar formulaciones botánicas a las condiciones locales.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten concluir que, en las regiones agrícolas del Valle de Etlá y Asunción Nochixtlán, los cultivos de maíz y frijol enfrentan una presión significativa por parte de diversas plagas. Esta situación ha llevado a los agricultores a depender en gran medida del uso de plaguicidas químicos, a menudo sin conocimiento detallado sobre su composición, manejo seguro o consecuencias ambientales. Si bien existe un incipiente conocimiento y uso de extractos vegetales particularmente de *A. indica*, su adopción es aún limitada, principalmente por factores como el costo, la percepción de menor eficacia y la falta de validación técnica en condiciones locales. Sin embargo, la evidencia científica consultada confirma que estos compuestos poseen propiedades insecticidas,

repelentes y anti- alimentarias efectivas frente a diversas plagas, además de representar una alternativa sustentable con menor impacto en la salud humana y el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) CIIDIR Oaxaca por el apoyo brindado, así como al SECIHTI por la beca proporcionada al primer autor para estudios de posgrado y a BEIFI por el apoyo.

REFERENCIAS

- Abdullahi, A. M., Sarki, A., Hafizu, M. S., Kuniha, I. Z., Kolawole, A. A., Nassai, I., & Haruna, M. Y. (2023). Phytochemicals from leaf powders of some plants as anti-insect agents against maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *FUDMA Journal of Sciences*, 3(4), 291–295. <https://fjs.fudutsinma.edu.ng/index.php/fjs/article/view/1650>
- Ahedo-Quero, H. O., Ortiz-Hernández, Y. D., Aquino-Bolaños, T., & Acevedo-Ortiz, M. A. (2023). Assessment of entomopathogenic nematodes in oil emulsions to control *Scyphophorus acupunctatus* in agave under laboratory conditions. *Agronomy*, 13(12), 2946.
- Andrade, O. S., Sánchez-T., L. E., Nevárez, M. G. V., Camacho, A. D., & Noguera, T. B. (2017). Aceites esenciales y sus componentes como una alternativa en el control de mosquitos vectores de enfermedades. *Biomédica*, 37(2).
- Aquino-Bolaños, T., Morales-García, I., & Martínez-Gutiérrez, G. A. (2019). Survival and effectiveness of entomopathogenic nematodes in oil emulsions against *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal in a laboratory. *Southwestern Entomologist*, 44(1), 155–163.
- Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., Bautista-Cruz, A., & Acevedo-Ortiz, M. A. (2023). Viability of entomopathogenic fungi in oil suspensions and their effectiveness against the agave pest *Scyphophorus acupunctatus* under laboratory conditions. *Agronomy*, 13(6), 1468.
- Arista-Carmona, E., González-Hernández, H., Rodríguez-De la O, J. L., & Cibrián-Tovar, J. (2023). Incidencia, fluctuación poblacional y porcentaje de severidad de *Scyphophorus acupunctatus* en maguey pulquero en el noreste del Estado de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 46(2), 157–166.
- Campos, M. S. (2023). Insectos vectores de fitopatógenos que afectan al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cuba. Elementos para su identificación y manejo. *Revista de Protección Vegetal*, 38.
- Bolzan, A., Padovez, F. E. O., Nascimento, A. R. B., Kaiser, I. S., Lira, E. C., Amaral, F. S. A., et al. (2019). Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. *Pest Management Science*, 75, 2682–2689.
- Bommegowda-Rashmi, H., & Singh Negi, P. (2022). Chemistry of plant extracts. In *Phytochemistry, the Green Chemistry of Plants* (pp. 39–73). Academic Press.
- Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, Article 6906105.
- Carvalho, M. G., Bortolotto, O. C., & Ventura, M. U. (2017). Aromatic plants affect the selection of host tomato plants by *Bemisia tabaci* biotype B. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 162(1), 86–92.
- Carvalho, R. A., Omoto, C., Field, L. M., Williamson, M. S., & Bass, C. (2013). Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PLoS One*, 8(4), e62268.
- Cerritos, R., & Cano-Santana, Z. (2008). Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: A comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Protection*, 27(3), 473–480.
- Chandrasena, D. I., Signorini, A. M., Abratti, G., Storer, N. P., Olaciregui, M. L., Alves, A. P., & Pilcher, C. D. (2018). Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. *Pest Management Science*, 74(4), 746–754.
- Cigliano, M. M., Braun, H., Eades, D. C., & Otte, D. (2019). Orthoptera species file (Version 5.0/5.0). <http://Orthoptera.SpeciesFile.org>
- COFEPRIS. (2020). Consulta de registros sanitarios de plaguicidas, nutrientes vegetales y LMR. <http://siiipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegP>

- Cruz-García, K., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & Aquino-López, T. (2025). Laboratory assessment of plant losses by *Sphenarium purpurascens* and control with entomopathogenic fungi in oil emulsions. *Agronomy*, 15(3), 690.
- Culliney, T. (2014). Crop losses to arthropods. In D. Pimentel & R. Peshin (Eds.), *Integrated pest management* (pp. 201–225). Springer.
- D’Odorico, P., Carr, J. A., Laio, F., Ridolfi, L., & Vandoni, S. (2014). Feeding humanity through global food trade. *Earth’s Future*, 2(10), 458–469.
- Deletre, E., Chandre, F., Barkman, B., Menut, C., & Martin, T. (2016). Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisia tabaci* whiteflies. *Pest Management Science*, 72(1), 179–189.
- DGSV-CNRF. (2020). *Diabrotica virgifera zea* Kryan & Smith (Insecta: Coleoptera: Chrysomelidae). Dirección General de Sanidad Vegetal–Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. SADER–SENASICA.
- DGSV-CNRF. (2020). *Gallinas ciegas Phyllophaga spp.* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) y *Cyclocephala spp.* (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae). Dirección General de Sanidad Vegetal–Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. SADER–SENASICA.
- DGSV-CNRF. (2020). *Gusano cogollero Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Dirección General de Sanidad Vegetal–Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. SADER–SENASICA.
- DGSV-CNRF. (2020). *Mosquita blanca Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). Dirección General de Sanidad Vegetal–Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. SADER–SENASICA.
- Diez-Rodríguez, G. I., & Omoto, C. (2001). Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 30(2), 311–316.
- Fanela, T. L. M., Baldin, E. L. L., Pannuti, L. E. R., Cruz, P. L., Crotti, A. E. M., Takeara, R., & Kato, M. J. (2016). Lethal and inhibitory activities of plant-derived essential oils against *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B in tomato. *Neotropical Entomology*, 45(2), 201–210.
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2016). *Glosario de términos fitosanitarios NIMF 5*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoterm/PDF/ISPM_05_2016_En_2017-05-25_PostCPM12_InkAm.pdf
- Farias, J. R., Andow, D. A., Horikoshi, R. J., Sorgatto, R. J., Fresia, P., dos Santos, A. C., & Omoto, C. (2014). Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64, 150–158.
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., & Tamò, M. (2016). First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS One*, 11(10), e0165632.
- Gray, M. E., Sappington, T. W., Miller, N. J., Moeser, J., & Bohn, M. O. (2009). Adaptation and invasiveness of western corn rootworm: Intensifying research on a worsening pest. *Annual Review of Entomology*, 54, 303–321.
- Hernández-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., & Velázquez del Valle, M. G. (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 119–123.
- Hussain, A. G., Wennmann, J. T., Goergen, G., Bryon, A., & Ros, V. I. D. (2021). Viruses of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: A review with prospects for biological control. *Viruses*, 13(11), 2220.
- Lemus de la Cruz, A., Barrera-Cortés, J., Lina-García, L. P., Ramos-Valdivia, A. C., & Santillán, R. (2022). Nanoemulsified formulation of *Cedrela odorata* essential oil and its larvicidal effect against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Molecules*, 27(9), 2975.
- Li, R., Li, W., Wang, S., Di, N., Yang, S., Li, W., Yang, Y., & Tian, L. (2025). *Plectranthus tomentosa* effectively repels and controls *Bemisia tabaci* MED with its volatiles. *Crop Protection*, 194, 107228.
- Lira, E. C., Bolzan, A., Nascimento, A. R., Amaral, F. S. A., Kanno, R. H., Kaiser, I. S., & Omoto, C. (2020). Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to spinetoram: Inheritance and cross-resistance to spinosad. *Pest Management Science*, 76(8), 2674–2680.

- Lopes-Baldin, E. L., Vendramim, J. D., & Lourenção, A. L. (2007). Interaction between resistant tomato genotypes and plant extracts on *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B. *Scientia Agricola*, 64(5), 476–481.
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gomez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. V., Peterson, J. A., & Hunt, T. E. (2018). Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Journal of Insect Science*, 26(2), 286–300.
- Mu, H., Wang, K., Yang, X., Xu, W., Liu, X., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2022). Pesticide usage practices and exposure risk to pollinators: A case study in the North China Plain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 113713.
- Muraro, D. S., De Neto, D. O. A., Kanno, R. H., Kaiser, I. S., Bernardi, O., & Omoto, C. (2021). Inheritance patterns, cross-resistance and synergism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to emamectin benzoate. *Pest Management Science*, 77(11), 5049–5057.
- Nascimento, A. R. B., Farias, J. R., Bernardi, D., Horikoshi, R. J., & Omoto, C. (2016). Genetic basis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to the chitin synthesis inhibitor lufenuron. *Pest Management Science*, 72, 810–815.
- Nascimento, A. R. B., Pavinato, V. A. C., Rodrigues, J. G., Silva-Brandão, K. L., Consoli, F. L., Michel, A., & Omoto, C. (2021). There is more than chitin synthase in insect resistance to benzoylureas: Molecular markers associated with teflubenzuron resistance in *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Pest Science*, 94, 1–16.
- Nebapure, S. M., Sarkar, D. J., Suroshe, S. S., Rana, V. S., Shakil, N. A., & Subramanian, S. (2022). Insecticidal activity of oil-in-water emulsion formulations of essential oils against whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Allelopathy Journal*, 56, 207–220.
- Okuma, D. M., Bernardi, D., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Silva, A. P., & Omoto, C. (2018). Inheritance and fitness cost of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Management Science*, 74, 1441–1448.
- Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R. J., Dourado, P. M., Crivellari, A., Carvalho, R. A., Willse, A., Martinelli, S., & Head, G. P. (2015). Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72, 1727–1736.
- Pacheco-Sánchez, C., Villa-Ayala, P., Montes-Belmont, R., Figueroa-Brito, R., & Jiménez-Pérez, A. (2012). Effect of *Ricinus communis* extracts on weight and mortality of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Applied Science and Technology*, 2, 83–94. https://www.researchgate.net/publication/260017623_Effect_of_Ricinus_communis_on_weight_and_mortality_of_Scyphophorus_acupunctatus_Coleoptera_Curculionidae
- Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects: A review. *Plant Protection Science*, 52(4), 229–241.
- Rodríguez-Cervantes, M., León-Herrera, L. R., Ventura-Salcedo, S. A., Monroy-Dosta, M. de C., Rodríguez-de León, E., Bah, M. M., Campos-Guillén, J., Amaro-Reyes, A., Zavala-Gómez, C. E., Figueroa-Brito, R., Mariscal-Ureta, K. E., Pool, H., Ramos-Mayorga, I., & Ramos-López, M. A. (2025). Methanolic extract of *Salvia* against *Spodoptera frugiperda* and *Tenebrio molitor* and its effect on *Poecilia reticulata* and *Danio rerio*. *Toxics*, 13(2), 94.
- Ruíz, C. J. A., Bravo, M. E., Ramírez, O. G., Báez, A. D., Álvarez, C. M., Ramos, J. L. G., Nava, C. U., & Byerly, M. K. F. (2013). Plagas de importancia económica en México: Aspectos de su biología y ecología (Libro Técnico Núm. 2). INIFAP.
- Sanabria-Urbán, S., Song, H., Oyama, K., & González-Rodríguez, A. (2017). Integrative taxonomy reveals cryptic diversity in neotropical grasshoppers: Taxonomy, phylogenetics, and evolution of the genus *Sphenarium* Charpentier, 1842 (Orthoptera: Pyrgomorphidae). *Zootaxa*, 4274(1), 1–86.
- Schumann, M., & Vidal, S. (2012). Dispersal and spatial distribution of western corn rootworm larvae in relation to root phenology. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(4), 331–339.
- SENASICA. (2011). Listado de plaguicidas autorizados de uso agrícola. Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuicola y Pesquera.
- SENASICA-DGSV. (2016). Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838) (Coleoptera: Dryophthoridae). Ficha técnica.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Datos abiertos: Estadística de producción agrícola 2020. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php

- Setliff, G. P., & Anderson, J. A. (2011). First record of the agave snout weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae: Dryophthorinae), in Puerto Rico. *Insecta Mundi*, 152, 1–3. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/671/>
- Sharanabasappa, D., Kalleshwaraswamy, C. M., Asokan, R., Swamy, H. M. M., Deshmukh, S., Maruthi, M. S., & Pavithra, H. B. (2018). First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24, 23–29.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1446.
- Soares, M. C. E., Baldin, E. L. L., do Prado Ribeiro, L., et al. (2021). Lethal and sublethal effects of *Annona* spp. derivatives on *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato. *Neotropical Entomology*, 50, 966–975.
- Storer, N. P., Babcock, J. M., Schlenz, M., Meade, T., Thompson, G. D., Bing, J. W., et al. (2010). Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103, 1031–1038.
- Tavares, W. S., Costa, M. A., Cruz, I., Silveira, R. D., Serrão, J. E., & Zanuncio, J. C. (2010). Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 45(6), 557–561.
- Terán-Vargas, A. P., Azuara-Domínguez, A., Vega-Aquino, P., Zambrano-Gutiérrez, J., & Blanco-Montero, C. (2012). Biological effectivity of insecticides to control the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 37(1), 47–53.
- Tóth, Z., Tóth, M., Jósmai, J. K., Tóth, F., Florián, N., Gergőcs, V., & Dombos, M. (2020). Detección automática de campo del gusano de la raíz del maíz occidental (*Diabrotica virgifera virgifera*; Coleoptera: Chrysomelidae) con una nueva sonda. *Insects*, 11, 486.
- Usseglio, V. L., Dambolena, J. S., & Zunino, M. P. (2023). Can essential oils be a natural alternative for the control of *Spodoptera frugiperda*? A review of toxicity methods and their modes of action. *Plants*, 12(1), 3.
- Valdés-Estrada, M. E., Aldana-Llanos, L., Salinas-Sánchez, D. O., Figueroa-Brito, R., Hernández-Reyes, M. C., & Valladares-Cisneros, M. G. (2016). Toxicity of plant extracts to *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, 99(2), 226–230.
- Vázquez Jorge, M. de los Á., Aragón García, A., Bibbins Martínez, M. D., Castillo Hernández, D., Nava Galicia, S. B., & Pérez Torres, B. C. (2016). Control de *Sphenarium purpurascens* con *Beauveria bassiana* y extractos vegetales en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 235–247. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200235
- Vörös, L., & Ledóné, R. Á. (2023). Effect of azadirachtin applied as seed coating on the larval density of and root injury caused by the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130, 757–767.
- Zavala-Sánchez, M. A., Pérez-Gutiérrez, S., Romo-Asunción, D., Cárdenas-Ortega, N. C., & Ramos-López, M. A. (2013). Activity of four *Salvia* species against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Southwestern Entomologist*, 38(1), 67–73.

El maíz zapalote chico y grande (*Zea mays* L.), conocimientos tradicionales y soberanía alimentaria en el Programa Sembrando Vida

Cynthia Cruz-Carrasco^{1,*}, Armando Luna-Fuentes², Juana Yolanda López-Cruz³

¹Estancia Posdoctoral SECIHTI, Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. ²Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México. ³Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: ccruzca@ipn.mx

Recibido: 04/09/25; Aceptado: 02/11/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En el periodo 2021-2022, México aumento el 320% sus importaciones en maíz amarillo en una década en este sector, lo que representa la necesidad de generar políticas agrícolas para aumentar la soberanía alimentaria de nuestro país. En este contexto, el Programa Sembrando Vida busca fomentar el empleo y mejorar los ingresos de las comunidades y al mismo tiempo impulsar la autosuficiencia alimentaria mediante la implementación de sistemas agroforestales que respetan e integran la cosmovisión, los saberes y las prácticas propias de las comunidades participantes. El interés por los conocimientos tradicionales ha ido en aumento, con el objetivo de promover espacios de dialogo que facilitan la creación conjunta de saberes. El presente estudio tiene por objetivo identificar los conocimientos tradicionales que poseen los productores(as) de la localidad de Cajón de Piedra del municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oax., sobre el maíz zapalote chico y grande (*Zea mays* L.), así como sus formas de uso y destino y formas de preparación de alimentos que contribuyen a la soberanía alimentaria de la comunidad. La metodología de la investigación es de tipo cualitativa en la cual se aplicó un taller participativo, recorrido de campo y entrevistas semiestructuradas. Los resultados señalan que la Comunidad de Aprendizaje Campesino "El Zapotal", se encuentra integrada por 27 integrantes de los cuales 20 son hombres y 7 mujeres. Se identificaron 2 especies agrupadas de acuerdo con el diseño de los sistemas agroforestales, en el sistema Milpa, como son el maíz zapalote grande blanco y pinto, maíz zapalote chico. Las cuales tienen diferentes usos. En conclusión, estas variedades de maíz contribuyen de forma positiva a la soberanía alimentaria de sus familias, las cuales se ubican sembradas en las parcelas del programa o en áreas destinadas al autoconsumo.

Palabras clave: Conocimientos tradicionales, programas de gobierno, sistema milpa, soberanía alimentaria.

ABSTRACT

In the period 2021-2022, Mexico increased its imports of yellow corn by 320% in a decade in this sector, which represents the need to generate agricultural policies to increase our country's food sovereignty. In this context, the Sembrando Vida Program seeks to promote employment and improve the income of the communities and at the same time promote food self-sufficiency through the implementation of agroforestry systems that respect and integrate the worldview, knowledge and practices of the participating communities. Interest in traditional knowledge has been increasing, with the aim of promoting spaces for dialogue that facilitate the joint creation of knowledge. The objective of this study is to identify the traditional knowledge possessed by producers in the town of Cajón de Piedra in the municipality of Santo Domingo Tehuantepec, Oax., about small and large zapalote maize (*Zea mays* L.), as well as its forms of use and destination and forms of food preparation that contribute to the food sovereignty of the community. The research methodology is qualitative in which a participatory workshop, field tour and semi-structured interviews were applied. The results indicate that the "El Zapotal" Peasant Learning Community is made up of 27 members, of which 20 are men and 7 women. Two species were identified grouped according to the design of the agroforestry systems, in the Milpa system, such as the large white and pinto zapalote corn, small zapalote corn. Which have different uses. In conclusion, these varieties of corn contribute positively to the food sovereignty of their families, which are planted in the plots of the program or in areas destined for self-consumption.

Key words: Traditional knowledge, government programs, milpa system, food sovereignty.

INTRODUCCIÓN

El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas está estrechamente ligado a su relación con la naturaleza, y representa una vía para el desarrollo y la conservación, gracias a la transmisión de conocimientos ancestrales de generación en generación, lo que ha permitido mantener los saberes locales. El maíz se originó en el centro de México hace 7000 años y desde entonces se ha incorporado el consumo por varias culturas. Desde entonces se ha conservado el conocimiento del manejo y preservación de generación en generación transmitiendo la experiencia y cuidados de su cultivo. Actualmente, existen más de 59 variedades criollas mexicanas únicas de maíz (Sagarpa s.f) con diferentes colores entre las que se encuentran: blanco, amarillo, azul y otras tonalidades. La semilla del maíz permite que se siembre tanto en suelos bien preparados como con mínima labranza, en tierras de riego o de temporal. El maíz, además de ser parte de la cultura de México, se ve reflejado en la expresión artística en todas sus facetas: en la literatura, en murales representándose desde épocas prehispánicas, en la gastronomía con sus múltiples colores, usos y sabores, incluso se dedican fechas para conmemorar diferentes aspectos en la vida de las personas y su relación milenaria con el maíz, en México y en diversas partes del mundo (Jaime-Vargas, 2024).

En México, en 2019 como parte de los programas de la “4T”, se promovió el Programa Sembrando Vida (PSV), con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de los campesinos, así como la creación de empleos dignos y promover la soberanía alimentaria, a través de Sistemas Agroforestales MIAF-SAF en 2.5 hectáreas por beneficiario. De igual forma el PSV, fomenta el intercambio de experiencias y la implementación de prácticas agrícolas, basado en la sabiduría de los productores locales, promoviendo la recuperación de conocimientos tradicionales y la incorporación de nuevas tecnologías de las regiones (DOF, 2023). Como parte de la contribución del PSV, el sistema MIAF, incorpora maíz en sus sistemas agroforestales. El MIAF se define como el sistema Milpa Intercalada entre Árboles Frutales, como el cultivo intercalado, constituido por al menos tres especies, el árbol frutal (epicultivo), el maíz (mesocultivo) y frijol u otra especie comestible, de preferencia leguminosa (sotocultivo) en la mayoría de las veces calabaza, en intensa interacción agronómica y que tiene como propósitos, la producción de maíz y frijol como elementos estratégicos para la seguridad alimentaria de las familias rurales, incrementar de manera significativa el ingreso neto familiar, incrementar el contenido de materia orgánica, controlar la erosión hídrica del suelo y con ello lograr un uso más eficiente del agua de lluvia (DOF, 2023).

A casi treinta años de la incorporación de semillas mejoradas en México, se puede observar una significativa disminución de la producción con semillas nativas, debido a la falta de apoyo en el campo y su baja rentabilidad productiva, como respuesta a los modelos globales de desarrollo fallidos. Con el objetivo de promover la convivencia sana y equilibrada con la comunidad y la naturaleza fortaleciendo la seguridad alimentaria, se propone el análisis de los saberes ancestrales indígenas, del maíz zapalote chico y grande, sembrada por los productores del PSV del Istmo de Tehuantepec, dicha variedad es criolla, lo que garantiza la reproducción del cultivo en la generación de alimentos no solo de las familias del PSV, sino también para sus animales y para el desempeño de diversas actividades dentro de la unidad familiar. Como parte de los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas de México se encuentra el patrimonio gastronómico, el cual está en riesgo de perderse, debido al abandono de la actividad agrícola, y de los cultivos tradicionales. Esta pérdida de la riqueza biocultural local genera procesos de desaparición de los procesos productivos locales que impacta en la variedad de platillos regionales lo que conduce a la pobreza gastronómica y alimentaria de las comunidades que ponen en riesgo la alimentación tradicional, así como la soberanía alimentaria de las comunidades. Dichos procesos homogeneizadores son el resultado del proceso de globalización, los cuales amenazan las culturas alimentarias tradicionales y afectan nutricionalmente a la población local (Hall & Mitchell, 2002).

La perspectiva de la soberanía alimentaria se contrapone al modelo hegemónico de producción capitalista y al monocultivo, a la agricultura intensiva y al desarrollo tecnológico agrícola. Propone una agricultura de alta intensidad humana, lo que implica propugnar por el trabajo campesino donde se reivindique el conocimiento local, popular y ancestral con respecto al cultivo de alimentos, al cuidado del entorno natural y a la preservación de la agrobiodiversidad para dotar a la población de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados (Duch, 2014). Dentro de la perspectiva de la soberanía alimentaria se considera que el derecho de las personas y las comunidades por definir lo que se produce y cómo se produce ha sido limitado por un poder global social, político y económico que genera estructuras a través de las cuales se producen y distribuyen alimentos a bajo costo económico, pero de gran impacto ambiental, a través de corporaciones transnacionales y agroindustriales que socavan la soberanía alimentaria de los pueblos (Guzmán, 2020).

El impulso al rescate de los conocimientos tradicionales, en el manejo del cultivo, así como en la gastronomía local y tradicional vinculada con el territorio puede contribuir al rescate del patrimonio gastronómico local y a la reactivación de la cadena de valor asociada a ésta (Eastham, 2019). Desde una perspectiva ambiental, la conciencia sobre el rescate de los conocimientos tradicionales y la tradición culinaria se relaciona con la consideración del rescate del patrimonio cultural que debe ser protegido de la influencia de la globalización debido a su importancia ecológica y cultural. Menezes & Almeida (2021) definen a los alimentos tradicionales como aquellos que persisten en el espacio y en el tiempo y que se elaboran actualmente con base en los saberes que se han transmitido por varias generaciones en un territorio determinado. En este sentido la elaboración de alimentos rescata como a las cocinas como espacios donde se reproducen los saberes y conocimientos tradicionales, donde se preserva la cultura y las prácticas que definen cada cultura culinaria, aunque en las últimas décadas se han visto afectadas por diversos factores, uno de ellos, la destrucción de sus sistemas alimentarios locales, así como de los ecosistemas donde estas cocinas surgieron (Gonzales, 2013).

La seguridad alimentaria implica el acceso constante a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos. Se basa en cuatro pilares: disponibilidad, acceso, uso adecuado y estabilidad. El gobierno mexicano tiene la responsabilidad de garantizar este derecho, reconocido en la Constitución desde 2011, incluyendo el abastecimiento oportuno de alimentos básicos como el maíz, la carne y el huevo. Además, México está comprometido con la Agenda 2030 de la ONU para erradicar el hambre y promover la agricultura sostenible (Arellano-Esparza, 2022). El Estado ha implementado programas enfocados en alcanzar la autosuficiencia alimentaria y beneficiar a los pequeños productores, fomentando prácticas sustentables en las cadenas agroalimentarias y priorizando la producción nacional para garantizar el abasto, especialmente a los sectores más vulnerables. La soberanía alimentaria se opone al modelo capitalista de producción agrícola promoviendo una agricultura centrada en el trabajo campesino, que valora el conocimiento local tradicional. Busca garantizar alimentos sanos, nutritivos y culturalmente adecuados, defendiendo el derecho de las comunidades a decidir qué y cómo producir y critica la influencia de las corporaciones transnacionales, las cuales afectan negativamente al medio ambiente y limitan la autonomía alimentaria de los pueblos (Urquía-Fernández, 2014).

En este sentido los conocimientos tradicionales vinculados al manejo del cultivo y a la gastronomía local buscan fortalecer la cadena de valor agrícola y proteger el patrimonio culinario, revalorizar saberes y sabores tradicionales y contribuir a la conservación ecológica y cultural, en un contexto donde los sistemas alimentarios y ecosistemas locales han sido afectados por la globalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente es una investigación descriptiva, con un diseño mixto. Conformado por un estudio cuantitativo-cualitativo no experimental de tipo longitudinal de tendencia, el cual se realizan sin manipular deliberadamente variables mediante la recolección de datos a través del tiempo en unos puntos o periodos, para hacer inferencia respecto al cambio, sus determinantes, consecuencias y

relaciones entre ellas (Hernández, 2006). El estudio tiene por objetivo identificar los conocimientos tradicionales que poseen los productores(as) de la localidad de Cajón de Piedra del municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oax., sobre el maíz zapalote grande blanco y pinto, maíz zapalote chico. Se aplicó un taller participativo, recorridos de campo y entrevistas semiestructuradas, con la Comunidad de Aprendizaje Campesino “El Zapotal”, la cual se encuentra integrada por 27 integrantes de los cuales 20 son hombres y 7 mujeres. En el presente trabajo se presentan los resultados de una especie del sistema MIAF, perteneciente al sistema milpa, específicamente, la especie maíz *Zea* (en su variedad maíz zapalote grande blanco y pinto y zapalote chico). Para el levantamiento de la información se realizó un taller participativo en el que a partir de fichas de trabajo se identificaron las siguientes características: descripción, uso, parte utilizada y forma de preparación de los alimentos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la zona de estudio El área de estudio se ubica en Cajón de Piedra localidad del municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca. Perteneciente a la región del Istmo al distrito de Tehuantepec; se localiza en las coordenadas 16° 17' de latitud norte y 95° 25' de latitud oeste, con una temperatura de 20 – 30°C, con una precipitación de 700 – 1 000 mm, presenta un clima Cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (94.37%) (INEGI, 2020) (Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, 2008) (Ver mapa 1) Cajón de Piedra se encuentran a 18.7 km de la cabecera municipal.

Según el INEGI (2020), la población de la localidad de las Cajón de Piedra asciende a 235 personas, de las cuales 131 son hombres y 104 son mujeres, con una población analfabeta de 4.26%. 1.28% de la población se autodescribió como indígena. El grado de escolaridad de la población es de 5.9. Los principales productos que se producen en la localidad son: granos básicos como el maíz y frijol, además de cultivos como el sorgo, ajonjolí, café y cultivos hortofrutícolas como: melón, mango, papaya, pepino, sandía, tomate, picante, camote, etc., y cultivos dentro de la floricultura como son el nardo, azucena, cempasúchil (flor de muerto), cresta de gallo, albahaca y otros.

Dentro del sistema milpa que se establece en el PSV, se retoman prácticas ancestrales de soberanía alimentaria de los pueblos de México. Dicho sistema milpa de origen prehispánico, tiene como característica principal el sembrar el maíz como cultivo principal, junto con otros cultivos como el frijol, calabaza y frutales (Rojas, 1989). En la comunidad de Cajón de Piedra se identificaron el maíz (*Zea mays* L.), en sus variedades existentes como son maíz grande, grande blanco y pinto y maíz zapalote chico, las cuales se describen a continuación:

Nombre común: Maíz grande blanco y pinto (zapalote grande).

El maíz grande se encuentra en los estados de Chiapas y Oaxaca (0-1200 m.s.n.m.) es una planta corta a intermedia (1.5 a 2.5 m). Su estado de maduración es intermedio y la mazorca o tipo de grano es corta de grano dentado, derivado de zapalote chico. En la localidad de Cajón de Piedra los habitantes definieron el maíz como un arbusto comestible cultivado, que se encuentra disponible como maíz grande blanco y maíz grande pinto. El zapalote grande es una planta comestible cultivada a través de semillas, la cual se almacena para su siembra y debido a la sequía se ha escaseado en los últimos años. El maíz zapalote grande, generalmente se siembra en el mes de junio y se ocupa para autoconsumo y venta en la comunidad, comercializándose por litro y costal de 50kg. La cosecha se encuentra disponible en los meses de agosto a septiembre, en 60 días aproximadamente. Las sembradoras aprovechan todas las partes del cultivo de maíz, desde las hojas para la elaboración de alimentos, los granos para consumo, el olote como combustible para prender el fogón y el rastrojo destinado a la alimentación de los animales. Por lo que garantizar la reproducción del cultivo permite la generación de alimentos no solo de las familias del PSV, sino también para sus animales y para el desempeño de diversas actividades dentro de la unidad familiar. El maíz zapalote grande, en grano se consume tierno en forma de elote hervido, como botana o complementos de algunos guisados como son caldos de

pollo o carne de res. El maíz zapalote chico seco, se destina para la elaboración de diversos platillos, como son: tortillas, tamales de frijol, chepil, mole, chileatole, atole y el pozol.

Nombre común: Maíz zapalote chico

El maíz raza zapalote chico es un componente importante dentro de la diversidad genética de esta especie en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Esta raza resalta el interés entre los agricultores locales e investigadores con fines de preservación y difusión. Para los habitantes del municipio de Cajón de Piedra, Santo Domingo Tehuantepec, el maíz zapalote chico es una planta comestible cultivada en los meses de julio a diciembre. Es una planta comestible, cultivada a través de semillas, destinada para la venta y autoconsumo, la cual se siembra por temporadas, en los meses de agosto a septiembre. Favorece la precocidad de la planta debido a su ciclo corto de 50 días. El maíz zapalote chico se ha sembrado en parcelas del Programa Sembrando Vida intercalándolo en el sistema MIAF, (Milpa Intercalada con Árboles Frutales) del sistema agroforestal, y en áreas destinadas únicamente a cultivos, la medida en la que se siembra en la comunidad es por litro. La fecha de inicio de la siembra es el 13 de julio en las parcelas del Programa Sembrando Vida o en áreas destinadas al autoconsumo. El proceso de siembra de maíz inicia en mayo, cuando llega la lluvia a tiempo, cuando llueve en octubre o noviembre de forma tardía, se le llama chahuite. Las sembradoras aprovechan todas las partes del cultivo de maíz, desde las hojas para la elaboración de alimentos, los granos para consumo, el olote como combustible para prender el fogón y el rastrojo destinado a la alimentación de los animales. Como parte de los conocimientos traicionales se entrevistó a las productoras locales sobre recetas, para la preparación de alimentos tradicionales de la comunidad del maíz zapalote chico y zapalote grande, los cuales se describen a continuación.

Propuestas gastronómicas con valor biocultural (Figura 1).

La cocina tradicional oaxaqueña representa una manifestación viva del patrimonio biocultural de los pueblos originarios, donde cada platillo conserva saberes ancestrales y prácticas agrícolas ligadas al territorio. En este contexto, la elaboración de tortillas, tamales, atoles y otros alimentos a base de maíz, frijol, calabaza y hierbas locales no solo responde a una necesidad alimentaria, sino también a un sistema simbólico y comunitario que vincula la biodiversidad con la identidad cultural.

Elaboración de tortillas. Para la preparación de las tortillas se utilizan un kilogramo de masa, agua y un puño de cal. El grano de maíz seco se remoja en agua con cal hasta que los granos se abran o se expandan; luego se cuece, se lava cuidadosamente y se muele en metate o molino industrial para obtener una masa uniforme. Con esta masa se elaboran las tortillas, ya sea manualmente o con máquina tortillera, y se cuecen en el comal. Este proceso, conocido como nixtamalización, es una de las técnicas más importantes del patrimonio alimentario mesoamericano, pues incrementa el valor nutricional del maíz y simboliza la relación espiritual y agrícola del pueblo con este grano sagrado.

Tamales de frijol o “tamales de tamal”. Este platillo se elabora con 500 gramos de frijol, 4 kilogramos de masa de maíz, 250 mililitros de aceite, 30 hojas de totemoxtle y 30 hojas de hierba santa. El maíz se cuece con cal, se muele y se mezcla con sal y aceite; el frijol se prepara con chile seco y hoja de aguacate. En cada hoja de totemoxtle se coloca una hoja de hierba santa, una porción de masa y frijol molido. Los tamales se cuecen a baño maría durante 40 minutos. Este platillo combina elementos agrícolas fundamentales del sistema milpa (maíz, frijol y hierbas aromáticas), reflejando una dieta equilibrada y la armonía entre naturaleza y cultura.

Tamales de semilla de calabaza. Para su preparación se utiliza una bola de masa de maíz, 500 gramos de semilla de calabaza, un kilogramo de tomate, un manojo de epazote, una cebolla, ocho dientes de ajo y hojas de totemoxtle. Las semillas se tuestan, se muelen junto con las hierbas y hortalizas, y se integran a la masa condimentada con aceite y sal. Los tamales se envuelven en totemoxtle y se cuecen al vapor. Este platillo resalta el uso integral de los productos de la milpa,

donde la semilla de calabaza aporta proteína y sabor, y el epazote y el ajo evocan los aromas tradicionales de la cocina rural.

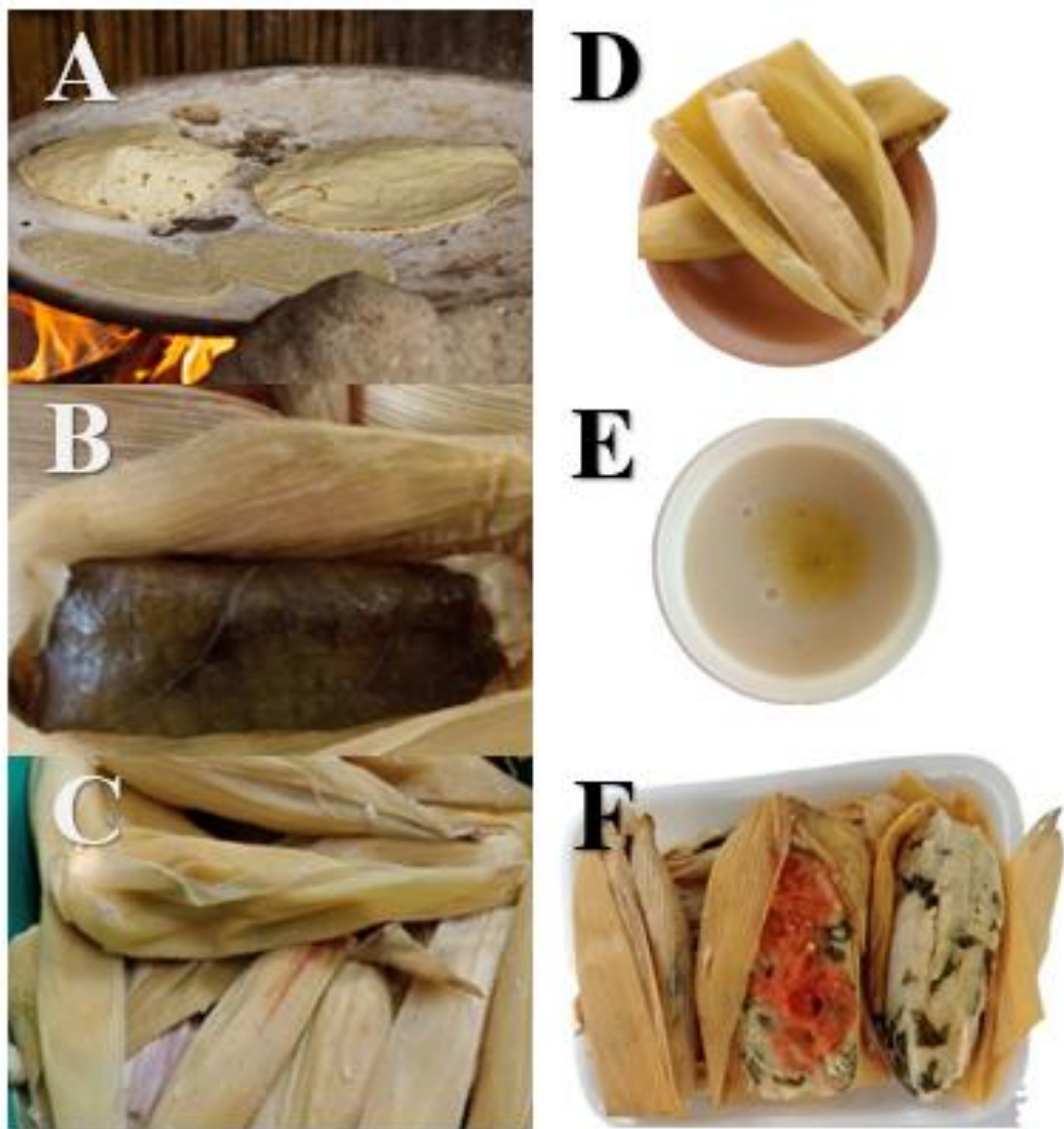


Figura 1. A) Tortillas elaboradas a mano de maíz zapalote; B) Tamales de tamal; C) Tamales de semilla de calabaza; D) Tamal de elotes; E) Chileatole; F) Tamales de chepil.

Tamal de elote. Se prepara con granos tiernos de elote, aceite, azúcar y sal. El maíz se cuece con cal, se muele y se mezcla con aceite o mantequilla; luego se combina con elote molido y se envuelve en hojas de totemoxtle. Se cuece a baño maría durante una hora y se sirve con salsa. Este tamal es una expresión del aprovechamiento del maíz tierno, muy valorado en las celebraciones agrícolas, donde representa fertilidad, abundancia y el ciclo de renovación del campo.

Chileatole con salsa verde. Se elabora con elote tierno, azúcar, canela y una rama de epazote. El maíz se desgrana, se muele y se cuele; el líquido resultante se hierve lentamente con canela y epazote, moviendo constantemente hasta que espese. Este atole espeso, de sabor dulce y aroma herbal, es una bebida tradicional presente en festividades religiosas y comunitarias, símbolo de hospitalidad y cohesión social.

Tamales de chepil. Este platillo se prepara con maíz, aceite, hojas de chepil, sal y totemoxtle. La masa se mezcla con aceite, sal y las hojas de chepil picadas, luego se envuelve en hojas de maíz y se cuece a baño maría. Este tamal resalta la riqueza botánica de Oaxaca, ya que el chepil —una leguminosa nativa— aporta aroma, color y nutrientes, además de ser un ingrediente emblemático de la cocina zapoteca y mixteca.

CONCLUSIÓN

Promocionar el consumo de los productos alimentarios por especie y cultivo es el resultado del proceso participativo y colaborativo de las integrantes de la comunidad de Aprendizaje Campesino El Zapotal, el cual visibiliza el valor social, cultural y alimenticio del maíz zapalote chico y grande, presentes en la comunidad de Cajón de Piedra en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec. Además, se promueve la cocina tradicional a través de la transmisión de recetas de los productos originarios de la comunidad, como una estrategia para la promoción del consumo. Sin embargo, los autores, realizan las siguientes recomendaciones con el objetivo de mejorar la relación entre soberanía alimentaria y la conservación de los conocimientos tradicionales del maíz zapalote chico y grande como son difundir la memoria colectiva en los centros educativos, crear un banco de semillas, promocionar el consumo, difundir el conocimiento a las comunidades vecinas y documentar la información de la riqueza social y ambiental de la comunidad.

AGRADECIMIENTOS

A las productoras y los productores beneficiarios (as) del Programa Sembrando Vida, pertenecientes a la comunidad de Aprendizaje Campesino El Zapotal, de la localidad de Cajón de Piedra del municipio de Sto. Domingo Tehuantepec, quienes compartieron información, así como sus experiencias y conocimientos tradicionales para la construcción del documento a través de talleres participativos, recorridos de campo y entrevistas semiestructuradas. A la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el financiamiento a través del programa Estancias Posdoctorales por México, para la realización de la estancia posdoctoral. A la Dra. Juana Yolanda López Cruz por fungir como la asesora del proyecto, así como por su apoyo y facilidades brindadas y por permitirnos la oportunidad de colaborar con el proyecto SIP20230178 y SIP20242329.

REFERENCIAS

- Arellano-Esparza, C. A. (2022). Seguridad alimentaria y política pública: un desafío civilizatorio. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), Hermosillo.
- DOF. (2023). Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida para el ejercicio fiscal 2023 (p. 3).
- Duch, G. (2014). *No vamos a tragar: Soberanía alimentaria: una alternativa frente a la agroindustria*. Barcelona: Ediciones Lince.
- Eastham, J. (2019). Sustainable supply chains in gastronomic tourism. En S. Kumar (Coord.), *The Routledge Handbook of Gastronomic Tourism* (pp. 225–233). Routledge Taylor & Francis Group.
- González Alejo, A. L. (2023). La gastronomía tradicional y el turismo culinario como potencial para impulsar la soberanía alimentaria en Yucatán: el caso de las cocineras de Cuxtal. En R. E. Rózga Luter & V. E. Mota Flores (Coords.), *Gestión de los territorios. Innovación tecnológica, capital humano y turismo con innovación social y sustentabilidad* (pp. 375–388). UNAM-AMECIDER. ISBN UNAM 978-607-30-8308-9; AMECIDER 978-607-8632-38-1

- Guzmán, J. (2020). La transformación del sistema alimentario en México para la garantía del derecho a la alimentación. En D. Prunier, J. Le Gall, A. Pasquier & D. Espinosa (Coords.), *Justicia y soberanía alimentaria en las Américas: Desigualdades, alimentación y agricultura* (pp. 67–72). UNAM.
- Hall, M., & Mitchell, R. (2002). Tourism as a force for gastronomic globalization and localization. En A. Hjalager & G. Richards (Coords.), *Tourism and Gastronomy* (pp. 71–90). Routledge Taylor & Francis Group.
- Hernández, F., & Baptista, S. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda. Tabulados del Cuestionario Ampliado. INEGI.
- Jaime-Vargas, A. (2024). El maíz amarillo como eje de la seguridad y soberanía alimentaria en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 34(63), Hermosillo.
- Menezes, S., & Almeida, M. (2021). Pamonha, alimento identitário e territorialidade. *Mercator*, 20(e20002), 1–15.
- Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. (2008). *Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable*. Gobierno Municipal de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca.
- Rojas, R. T. (1989). La tecnología agrícola mesoamericana en el siglo XVI. En *Historia de la agricultura: Época prehispánica siglo XVI*. Colección Biblioteca del INAH. México: INAH.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (s.f.). *Planeación agrícola nacional (2017–2030): Maíz grano blanco y amarillo mexicano*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sicoMa_z_grano_blanco_y_amarillo
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56(supl. 1), S92–S98.9.

Distribución de la biomasa y rendimiento del girasol en relación con la fecha de siembra

José Alberto Salvador Escalante-Estrada^{1*}, Yolanda I. Escalante-Estrada², Luis Enrique Escalante-Estrada³, Cid Aguilar-Carpio⁴

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ²Universidad Autónoma de Guerrero, ³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. *Autor para correspondencia: jasee@colpos.mx

Recibido: 25/08/25; Aceptado: 02/12/24; Publicado en línea: 31/12/24

RESUMEN

En la región de Valles altos de México no es común la siembra de girasol, por lo que, dado la rusticidad de este cultivo, podría ser una alternativa para incrementar el ingreso de los productores. Con las fechas de siembra se busca las condiciones ambientales más favorables para que el cultivo exprese su máxima producción. El objetivo del estudio fue determinar: a) la fecha de siembra más favorable para mayor producción de biomasa y rendimiento de grano en girasol en clima templado, b) la fecha de siembra afecta la distribución de biomasa en la planta de girasol y c) la relación entre la biomasa, rendimiento de grano, las unidades calor, precipitación y el ciclo del cultivo. El estudio se realizó bajo temporal en Montecillo, Estado de México. Los tratamientos consistieron en la siembra de girasol cv Victoria Mejorado en diferentes fechas: 7 y 21 de mayo, 4 y 18 de junio de 2022. Se registraron las temperaturas, precipitación y unidades calor. Fenología: días de la siembra a emergencia, inicio de floración, madurez fisiológica y el ciclo del cultivo. A la cosecha se registró la biomasa con base a la acumulación de materia seca y su distribución en tallo, hoja, receptáculo y grano, asimismo se calculó el índice de cosecha. En conclusión, la fecha de siembra afecta la ocurrencia a etapas fenológicas, producción de biomasa y rendimiento de grano en girasol. La fecha de siembra para mayor producción de biomasa y grano en girasol es la del 18 de junio. La fecha de siembra afecta la acumulación y distribución de biomasa en los órganos del girasol. El rendimiento de grano está altamente relacionado con la biomasa y ésta con la acumulación de calor. Las unidades calor con la duración del ciclo del cultivo y la precipitación durante la estación de crecimiento del cultivo.

Palabras clave: Producción, fenología, acumulación de biomasa.

ABSTRACT

In the High Valleys region of Mexico, sunflower planting is not common. Given the hardiness of this crop, it could be an alternative to increase producers' income. Planting dates are used to determine the most favorable environmental conditions for the crop to achieve its maximum production. The objective of the study was to determine a) the most favorable planting date for greater biomass production and grain yield in sunflowers in a temperate climate; b) the planting date affects biomass distribution in the sunflower plant; and c) the relationship between biomass, grain yield, heat units, precipitation, and the crop cycle. The study was conducted under rainfed conditions in Montecillo, State of Mexico. Treatments consisted of planting sunflower cultivar Victoria Mejorado on different dates: May 7 and 21, and June 4 and 18, 2022. Temperatures, precipitation, and heat units were recorded. Phenology: days from planting to emergence, onset of flowering, physiological maturity, and the crop cycle. At harvest, biomass was recorded based on the accumulation of dry matter and its distribution in the stem, leaf, receptacle, and grain. The harvest index was also calculated. In conclusion, the planting date affects the occurrence of phenological stages, biomass, and grain yield in sunflowers. The planting date for the greatest biomass and grain production in sunflowers is June 18. The planting date affects the accumulation and distribution of biomass in sunflower organs. Grain yield is closely related to biomass, and biomass is closely related to heat accumulation. Heat units are related to the length of the crop cycle and precipitation during the growing season.

Key words: Production, phenology, biomass accumulation.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) por la diversidad de sus productos y desarrollo en regiones limitantes de agua, ha retomado interés económico en México. Además, por su tallo, resistente al acame, podría ser utilizado como una espaldera viva para el frijol (Escalante, 1995; Escalante et al., 2014) y una alternativa para mejorar los ingresos de los agricultores. En Trópico seco y clima cálido pueden lograrse varias siembras al año, lo que elevaría la producción anual de esta oleaginosa. Además, la magnitud de dicha producción estaría en función del manejo del cultivo, en donde la fecha de siembra (FS) es determinante (Escalante et al., 2012). Escalante et al. (2023) señalan que biomasa (BT), índice de cosecha (rendimiento en grano (RG) y sus componentes fueron afectados por la FS. En clima cálido, la mayor BT y RG se logra con siembra del 16 de marzo. También reportan una correlación alta entre el RG con la BT y el número de granos (NG). Sus semillas son fuente de aceite para consumo humano. El aceite de sus granos fluctúa entre 35-40% (Skorić & Marinković, 1986), aunque cultivares mejorados superan este contenido. Así, se puede obtener aceite de cocina, preparación de margarina, combinado con harina de trigo para la preparación de pan y su consumo como germinados, como alimento para aves, conejos y la planta como forraje (Escalante et al., 2008) y uso industrial para la producción de biodiesel (Flagella et al., 2006). También se usa como planta ornamental, sus residuos controlan maleza y mejoran la estructura del suelo (Rodríguez et al., 1998). Su tallo, resistente al acame, podría ser utilizado como una espaldera viva para el frijol (Escalante et al., 2015). Para el 2018 la producción de girasol en México fue de 9,263 t en una superficie cosechada de 6,629 ha, con un rendimiento promedio de 1.39 t ha⁻¹, donde los principales estados productores fueron Sonora, Zacatecas, Guanajuato, Jalisco y Estado de México (SIAP, 2018). En la región de Valles altos de México no es común la siembra de girasol, por lo que, dado la rusticidad de este cultivo, podría ser una alternativa para incrementar el ingreso de los productores sobre todo los que cultivan bajo régimen de lluvia. Así, el estudio de las estrategias de manejo del cultivo que conduzcan al incremento de la producción de girasol se justifica. Con la FS se busca las condiciones ambientales más favorables para que el cultivo exprese el máximo crecimiento, BT, RG y sus componentes.

El objetivo del estudio fue determinar: a) la fecha de siembra más favorable para mayor producción de biomasa y rendimiento en girasol en clima templado y, b) la fecha de siembra afecta la distribución de biomasa en la planta del girasol y c) la relación entre la biomasa, el rendimiento en grano, las unidades calor, precipitación pluvial y el ciclo del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó bajo condiciones de temporal en Montecillo, Estado de México, México de clima Cw (templado, García, 2005), durante el 2022. El cultivar de girasol Victoria Mejorado se sembró a la densidad de 6.5 plantas m⁻² en surcos de 0.80 m de distancia. La fertilización fue de 100-100-00 de NPK, como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46%) y para fósforo el super fosfato de calcio triple (46%), los cuales se aplicaron de forma fraccionada, la mitad al momento de la siembra y el resto a los 30 días. Previo a la instalación del estudio, se realizó un análisis al suelo para conocer sus propiedades fisicoquímicas, en donde se obtuvo como resultado que el suelo fue de textura arcillosa, con densidad aparente de 1.2 g cm⁻³, conductividad eléctrica 1.5 dS m⁻¹, materia orgánica 4.2 %, N total = 0.24 %, fósforo 26 ppm y 1.5 cmol kg⁻¹ de K y pH = 8. Las constantes de humedad del suelo fueron capacidad de campo = 39 % y punto de marchitez permanente = 22% de humedad.

Los tratamientos consistieron en cuatro fechas de siembra (FS): I) 7 de mayo; II) 21 de mayo; III) 4 de junio y IV) 18 de junio de 2022. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo, se registraron las temperaturas (°C) y la precipitación estacional (mm), las cuales fueron obtenidas de la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Con los datos de temperatura se determinaron las unidades calor (UC, °C días⁻¹) mediante el método residual (Arenas-Julio et al., 2021).

Variables registradas. Fenología: días de la siembra a emergencia, inicio de floración (IF) y madurez fisiológica (MF, cosecha) y el ciclo del cultivo (CC) (Schneiter y Miller 1981). A la cosecha se registró la biomasa (BT) con base a la acumulación de materia seca (AMS, g m⁻²) y su distribución (DB, %) en tallo, hoja, receptáculo y grano. El índice de cosecha se calculó utilizando la ecuación $IC \% = (\text{peso del grano/biomasa}) \times 100$. A las variables registradas se les aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Toker mediante el paquete SAS (2011). Además de un análisis de correlación y regresión mediante el paquete estadístico SAS a las variables de rendimiento de grano y biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología. Los cambios en fecha de siembra ocasionaron cambios en la emergencia, IF y MF del cultivo de girasol. Las fechas de siembra del 4 y 18 junio presentaron menos días a IF y MF, en relación con las fechas de siembra de 7 y 21 de mayo, en donde el ciclo del cultivo fue más tardío. Días que concuerdan con lo registrados por Arenas-Julio et al. (2021) en siembras de mayo. Lo cual indica, que la fenología del cultivo pueden ser parcialmente modificado por los factores climáticos, como la temperatura y la luz, que cambian en distintas épocas del año, lo que puede alterar el ciclo de desarrollo de las plantas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Días a ocurrencias a etapas fenológicas en el cultivo de girasol en función de la fecha de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2022.

Fechas de siembra	Emergencia (dds)	Floración R5 (dds)	Madurez R9 (dds)
7 mayo	13	65	109
21 mayo	10	67	110
4 junio	8	63	105
18 junio	10	63	103

dds = días después de la siembra.

Unidades calor, precipitación y ciclo del cultivo. Las UC, PP y CC presentaron cambios debido a la FS (Cuadro 2). La FS del 18 de junio presentó el menor calor acumulado, PP más baja y CC más corto. La FS más temprana del 7 de mayo presentó mayor UC, sin embargo, el 21 de mayo registró la más alta PP y CC.

Cuadro 2. Unidades calor, precipitación y ciclo del cultivo en función de la fecha de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2022.

Fechas de siembra	Unidades calor (°C día ⁻¹)	Precipitación (mm)	Ciclo de cultivo (días)
7 mayo	1459	353	109
21 mayo	1494	364	110
4 junio	1372	343	103
18 junio	1360	329	103
Media general	1421	347	106

Acumulación de biomasa (AMS) e índice de cosecha (IC). Para la AMS, el análisis de varianza presentó diferencias significativas debido a la FS. La biomasa y su acumulación en tallo, hoja, receptáculo y grano fueron más altos conforme fue más tardía la siembra. Las FS del 4 y 18 junio presentaron mayor biomasa y rendimiento de grano en relación con las siembras del 7 y 21 de mayo. Se concluye que la FS es determinante en la producción de girasol. La AMS en las hojas fue semejante en relación con la FS. En contraste, la siembra más temprana presentó menor AMS en tallo receptáculo y grano, lo que se reflejó en la biomasa (Cuadro 3). Esto indica que las condiciones del clima en las siembras posteriores al 7 de mayo fueron más favorables para la AMS en tallo,

receptáculo, grano y el total. En general, la AMS en los órganos de la planta siguió este orden de mayor a menor: tallo > grano > receptáculo > hoja. Tendencias semejantes fueron reportadas por Escalante et al. (2023) en clima cálido. La FS no afectó el IC, lo que indica que la distribución de materia seca hacia el grano fue similar. Por su parte, Arenas-Julio et al. (2021) en suelos de Montecillo, no observaron diferencias en el IC en el cultivo de girasol sembrado de diferentes momentos del mes de mayo.

Cuadro 3. Acumulación de biomasa en los de girasol cv Victoria en función de la fecha de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2022.

Fecha de siembra	Peso de hojas (g m ⁻²)	Peso tallos (g m ⁻²)	Peso receptáculo (g m ⁻²)	Rendimiento de grano (g m ⁻²)	Biomasa (g m ⁻²)	Índice de cosecha (%)
07 mayo	89 a ^z	524 b	229 b	309 b	1151 b	27 a
21 mayo	101 a	550 a	238 a	408 a	1298 a	31 a
04 junio	106 a	559 a	244 a	439 a	1348 a	32 a
18 junio	107 a	561 a	239 a	424 a	1334 a	32 a
DHS 0.05	29	33	8	100	94	5

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Distribución de biomasa (DB, %) en los órganos de la planta. La distribución de biomasa (DB) en la planta presentada en la Figura 1, indica que la FS solamente afectó la DB en tallo, receptáculo y grano. La siembra del 4 de mayo presentó mayor DB en el tallo menor en el receptáculo y grano (27%). En contraste en siembras posteriores, la DB en tallo fue más baja y alta en receptáculo y grano. Esto parece indicar que las condiciones del clima en siembras posteriores al 4 de mayo favorecen una mayor DB hacia los órganos reproductivos. En general la DB siguió este orden siguió este orden de mayor a menor: tallo > grano > receptáculo > hoja (Figura 1). Esto confirma los resultados de Escalante et al. (2022), también para este cultivar en clima cálido. Cabe señalar que la FS alteró procesos de traslocación, puesto que en fechas posteriores al 4 de mayo se observó menor AMS y DB de BT en tallo y mayor en órganos reproductivos respecto a la siembra del 4 de mayo.

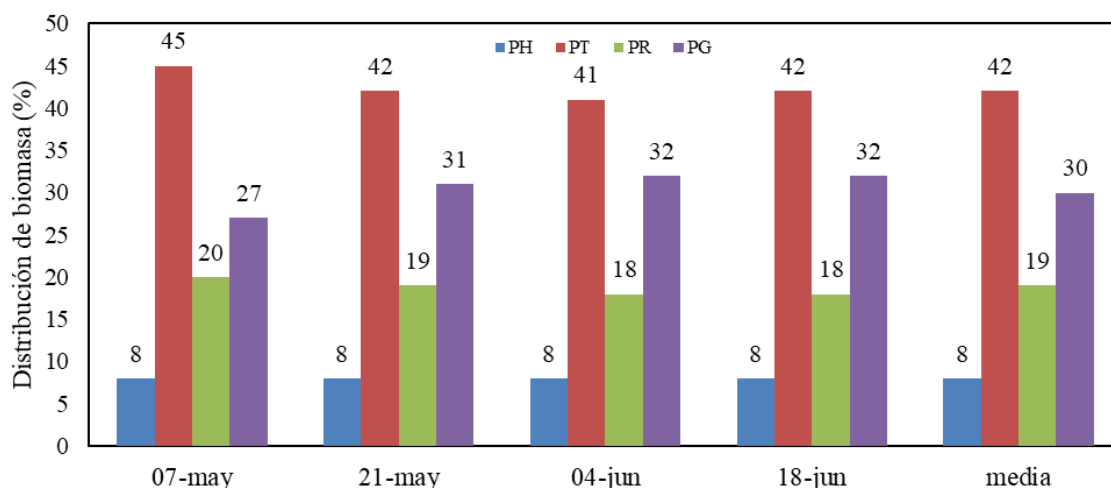


Figura 1. Distribución de biomasa en los órganos de girasol cv Victoria en función de la fecha de siembra. Montecillo, Estado de México. Verano 2022.

Relación biomasa, rendimiento de grano con unidades calor y el ciclo del cultivo. De acuerdo con el análisis de correlación realizado entre la biomasa, rendimiento de grano, unidades calor, precipitación estacional y el ciclo del cultivo se encontró que la biomasa y el rendimiento de grano presentaron una correlación alta solo con las UC con $r = 0.98^{**}$. Las UC con la PP y el CC ($r = 0.95^{**}$). Esto indica que la acumulación de calor (UC) fue mayor acorde con el CC. Entre la biomasa y el rendimiento de grano fue de 0.98^{**} . Lo que indica que para mayor rendimiento de grano se requieren plantas más grandes.

CONCLUSIÓN

La fecha de siembra afecta la ocurrencia a etapas fenológicas, producción de biomasa y grano en girasol. La fecha de siembra para mayor producción de biomasa y grano en girasol cv. Victoria Mejorado bajo las condiciones de clima templado y régimen de lluvia de Montecillo es la del 18 de junio. La fecha de siembra afecta la acumulación y distribución de biomasa en los órganos del girasol. El rendimiento de grano está altamente relacionado con la biomasa y ésta con la acumulación de calor. Las unidades calor con la duración del ciclo del cultivo y la cantidad de lluvia durante la estación de crecimiento del cultivo.

REFERENCIAS

- Arenas-Julio, Y. R., Escalante-Estrada, J. A., Ortiz-Solorio, C. A., Volke-Haller, V. H., Rodríguez-González, M. T., & Aguilar-Carpio, C. (2021). Producción de girasol en función de suelo, nitrógeno y densidad de población. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7, 1–11.
- Escalante-Estrada, J. A. (1995). Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*, 3, 28–32.
- Escalante-Estrada, L. E., Escalante-Estrada, Y. I., & Linzaga, E. C. (2008). Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 177–182.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2012). Modelos de crecimiento y rendimiento del girasol en función del nitrógeno y densidad de población. *Celaya Academia Journal*, 4(3), 817–822.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2014). Rendimiento del girasol en función del cultivar de frijol en siembra asociada. *Ciencias Agrícolas Informa*, 23(1), 23–28.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2015). Root system, phenology and yield of sunflower in relation to nitrogen and phosphorus. *Helia*, 63, 163–174.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Carpio, C., & Escalante-Estrada, Y. I. (2022). Rendimiento, acumulación y distribución de biomasa en girasol en función de la salinidad y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), e3116.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Escalante-Estrada, Y. I., & Aguilar-Carpio, C. (2023). Fecha de siembra, densidad de población y rendimiento de girasol en clima cálido. *Revista de Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología*, 3, 58–63.
- Flagella, Z., Di Caterina, R., Monteleone, M., Giuzio, L., Pompa, M., Tarantino, E., & Rotunno, T. (2006). Potentials for sunflower cultivation for fuel production in southern Italy. *Helia*, 29(45), 81–88.
- García, E. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (4ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, G. M. T., Escalante, E. J. A., & Aguilar, L. (1998). Control de maleza con productos de girasol (*Helianthus annuus* L.). En *Memorias del XIX Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza* (pp. 24–26). Mexicali, Baja California, México.
- Schneiter, A. A., & Miller, J. (1981). Description of sunflower stages. *Crop Science*, 21(6), 901–903.
- SAS Institute Inc. (2011). *SAS® 9.3 Guide to Software Updates*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Producción agrícola de cultivos cíclicos y perennes. <https://www.gob.mx/siap>.

Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith en cultivo de maíz *Zea mays* L. en el norte de Sinaloa, México

Lucía Araceli Manzanarez-Jiménez^{1*}, Cipriano García-Gutiérrez¹, Gabriela Lizbeth Flores-Zamora¹, Rosa Luz Gómez-Peraza¹, Jesús Uriel Hernández-Armenta¹, Itzayana Pacheco-Gómez¹

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Sinaloa, Guasave, Sinaloa, México. *Autor para correspondencia: lmanzanarezj1800@alumno.ipn.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 15/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae), es una plaga voraz en el cultivo de maíz en Sinaloa, debido a esto, es importante conocer el daño que causa durante el cultivo. En este trabajo se evaluó el daño foliar en las plantas de maíz y la cantidad de larvas por planta, mediante la técnica de muestreo cinco de oros, en una hectárea de maíz blanco, durante el ciclo otoño-invierno 2023-2024 en la localidad Dos de Abril en El Fuerte, Sinaloa, México. El muestreo se hizo durante las etapas V6, V10, V12, R1, R3 y R6. El daño foliar por larvas en las plantas fue 5.04 ± 0.74 % (V6), 9.55 ± 0.65 % (V10), 18.1 ± 1.17 % (V12), 23.2 ± 0.58 % (R1), 24.3 ± 1.27 % (R3), 25.0 ± 1.25 % (R6) plantas/ha. En las plantas se encontraron 4.13 ± 0.58 % (V6), 7.15 ± 0.54 % (V10), 7.03 ± 0.54 % (V12), 6.01 ± 0.53 % (R1), 8.16 ± 0.37 % (R3), 8.04 ± 0.56 % (R6) larvas/plantas. Los daños y la presencia de larvas en las plantas de maíz mostraron el potencial destructivo de la plaga. No obstante, la cantidad de agroquímicos utilizados para su control la plaga se mantuvo activa durante el ciclo de cultivo. La información generada en este trabajo podría contribuir a mejorar el control de las poblaciones del gusano cogollero del maíz, en referencia con las etapas fenológicas estudiadas.

Palabras clave: Agricultura, gusano cogollero, Sinaloa.

ABSTRACT

The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, (Lepidoptera: Noctuidae), is a voracious pest of corn crops in Sinaloa, because of this, it is important to know the damage it causes during cultivation. In this work, leaf damage to corn plants and the number of larvae per plant were evaluated using the “Cinco de Oros” sampling technique in one hectare of white corn during the 2023-2024 fall-winter cycle in the “Dos de Abril” locality in El Fuerte, Sinaloa, Mexico. The sampling was done during stages V6, V10, V12, R1, R3, and R6. Leaf damage by larvae in plants was 5.04 ± 0.74 % (V6), 9.55 ± 0.65 % (V10), 18.1 ± 1.17 % (V12), 23.2 ± 0.58 % (R1), 24.3 ± 1.27 % (R3), 25.0 ± 1.25 % (R6) plants/ha. In plants 4.13 ± 0.58 % (V6), 7.15 ± 0.54 % (V10), 7.03 ± 0.54 % (V12), 6.01 ± 0.53 % (R1), 8.16 ± 0.37 % (R3), 8.04 ± 0.56 % (R6) larvae/plants were found. The damage and presence of larvae in corn plants showed the destructive potential of the pest. However, the number of agrochemicals used to control the pest remained active throughout the crop cycle. The information generated in this study could contribute to improving the control of fall armyworm populations, in relation to the phenological stages studied.

Key words: Agriculture, fall armyworm, Sinaloa.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en el mundo. En el año 2023, su producción fue 1,241,557,917 millones de toneladas métricas a nivel mundial; su cultivo predominó en el continente americano (sur y norte) con un aporte productivo de 50.2 %, destacando el país mexicano con 27,549,917 millones de toneladas métricas (FAOSTAT, 2023). En México, el estado de Sinaloa es el mayor productor de maíz, en el año 2023 produjo 6,656,331 millones de toneladas métricas, cultivadas en los municipios de Guasave (20.35 %), Ahome (18.20 %), Culiacán (18.04 %), Navolato (14.89 %) y Angostura (8.75 %) con un valor de 37,895.6 millones de pesos (SIAP, 2024).

Entre los principales problemas que se presentan durante el cultivo del maíz esta la presencia de enfermedades foliares por hongos, enfermedades sistémicas causadas por virus, y patógenos obligados (oomycetes “hongos huevo”) como *Pythium* spp., *Sclerophthora* sp. y *Peronosclerospora* sp., (Capinera, 2024). En el norte de Sinaloa, un problema común es la pudrición de la mazorca por hongos del género *Fusarium* spp., y en menor incidencia el damping-off en las etapas de germinación y emergencia del maíz, causado por los hongos de los géneros *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., y *Fusarium* spp., otros problemas que se presentan son las plagas insectiles como el gusano cortador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae), la mosca de los estigmas *Euxesta stigmatias* (Loew) (Diptera: Otitidae), el pulgón verde *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homiptera: Aphididae), el gusano de la mazorca *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) y el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (García et al., 2012; INIFAP, 2017).

El gusano cogollero es una plaga polífaga que tiene un nivel de importancia económica alta en el cultivo de maíz; en ataques tempranos se comporta como un trazador y defoliador de la planta, y en ataques tardíos afecta la espiga, y los estigmas (García et al., 2012). El adulto es de color gris oscuro, con manchas marrones, grises y blancas en sus alas anteriores, se estima que vive en promedio 10 días en el cultivo, con un rango de entre 7 y 21 días, la hembra oviposita sus huevos en masas de 200 a 300 unidades y los cubre con hilos de seda y escamas de coloración grisácea, que desprende de su cuerpo (Capinera, 2024). Los huevecillos duran entre 2 y 3 días, momento en que eclosionan las larvas, las cuales pasan por seis instares, y su duración depende de la temperatura; a $<20^{\circ}\text{C}$ puede durar alrededor de 30 días, y a $>25^{\circ}\text{C}$ logran desarrollarse entre 10 y 14 días, la pupa es de forma obtecta, de color marrón-rojiza, su desarrollo se completa entre 8 y 9 días en climas cálidos, en climas fríos, este estadio puede durar entre 20 a 30 días (Capinera, 2024).

Las larvas son las que causan daño foliar en las plantas; recién emergidas se alimentan del corion del huevo, para después dañar el tejido foliar, entre el 1er y 3er instar hacen perforaciones en el área foliar y el tallo de la planta de maíz, del 4to al 6to instar su voracidad es mayor, ya que defolian la planta, y se alimentan de otras estructuras vegetales de la planta, sus ataques pueden causar pérdida total de la planta (Capinera, 2024; Manzanarez et al., 2024). En Sinaloa el control del gusano cogollero se realiza con insecticidas químicos, algunos productos biológicos y otras medidas mecánicas (García et al., 2012; Manzanarez et al., 2024), sin embargo, se considera la plaga más importante del maíz, y puede causar daños considerables a los cultivos. Por esta razón es importante obtener información sobre el daño que esta plaga causa en el cultivo de maíz para aplicar medidas preventivas de control como estrategia para reducir o eliminar su presencia de manera oportuna y efectiva. En este trabajo se evaluó el daño foliar en las plantas de maíz y la cantidad de larvas por planta de gusano cogollero en las etapas vegetativas y reproductivas, mediante la técnica cinco de oros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una hectárea de maíz blanco, sembrado con semilla comercial, durante el ciclo otoño-invierno 2023-2024 en la localidad Dos de Abril en el municipio de El Fuerte, Sinaloa, México ($26^{\circ}25'17''\text{N}$ - $108^{\circ}37'11''\text{O}$; 20 msnm), en un clima semicálido subhúmedo, con temperaturas de $13\text{--}28^{\circ}\text{C}$, asistido con riego del distrito Río Fuerte 075. La siembra de semilla se hizo el día primero de noviembre de 2023, con una densidad de 80,000 plantas de maíz/ha, con intervalos de riego por goteo cada tres días, durante seis horas. El suelo de cultivo fue de tipo franco-arenoso, sin salinidad. El control del gusano cogollero y otras plagas, y malezas, se hizo con 1.5 L/ha de Lambda-cihalotrina-Clorpirifos etil (Piretroide + Organofosforado), 500 g/ha de Metomilo (Carbamato) y 500 L/ha de Fluroxipir meptil (Pyridinas), respectivamente. La temperatura media fue de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de $60 \pm 5\%$ y fotoperiodo de 9 ± 1 horas luz (smn.conagua.gob.mx).

Los muestreos se realizaron del 17 de noviembre del 2023 al 15 de febrero del 2024, cada 24 días durante tres días. Las etapas de muestreo V6, V10, V12, R1, R3, y R6, se establecieron de acuerdo

con la descripción fenológica para maíz de Lancashire et al., (1991). El muestreo cinco de oros tomo los cuatro extremos y la parte central de los 1000 m² del cultivo de maíz. En cada punto se revisaron 80 plantas por día, con un total de 240 plantas por etapa fenológica. Cada planta contó como una unidad de daño. En las etapas vegetativas V6, V10 y V12, el daño se registró como presencia de rasgadura o perforación en las hojas de la planta de maíz y tallos, en la etapa reproductiva se revisaron las espigas y los estigmas (R1), y el fruto (R3 y R6). La infestación de larvas de gusano cogollero se registró contando el número de larvas por planta durante las etapas establecidas en este estudio, sin discriminar entre estados de desarrollo. Las diferencias entre las etapas de fenológicas se determinaron con el estadístico ANOVA y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) en el programa MINITAB® Version 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de daño foliar en plantas de maíz hubo diferencia significativa entre las etapas vegetativas hasta la cosecha ($F = 17529.94$; $gl = 5,1$; $p = 0.00$), el porcentaje de daño en las plantas fue de $5.04 \% \pm 0.74$ a $25.04 \pm 1.25 \%$ de la etapa V6 hasta la cosecha, con presencia más notoria en la etapa reproductiva. En la evaluación de cantidad de larvas en las plantas, hubo diferencia significativa entre las etapas V6 y R1, comparadas con las etapas V10 y V12, así como R3 y R6 ($F = 1960.95$; $gl = 5,1$; $p = 0.00$). La mayor presencia de larvas se presentó en las etapas R3 y R6, mientras que la menor presencia de larvas se observó en la etapa V6. En el Cuadro 1 se presenta el promedio en porcentaje y la desviación estándar de daño foliar, así como la cantidad de larvas en las plantas de maíz, durante las etapas de muestreo.

Cuadro 1. Evaluación de daño foliar y cantidad de larvas de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en plantas de maíz blanco en el norte de Sinaloa

Etapas fenológica	Plantas/ha %	IC 95 %	Larvas/planta %	IC 95 %
V6	5.04 ± 0.74 f	(4.916, 5.166)	4.13 ± 0.58 d	(4.0668, 4.1998)
V10	9.55 ± 0.65 e	(9.429, 9.679)	7.15 ± 0.54 b	(7.0835, 7.2165)
V12	18.1 ± 1.17 d	(17.97, 18.22)	7.03 ± 0.54 b	(6.9585, 7.0915)
R1	23.2 ± 0.58 c	(23.12, 23.37)	6.01 ± 0.53 c	(5.9460, 6.0790)
R3	24.3 ± 1.27 b	(24.23, 24.48)	8.16 ± 0.37 a	(8.0960, 8.2290)
R6	25.0 ± 1.25 a	(24.91, 25.16)	8.04 ± 0.56 a	(7.9668, 8.0998)

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($\alpha = 0.05$). Los datos se presentan como promedios y desviación estándar, de tres días de muestreo por cada etapa de crecimiento y desarrollo de la planta de maíz.

Las larvas de gusano cogollero se alimentaron de las hojas de la planta de maíz y el tallo en etapas tempranas, no obstante, el daño fue mayor en las hojas. El daño foliar se caracterizó por presentar hojas rasgadas y perforaciones de forma irregular, en tallos y área foliar. En las etapas avanzadas se alimentaron, del cogollo, los estigmas, las espigas y del fruto. El daño foliar fue más severo en la etapa reproductiva R1, con un aumento notorio con la aparición de los estigmas, durante la floración y el jiloteo. No obstante, previo a la etapa reproductiva, hubo un aumento de daño foliar de 52.77 % entre las etapas V6, V10 y V12 (Cuadro 1).

La cantidad de larvas fue incrementando con el crecimiento y desarrollo del cultivo. En la etapa vegetativa el número de larvas por planta aumento en las etapas V10 y V12, después hubo una disminución en la etapa R1, y en las siguientes etapas hubo un aumento durante el desarrollo y crecimiento de grano lechoso (R3) hasta grano maduro (R6) (Cuadro 1). La disminución de larvas en las plantas podría deberse a la variación de la temperatura, la cual registró 26 ± 1 °C durante las etapas V6, V10, y V12 y descendió a 19 ± 2 °C durante el muestreo de la etapa R1, y después aumentó en las etapas R3 y R4. La variación de temperatura podría haber afectado el movimiento y la actividad

de las larvas en las plantas de maíz, sin embargo, se necesitan más estudios sobre la variación de temperatura y el comportamiento de las larvas en las condiciones climáticas de la región.

Los resultados de daño foliar y presencia de larvas de gusano cogollero y maíz concuerdan con los resultados de Thomison & Nafziger (2003) quienes informaron que los ataques del gusano cogollero son más voraces durante las etapas vegetativas avanzadas, y esta voracidad aumenta en las etapas reproductivas, momento en que se produce mayor defoliación. Al respecto Jaramillo et al. (1989) encontraron que los ataques por gusano cogollero en etapas tempranas son de intensidad moderada, ya que las plantas tienen capacidad para recuperarse en ambientes que favorezcan el control natural de la plaga, estos resultados son acorde con los repostados por Manzanarez et al. (2014), quienes encontraron que las larvas de primer instar de gusano cogollero son susceptibles al efecto insecticida natural de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria* sp. En nuestro estudio el daño foliar fue de menor a mayor desde el primer muestreo (V6) y aumento en la etapa de jiloteo (R1). Las larvas estuvieron presente durante todo el cultivo, no obstante su habitual canibalismo (Capinera, 2024), y las aplicaciones de productos agroquímicos, la cantidad de larvas aumento a medida que las etapas fenológicas del cultivo llegaban a la cosecha.

CONCLUSIÓN

El gusano cogollero es plaga primaria del cultivo de maíz en Sinaloa. Se presenta en cantidades de menor a mayor intensidad durante el crecimiento y el desarrollo del cultivo. El daño foliar se caracteriza por presentar hojas rezagadas y perforaciones de forma irregular, en tallos y área foliar. Los daños y la presencia de larvas en las plantas de maíz son evidencia del potencial destructivo de la plaga en cultivo de maíz. No obstante, la cantidad de agroquímicos utilizados para su control, la plaga se mantuvo activa durante el ciclo de cultivo. La información generada en este trabajo podría contribuir a mejorar el control de las poblaciones del gusano cogollero del maíz, en referencia con las etapas fenológicas estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca otorgada para estudio de Estancias posdoctorales por México 2022 (3) en la modalidad Académica a la Doctora Lucía Araceli Manzanarez Jiménez, con el proyecto “Desarrollo de nuevos bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos para el control de plagas en tomate y chile en Sinaloa”. Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCIAS

- Capinera, J. (2024). Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Document EENY-098 (pp. 1–6). Florida: IFAS Extension University of Florida. Recuperado el 10 de enero de 2025, de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN255>
- FAO/STAT. (2023). Cultivos y productos de ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 5 de enero de 2025.
- García, G., González, M., & Cortez, M. E. (2012). Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai*, 55–70.
- INIFAP. (2017). Agenda Técnica Agrícola de Sinaloa. Ciudad de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Jaramillo, D., Jaramillo, G., Bustillo, P., & Gómez, L. (1989). Efecto del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) sobre el rendimiento del maíz. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 42(1), 25–33.
- Lancashire, P., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., Van Den Boom, T., Weber, E., & Witzengerber, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119(3), 561–601.

- Manzanarez-Jiménez, L. A., García-Gutiérrez, C., Flores-Zamora, G. L., Leal-Jiménez, L. M., Graciano-Obeso, A., Pacheco-Gómez, I., & Gómez-Peraza, R. L. (2024). Control de *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith mediante hongos entomopatógenos y aceite mineral. En INIFAP (Ed.), *Memorias Agroevento Integración de la Microbiomica y la Bioinformática en la Producción Agropecuaria* (pp. 88–94). Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola (Año agrícola OI+PV), maíz grano. Recuperado el 22 de enero de 2025.
- Thomison, P. R., & Nafziger, E. D. (2003). Defoliation affects grain yield, protein, and oil of topcross high-oil corn. *Crop Management*, 2(1), 1–9.

Alternativas biotecnológicas en el enraizamiento de *Acanthocereus tetragonus*, alimento que enfrenta al cambio climático

María de Jesús Martínez-Hernández^{1*}, Vianey del Rocío Torres-Pelayo², Gerardo Alvarado-Castillo¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana, México. ²Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, México. *Autor para correspondencia: mhermandezmj@gmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 12/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En México, los tallos de la cruceta (*Acanthocereus tetragonus*) se consume en el medio rural y se comercializa en verano en tianguis y mercados urbanos mediante vendedores rurales que provienen de recolección. El objetivo de esta investigación fue enraizar plantas de cruceta incorporando enraizadores orgánicos de bajo costo. Los tallos o esquejes se obtuvieron de plantas vigorosas y sanas, en la etapa fenológica madura, gruesas y sin retoños de 2 metros de longitud y con todas sus espinas. Se utilizaron enraizadores orgánico lenteja, jugo de piña, canela y el testigo. Los resultados obtenidos mostraron que la canela y el jugo de piña obtuvieron el 100 % de enraizamiento y el 85 % con lentejas mientras que el testigo no obtuvo resultados sobresalientes. En cuanto al número de raíces se observó que con el jugo de piña tuvo un promedio 7.2 raíces y 6.8 para la canela, con lentejas fue 5.7 y el testigo alcanzo un promedio de 5.2 raíces, en la longitud de la raíz el mejor tratamiento fue el de canela con 17.3 cm, seguido del jugo de piña de 15.1 cm mientras que el testigo fue 10.2 cm. Por lo tanto, los enraizadores orgánicos se pueden utilizar en tallos o esquejes de cruceta y estos son de bajo costo y no contaminan el medio ambiente.

Palabras clave: Enraizador orgánico, cruceta, alimento funcional.

ABSTRACT

In Mexico, the stems of the cross (*Acanthocereus tetragonus*) are consumed in rural areas and sold in summer at street markets and urban markets by rural vendors who collect them. The objective of this research was to root the stalked stalk plants using low-cost organic rooting agents. Stems or cuttings were obtained from vigorous, healthy plants, in the mature phenological stage, thick and shootless, 2 meters long, and with all their thorns. Organic rooting agents were used: lentils, pineapple juice, cinnamon, and control. The results obtained showed that cinnamon and pineapple juice obtained 100% rooting and 85% with lentils while the control did not obtain outstanding results. Regarding the number of roots, it was observed that with pineapple juice it had an average of 7.2 roots and 6.8 for cinnamon, with lentils it was 5.7 and the control reached an average of 5.2 roots, in root length the best treatment was cinnamon with 17.3 cm, followed by pineapple juice with 15.1 cm while the control was 10.2 cm. Therefore, organic curlers can be used on stems or crosshead cuttings, and these are low cost and do not pollute the environment.

Key words: Organic rooting agent, crosshead, functional food.

INTRODUCCIÓN

La inseguridad alimentaria es un riesgo latente que afecta a la población de las zonas urbanas y rurales, principalmente a las comunidades indígenas y campesinas, que se ubican en los estados como Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Veracruz y Puebla, pues existe 65% de las familias carecen de alimentos nutritivos y frescos, padeciendo hambre o malnutrición (Pérez, 2016; Ayala, 2024). Estos problemas se agravan primero por los escenarios de cambio climático, donde una posible alternativa es el cultivo de especies adaptadas a condiciones extremas como las de zonas semiáridas con suelos pobres y temperaturas cálidas. Ya que de acuerdo con Montero-Martínez, et al. (2013), los análisis de las anomalías proyectadas para la segunda mitad del presente siglo en México presentan un incremento

en temperatura y menor precipitación en casi todo el país; el cambio de la temperatura media será mayor para el verano que para el invierno, acentuándose paulatinamente, donde se observaran valores por arriba de los 5 °C para algunas regiones en el norte y centro sur del país. Otro de los problemas es la constante deforestación y pérdida de especies nativas con alto valor alimentario y comercial que se explotan en otros países, siendo originarios de México o de áreas neotropicales del país, como el caso de las cactáceas y agaváceas cuya demanda mundial es cada día más alta (Esquivel, 2004; Pérez, 2016; Acosta, 2019).

La cruceta es una cactácea endémica de México y se cultiva en los estados de Veracruz, Sinaloa, Colima, Oaxaca, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, San Luis Potosí y Querétaro, se cultivan principalmente en los traspatios y se comercializan a nivel local, su temperatura máxima es de 35°C como mínima de 17°C, se caracteriza por un clima subhúmedo a semiárido y su altitud va desde 1 a 1515msnm con precipitaciones de menos de 600 mm anuales, en ambientes limitados con suelos pobres como regosoles y leptosoles. Tienen muchas similitudes ecológicas, morfológicas y fisiológicas con las cactáceas como resultado de la convergencia evolutiva, por haber coincidido en su área de origen (las zonas áridas de América), y se pueden reproducir por medio de semillas o clones que surgen a partir de la raíz o de una ramificación de la inflorescencia. Cabe mencionar que mecanismo nocturno de captación de CO₂ encontrado entre las especies de CAM generalmente mejora la eficiencia del uso del agua debido a la reducción de la tasa de transpiración durante la noche (Nobel, 2004). Una característica distintiva de las plantas CAM es la notable flexibilidad del marco metabólico básico descrito anteriormente, que varía en términos de la proporción de CO₂ asimilado a través de las vías CAM y C3, entre taxones y en respuesta a las condiciones ambientales, y puede conferir una ventaja ecológica para sobrevivir en hábitats con variaciones estacionales en la disponibilidad de recursos (Ulrich, 2004). La alta variabilidad de las especies CAM sugiere especies capaces de responder a los cambios en el medio ambiente y ser una respuesta de producción y alimentación frente a la vulnerabilidad del cambio climático y la inseguridad alimentaria. Es importante señalar que el uso de la agricultura orgánica en sistemas de producción que pretendan mantener y mejorar la calidad de los suelos, ecosistemas y a los pobladores, será fundamental en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales sin usar insumos que tengan efectos adversos (Ricalde, 2010). Es por ello, que el objetivo de la investigación fue enraizar plantas de cruceta incorporando enraizadores orgánicos de bajo costo

MATERIALES Y MÉTODOS

La selección y recolección del material vegetativo (tallos de cruceta), se llevó a cabo en la parcela de la señora Elvira Martínez, ubicada en la Localidad llamada el Chico, Municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. La localidad se encuentra a una latitud de 19° 27'54" norte a una longitud de 96° 50'15" oeste y una altitud de 1,031 sobre el nivel de mar (Figura 1), con clima cálido-húmedo y temperatura media anual de 25.23°C y precipitación media de 2,779.1 mm. con suelos tipo luvisol y rendzina, el primero presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y es susceptible a la erosión, el segundo contiene una capa superficial rica en materia orgánica, es poco profundo y moderadamente susceptible a la erosión.

Se recolectaron los 260 tallos de crucetas, previamente donadas por la dueña de la parcela. Estas se transportaron en un contenedor frío de 4°C a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, para su posterior análisis en el laboratorio.

Obtención y preparación de tallos o esquejes. Los tallos se cortaron de plantas vigorosas sanas, con una etapa fenológica madura, gruesas y sin retoños de coloración verde uniforme con todas sus espinas y longitud fue de 2 metros de largo, posteriormente se cortaron en tallos de 20 cm de largo para facilitar la siembra (Figura 2).

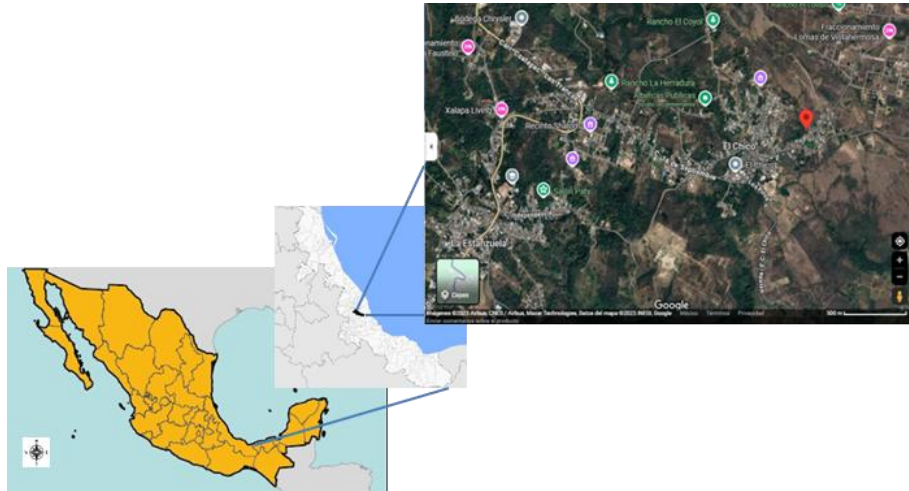


Figura 1. Localización del experimento, localidad de El Chico Municipio de Emiliano Zapata, Veracruz.



Figura 2. Tallo o esqueje de Cruceta completo sin daño.

Con el propósito de disminuir las infecciones de los tallos durante el enraizamiento, se descubrió tres centímetros del haz vascular y se dejó que cicatrice el tejido succulento, sumergiendo los tallos durante 5 minutos en una solución a base de ajo (*Allium sativum*). Previamente preparados se pican y se maceran 25 g de ajos es decir (4 dientes) y se agrega 1L de agua se deja reposar por 5 días y se filtra. Posteriormente se diluye el producto obtenido en 10 L de agua y se aplicó como un fungicida natural, con el fin de evitar bacterias ó hongos en las heridas realizadas. Posterior a esto se colocaron por 6 días en un lugar sombreado para evitar la deshidratación de estos. El sustrato utilizado fue una mezcla de arena-lombricomposta y tezontle en rojo, se utilizaron bolsas negras con medidas de 34x34 cm. para la siembra de los tallos.

Preparación de enraizadores. Enraizador de Lenteja: De acuerdo con la metodología de Acosta (Acosta, 2019), las lentejas debe estar germinadas, para que esto suceda se pone en un recipiente con agua de la llave a remojar 250 gr, de semillas durante dos o tres horas, se sacan y se mantienen húmedas sobre una toalla de papel que absorba el exceso de agua dejarlas reposar por 24 horas al otro día volver hacer el mismo procedimiento, en un lapso de dos a tres días las semillas de lentejas estarán germinadas y es el momento en el que se trituran en el agua donde estuvieron remojándose la semilla, se filtra y se obtiene una pasta que servirá para enraizar los esquejes.

Enraizador de Canela. Se utilizan 250 g de canela y un litro de agua, la canela se vierte en el litro de agua y se deja reposar alrededor de una hora, posteriormente se filtra y se obtiene el agua de canela como enraizador (Acosta, 2019).

Enraizador de Jugo de Piña. La piña fue de la variedad Cayena lisa, completamente madura, se retiró la corona de la piña, se lavó y se fue pelando con cortes uniformes para evitar pérdidas de la pulpa, posteriormente se rebanó en trozos pequeños, se licuo sin agregar agua, todo lo que se extrajo de jugo se fue almacenando por 24 horas sin colar para aprovechar hasta el extracto del zumo, se extrajo un litro de jugo de una piña.

Tratamientos

Con las soluciones preparadas se realizaron los siguientes Tratamiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos y Componentes

Tratamiento	Componentes
T1 (Testigo)	Sin enraizador
T2	Canela
T3	Lenteja
T4	Jugo de Piña

Análisis estadístico y variables evaluadas.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, donde la unidad experimental estuvo constituida por un tallo; cada tratamiento se integró por 64 tallos y el experimento se repitió en cuatro ocasiones. Las variables evaluadas incluyeron el porcentaje de enraizamiento, determinado mediante el conteo del total de tallos que desarrollaron raíces; el número de raíces, obtenido al contabilizar las raíces formadas en cada planta; y la longitud de raíces, la cual se midió con una regla desde el cuello del tallo hasta el ápice de la raíz más larga.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de Enraizamiento. En la Figura 3, se puede observar que los tratamientos muestran diferencias significativas en el porcentaje de Enraizamiento para a la solución con canela y jugo de piña obtuvieron el 100 % de enraizamiento, asimismo la pasta de lenteja obtuvo el 85 % del enraizamiento y el testigo que no se le aplicó nada obtuvo el 40% de tallos enraizados. Los resultados obtenidos muestran que el enraizante debe ser un producto que induzca a crear nuevas plantas enraizadas listas para establecer una nueva plantación de producción (Figura 4), es por ello que el enraizador se usa como un potenciador para la generación de nuevas raíces ya que regulan el crecimiento vegetal desde el inicio, lo cual favorece la multiplicación celular y en segundo término como un protector de hongos y bacterias que pudieran presentarse al momento de realizar el corte en el tallo o esqueje (Heras, 2014; Plantas & Flores, 2017; Campos, 2020).

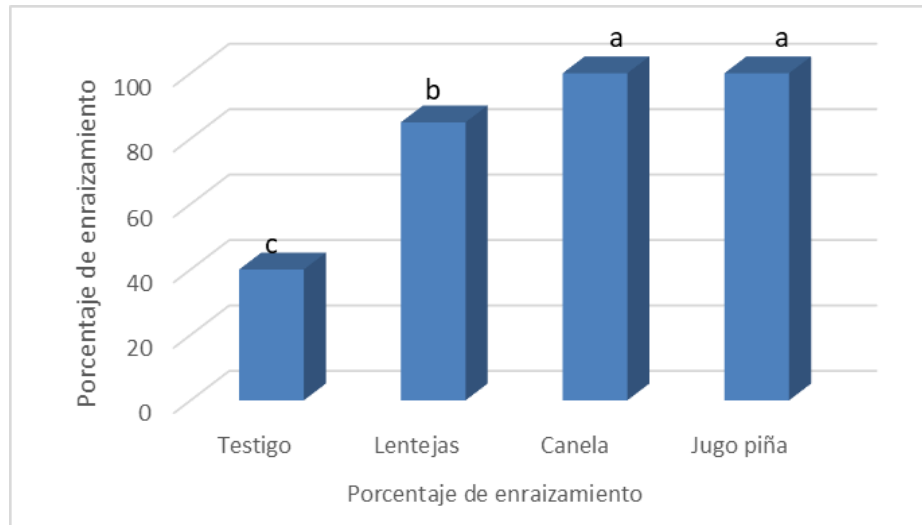


Figura 3. Porcentaje de tallos enraizados de Cruceta.



Figura 4. En esta imagen se observa el esqueje de Cruceta enraizado, mostrando diversas raíces secundarias.

Número de raíces. En la figura 5, se puede observar los promedios obtenidos de acuerdo con los enraizadores utilizados, los tallos con jugo de piña obtuvieron un promedio de 7.2 raíces, con la solución de canela fue de 6.8 en promedio, por otro lado, la mezcla de Lentejas 5.7 raíces en promedio y el testigo fue el que menos presentó raíces 5.2.

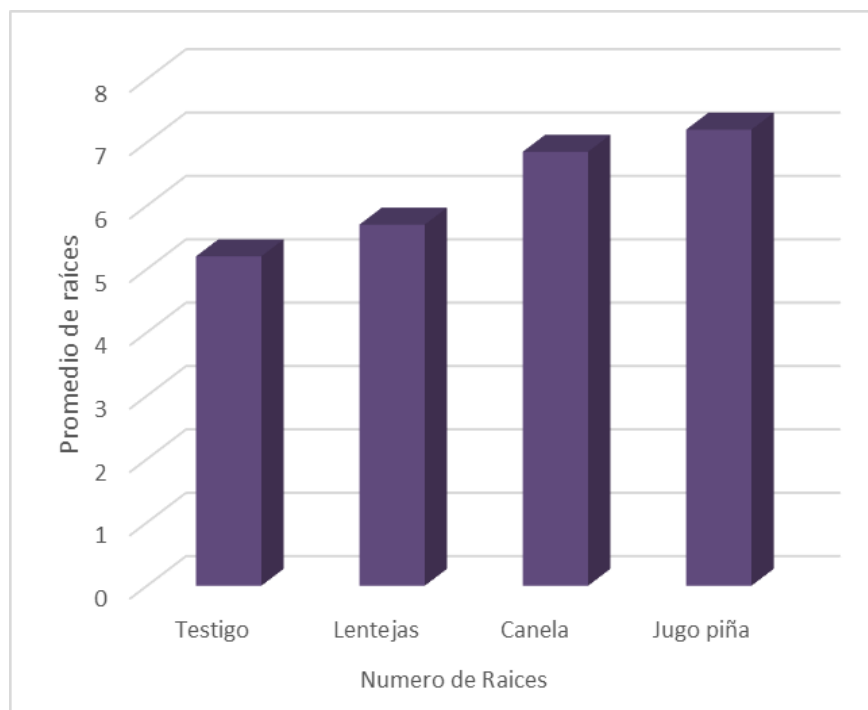


Figura 5. Promedio de raíces por tallos de Cruceta.

Se puede mencionar que el Jugo de piña como enraizador orgánico resulto el mejor de los tratamientos y de acuerdo con Campos (2020) que menciona al aplicar sustancias hormonales orgánicas se induce la formación de raíces, por la cantidad de auxinas y en menor medida citiquininas y giberilinas, dentro de estos grupos se tienen al ácido indoacético, ácido indolbutirico y el ácido naftalenacetico. Además, el jugo contiene fósforo más vitamina B3 más ácidos fúlvicos está mezcla promueve de manera natural el enraizamiento de esquejes (Yañez, 2002; Lucero, 2014).

Longitud de raíces. En la Figura 6 se observa la mayor longitud de raíz es para el tratamiento con la solución de canela 17.3 cm que fueron las raíces más largas mientras que con la mezcla de lenteja se obtuvo una longitud 16.2 cm, para el jugo de piña fue 15.1 cm y el testigo que no se le aplico nada su longitud fue de 10.2 cm, (Figura 7). Los resultados muestran que la canela induce el crecimiento de raíces, además de proteger a los tallos de enfermedades (Acosta, 2019). Estudios realizados en otras especies de plantas, han sugerido que usar un buen sustrato podría permitir la adecuada aireación y retención de humedad el éxito de enraizamientos orgánicos (Ramírez & Zuluaga, 2009). Además, se considera importante elegir un sustrato que influya en la calidad de las raíces formadas y en el porcentaje de enraizamiento, así como de estar acorde con las exigencias de nutrientes, agua y aire de la especie por enraizar; y garantizar un buen soporte a las plantas de estudio, de bajo costo, fácil de obtener y no liberar sustancias tóxicas (López, 2008).

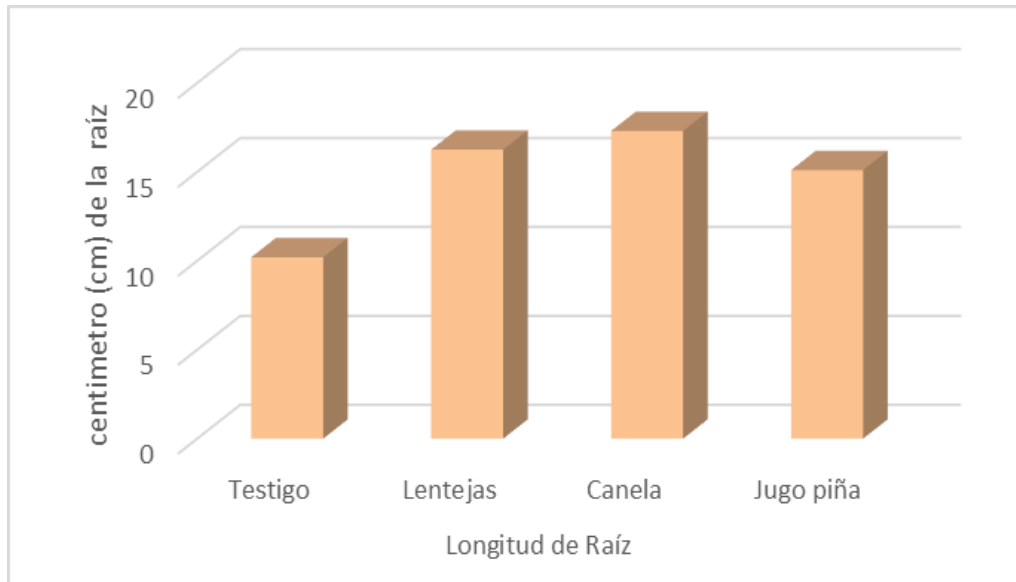


Figura 6. Se observa la longitud de raíz de los tallos de Cruceta



Figura 7. Se observa la longitud de raíz del tallo enraizado de Cruceta.

Los resultados obtenidos mostraron que el mejor tratamiento para dos de las variables evaluadas fue la canela ya que obtuvo el 100% de enraizamiento y una longitud 17.3 cm de raíz, cabe mencionar que el jugo de piña obtuvo el 100 % de enraizamiento e indujo más raíces, sin embargo, la longitud

fue de 15.1 cm, mientras que la lenteja tuvo el 85% de enraizamiento y menor promedio de raíces 5.7 con una longitud de 16.2 cm, por otro lado, se observó que aquellos tallos o esquejes que no se les puso nada que fue el testigo obtuvo solo el 40% de enraizamiento con un promedio de 5.2 raíces y una longitud de 10.2. Se ha reportado que los enraizadores orgánicos son insumos utilizados en todo tipo de cultivo y aplicaciones en campos agrícolas (Moposa, 2019) cuya finalidad es estimular el desarrollo y crecimiento de las raíces, mejorar la inmunidad, resistencia y, se estima que mejora la calidad de los cultivos tratados. Además, se han convertido en productos útiles para la producción de esquejes, debido que potencian la capacidad de producir un sistema radicular sano y vigoroso, que les permita desarrollarse rápidamente y ser usado de acuerdo con los intereses del productor o agricultor.

CONCLUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos se demuestra que el uso de enraizadores orgánicos ayuda al desarrollo de raíces en los tallos o esquejes ya que la propagación asexual es más sencilla de realizar en especies de cactáceas, además los enraizadores de origen natural abaratan los costos de insumos y no dañan al medio ambiente. Por lo tanto, el uso de compuestos orgánicos como alternativa biotecnológica favorece en enraizamiento y desarrollo de raíces en los esquejes de la cruceta que es una fuente de alimento que resiste la sequía y es una solución frente al cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa y la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana por el apoyo para esta investigación, así como a la dueña de la parcela.

REFERENCIAS

- Acosta, M. B. (2019). Como hacer enraizante natural. *Ecología verde*, 25 Abril, p. 2.
- Ayala, J. (2024). La seguridad alimentaria en México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales Y Humanidades*, 5(3), 1515-1525.
- Campos, C. C. (2020). Eficacia de enraizantes en la clonación de genotipos de *Coffea canephora* Pierre, En Manglalaralto, Santa Elena. Santa Elena: UPSE. Técnica de Machala, 43.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Costa Rica: Agronomía mesoamericana*. 15(2): 215-219
- Lucero, L. Z. (2014). Propagación asexual del litchi (*Nephelium litchi* Camb.) mediante diferentes técnicas de acodo aéreo, con tres enraizadores (hormona, agua de coco y miel). Tesis Ing. Universidad Mayor de San Andrés, la Paz Bolivia, 102.
- López, F. J. G. N. (2008). Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín* (61), 4347-4357.
- Heras, F. (2014). El agua de coco es rica en sustancias (hormonas) inductoras del crecimiento en las plantas. Tesis Ing. Machala Ecuador Universidad.
- Montero-Martínez, M.J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J.S., Prieto-González, R. y Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(2), 113-128.
- Moposa, F. (2019). Determinación de la efectividad de enraizadores en el crecimiento de la raíz en las plántulas de flor de Jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*) . Editorial, Universidad Católica de Santiafo de Guayaqui. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12546>.
- Nobel, P S, E. B. (2004). CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annu. Appl. Biol*, 144(1), 1-10.
- Plantas y Flores (2017). Hormonas de enraizamiento. <https://www.floresyplantas.net/hormonas-de-enraizamiento>
- Pérez, H, G. E. (2016). Opciones alimenticias para mitigar problemas de inseguridad alimentaria y nutricional en familias pobres de comunidades rurales del municipio de Tisma, Masaya Nicaragua. Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA, 118.

-
- Yañez, R.J.N.(2002). Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Buenavista Saltillo, Coahuila. Watts Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales, Buenavista Saltillo Coahuila. <http://wikifruti.wilispaces.com/file/view/Nutricion+en+hortalizas+y+frutales.pdf>
- Ramírez L. A, G. E., Zuluaga C. M., C. J. (2009). Evaluación de tres metodologías de rápida multiplicación de 30 accesiones de *Solanum tuberosum* L. Grupo Phurela. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellin, suplemento, 11-13.
- Ricalde, M.F., Andrade, J.L., Durán, R. (2010). Environmental regulation of carbon isotope composition and crassulacean acid metabolism in three plant communities along a water availability gradient. *Oecologia* 164, 871–880.
- Ulrich, L. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629–652.

Associate hemipterans on *Opuntia streptacantha* at Natural Protected area in Central Mexico

José Antonio Colio-Velazquez¹, Ana Lilia Muñoz-Viveros¹, Nadia Salomé Gómez-Domínguez², Luis Enrique Páez Gerardo¹, Saharay Cruz-Miranda¹, Juan Manuel Vanegas-Rico¹

¹Facultad de estudios Superiores Iztacala, UNAM, Estado de México, México, ²Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México. *Autor para correspondencia: entomologo.mexicano@gmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 12/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Los hemípteros son un grupo de insectos que incluyen especies fitófagas asociada a distintos sistemas agrícolas y naturales. Existen hemípteros asociados a nopales (*Opuntia* spp.) cultivados o silvestres, que pueden representar un problema fitosanitario. La mayoría de estos registros ocurre en cultivos o planta de ornato, pero se desconoce si son un problema ecológico en zonas naturales protegidas donde los nopales son uno de los principales elementos de vegetación. Inclusive, existen zonas donde las áreas naturales pueden colindar con zonas productoras de nopal. Por lo que se requieren estudios para conocer las especies de hemípteros fitófagas asociadas a estos nopales silvestres y evaluar si pueden ser un reservorio para infestar los cultivos. El estudio se realizó en el “Módulo Ecoturístico La Rinconada” correspondiente a l Parque Estatal Sierra Patlachique en Acolman Estado de México. Donde se realizaron muestreos y evaluaciones periódicas durante un año, de septiembre 2022 a septiembre del 2023, se designaron 6 sitios de colecta bajo dos condiciones: áreas perturbadas(P) y áreas conservadas (C). En ambos sitios se seleccionaron al azar 15 plantas por condición (n=30 plantas) donde se revisaron 5 cladodios/ planta/ muestreo. A los cuales se evaluó incidencia y severidad de las especies fitófagas asociadas al nopal *Opuntia streptacantha*. Se identificaron cinco especies fitófagas asociadas a nopal. La severidad de insectos escama fue similar para los sitios conservado y perturbado (U= 269644, p= 0.356). Se encontraron ejemplares pequeños de *O. ficus-indica* introducidos por los ejidatarios, donde se observó mayor abundancia de hemípteros (U= 42462.5, p= 0.001).

Palabras clave: Incidencia, severidad, *Dactylopius opuntiae*, chinches de nopal, regulación natural.

ABSTRACT

Hemiptera are a group of insects that include phytophagous species associated with different agricultural and natural systems. There are hemipterans associated with cultivated or wild prickly pears (*Opuntia* spp.) that can pose a phytosanitary problem. Most of these records occur in crops or ornamental plants, but it is unknown whether they are an ecological problem in protected natural areas where prickly pears are one of the main elements of vegetation. There are even areas where natural areas may border cactus-producing areas. Therefore, studies are needed to identify the species of phytophagous hemipterans associated with these wild cacti and to assess whether they may be a reservoir for infesting crops. The study was conducted at the ‘La Rinconada Ecotourism Module’ in the Sierra Patlachique State Park in Acolman, State of Mexico. Periodic sampling and evaluations were carried out over a year, from September 2022 to September 2023, and six collection sites were designated under two conditions: disturbed areas (P) and conserved areas (C). At both sites, 15 plants were randomly selected per condition (n=30 plants), where 5 cladodes/plant/sampling were reviewed. The incidence and severity of phytophagous species associated with the prickly pear *Opuntia streptacantha* were evaluated. Five phytophagous species associated with prickly pear were identified. The severity of scale insects was similar for the conserved and disturbed sites (U= 269644, p= 0.356). Small specimens of *O. ficus-indica* introduced by the ejido members were found, where a greater abundance of hemipterans was observed (U= 42462.5, p= 0.001).

Key words: Incidence, severity, *Dactylopius opuntiae*, prickly pear bugs, natural regulation.

INTRODUCCIÓN

The La Rinconada Ecological Module (MER) is in the north-eastern region of the Valley of Mexico in the municipality of Acolman, State of Mexico. It is classified as a municipal Protected Natural Area and forms part of the Sierra Patlachique State Park. The module covers an area of 20 hectares, where various plant organisms grow, notably the wild nopal cactus *Opuntia streptacantha*, which is the most abundant species of cactus within the MER (Government Gazette of the State of Mexico, 2000). The most common phytosanitary problems in nopales are caused by phytophagous insects, such as some organisms of the orders Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera and other groups of insects of different orders, which would generate economic losses linked to the costs of sanitary maintenance for the nopales in the park and surrounding areas. (Hunter et al., 1912; Johnston & Tryon, 1914; Alexander, 1925; Goeden et al., 1967; Mann, 1969; Badii et al., 2001; Vargas-Mendoza et al., 2008; Gaona et al., 2024). It is currently unknown whether wild nopales are reservoirs of pests that could affect crops located near the area. It is therefore necessary to monitor the incidence and severity of phytophagous organisms associated with *O. streptacantha*. Consequently, the study of this entomofauna is of relevance.

MATERIALES Y MÉTODOS

The study area is part of the Sierra Patlachique State Park, specifically the 'La Rinconada Ecotourism Module' (MER). It is in the north-eastern region of the State of Mexico on Chiconquiaco Hill (19°37'11.4"N, 98°51'54.2"W, at 2,460 m). Five samples were taken between April 2023 and February 2024. During a prospective visit, two site conditions were categorized: disturbed areas (P) and conserved areas (C), based on soil erosion, the presence of grasses induced for sports activities, the presence of metal structures or cement slabs, and the replacement of soil with igneous rock (Tezontle) placed on the paths.

In each condition, 15 plants were randomly selected (n=30 plants per visit), on which the incidence of phytophagous insects was recorded. A recording format was developed based on the characteristics of the species associated with nopal recorded in the literature. For heteropteran species, abundance was assessed by direct counts; in the case of colonial scale insects, five cladodes from each plant were inspected to estimate their infestation using a scale proposed by Vanegas-Rico et al. (2010): Based on this scale, we developed our own scale using the number of individuals per cladode as a reference, obtaining five levels of infestation and maintaining five cladodes per plant as the sample unit.

In the case of the genus *Hesperolabops*, a direct count was performed, and a scale was used to measure the damage caused by the disease called 'Cacarizo de nopal' (Palomares-Pérez et al., 2016). This was because these hemipterans can hide, but the damage is characteristic of this insect's feeding habits. Some of the organisms seen during the evaluations were collected, labelled and stored in glass jars with 70% ethanol for taxonomic determination at the Integrated Pest Management Laboratory of the Morphology and Function Unit of the FES-I.

The Kolmogorov-Smirnov test was applied to estimate the normality of the incidence, abundance, and/or infestation data. Subsequently, the X² and Mann-Whitney tests (95% confidence interval) were used to determine whether there were significant differences between the disturbance and conservation conditions. All statistical procedures were generated using IBM SPSS v25 software (IBM, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Five phytophagous species associated with *O. streptacantha* were identified, belonging to the families Coreidae, Dactylopiidae, Diaspididae, and Miridae. These species were *Chelinidea tabulata*, *Narnia femorata*, *Dactylopius opuntiae*, *Opuntiaspis philococcus*, and *Hesperolabops nigriceps*, respectively. Of these, only *N. femorata* was found exclusively in disturbed sites. The incidence of

insects was similar for both sites ($U= 38.0$, $p= 0.825$), in conserved sites (range 0 to 0.74) compared to disturbed sites (range 0 to 0.56). In both sites, the incidence of *O. philococcus* stood out.

The average abundance and infestation were low, with scale insect populations, *D. opuntiae* and *O. philococcus*, occupying less than 4% of the cladode area. The other hemipterans (*C. tabulata*, *H. nigriceps* and *N. femorata*) had an abundance that remained in the range of 0 to 0.28 and 0.13 to 1.1 insects per plant in conserved and disturbed sites, respectively. Spearman's analysis found that plant height was significantly correlated with insects in the disturbed site. The correlation was positive for the species *D. opuntiae* and *O. philococcus* ($p= 0.349$, $p=0.002$; $p= 0.604$, $p=0.000$) respectively, while the relationship was negative for *C. tabulata* ($p= -0.378$, $p=0.001$).

The species *C. tabulata* was present throughout the year, with both adults and immature individuals observed on the same cladode, mainly on young pads and fruits. It was also the most abundant species in both conserved and disturbed sites, with a value of 0.28 and 1.1 (range 0 to 15) insects/plant, respectively. The presence of this species predominated near areas with recreational structures, where there are nopales introduced by the ejido members, and which had a greater number of young pads. This confirms that there is a preference for young cladodes, both in wild and cultivated areas (Hunter et al., 1912; Goeden et al., 1967; Brailovsky et al., 1994; Badii and Flores, 2001; Delgadillo et al., 2008; Luna-Vázquez et al., 2012). The hemipteran correlated positively with *H. nigriceps* ($P=0.447$, $p=0.000$) in the conserved sites, while in the disturbed sites it correlated positively with *N. femorata* ($P= 0.301$, $p=0.009$). In both conserved and disturbed sites, the increase in size of the nopales cacti had a negative correlation with the abundance of *C. tabulata* ($p= -0.227$, $p=0.05$; $P= -0.378$, $p=0.001$).

Hesperolabops nigriceps had an incidence of 1% and 5% for conserved and disturbed sites, respectively. Both sites were classified as Class 1, slight damage (Range 0.00-8.36), according to the scale of Palomares-Pérez et al. (2016). The damage known as cacarizo del nopal was mainly visible due to the presence of pustules and apparently old damage. It should be noted that the damaged cladodes were all mature or among the oldest that could be found. In addition, the nymphs and adults of the Hemiptera were only found on these old pads, as is the case in other areas of the northeast of the Valley of Mexico and in nopal crops (Ruiz-Machuca et al., 2010; Palomares-Pérez et al., 2019).

Narnia femorata is not considered a primary pest for nopal crops; the main damage is chlorotic spots like those caused by *C. tabulata*. In the MER, nymphs and adults were observed on the same cladode throughout the sampling period, mainly on young pads and fruits. The incidence was low for disturbed sites (6%), while it was zero for conserved sites. Furthermore, the abundance in disturbed sites was 1 insect (range 0 to 6) organism/plant. The species is bivoltine (Mann, 1969; Brailovsky et al., 1994). Laboratory studies confirmed this condition, as this species has two cycles per year (Vessels et al., 2013), so it was possible to find adults and nymphs on the evaluated plants in the MER.

In terms of scale insect infestation, values of 3.7 insects/plant of *O. philococcus* were found, remaining at level 1, with some plants at level 2 and even 3. Meanwhile, *D. opuntiae* had values of 1 colony/plant, remaining at infestation level 1. In the region near the study area, there are different management practices for cultivated nopales, including chemical control using organophosphate products. In contrast, there are other sites without applications, where stability is reported between nopal pest populations and their predators (Cruz-Rodríguez et al., 2016). It is likely that this equilibrium condition occurs in the study area, where incidence and severity levels were low for all phytophagous species monitored. In terms of area conditions, the presence of phytophagous insects was similar. The main factor influencing species concentration in disturbed areas was the presence of young plants, as these were planted by the ejido members and park managers. Most phytophagous hemipterans associated with opuntias feed on young plants, as the plant generally does not exhibit sclerotization of stems and cladodes, as is the case with longer-lived plants.

CONCLUSIÓN

Among the nopales in the ANP, the species monitored do not qualify as pests due to the low incidence, abundance and severity values they achieved during the assessments. As mentioned, this is probably due to the conditions in the park in terms of the use of agrochemicals, which is scarce or non-existent. This provides ideal conditions for the natural enemies of each species to remain unaffected and, therefore, for populations to be regulated naturally. Furthermore, these data suggest that wild nopales are not a reservoir for pests and, on the contrary, may play a role as a reservoir for beneficial species that are the basis for the conservation of natural areas and the implementation of biological control through conservation.

ACKNOWLEDGMENT

The first author would like to thank the ejido committee for their cooperation and support, especially Mr. Arturo Cárdenas, of the Chipiltepec municipality committee, responsible for the maintenance and care of the MER together with the entire local community and PROBOSQUE of Texcoco region, who together facilitated the entry and completion of the project within the module and provided protection and medical services when required.

REFERENCES

- Alexander, W. B. (1925). Natural enemies of prickly pear and their introduction into Australia (Bulletin No. 29). Institute of Science and Industry (Australia). <https://publications.csiro.au/publications/publication/PIlegacy:1497>
- Badii, H. M., & Flores, E. A. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, 84(4), 503–505.
- Brailovsky, H., Barrera, E., Mayorga, C., & Ortega-León, G. (1994). Estadios ninfales de los coreidos del Valle de Tehuacán, Puebla (Hemiptera-Heteroptera) I. *Chelinidea staffilei*, *Ch. tabulata* y *Narnia femorata*. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología*, 65(2), 241–264.
- Cruz-Rodríguez, J. A., González-Machorro, E., Villegas-González, A. A., Rodríguez-Ramírez, M. L., & Mejía-Lara, F. (2016). Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology*, 45(3), 642–648.
- Delgadillo-Villanueva, I., González-Rodríguez, M. A., & Rivera-Hinojosa, R. (2008). Manejo fitosanitario del nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. CESAVEDF. https://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Manejo%20Fitosanitario%20del%20Nopal_0.pdf
- Gaona, E. G., Valle, R. V., Ojeda, L. A., & Ramos, K. V. D. L. (2024). Principales enfermedades del nopal. En *El nopal: principales plagas y enfermedades del nopal en México* (p. 67).
- Gobierno del Estado de México. (2000). *Gaceta del Gobierno del Estado de México*. <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2000/jun165.PDF>
- Goeden, R. D., Fleschner, C. A., & Ricker, D. W. (1967). Biological control of prickly pear cacti on Santa Cruz Island, California. *Hilgardia*, 38(16), 579–606.
- Goeden, R. D., Fleschner, C. A., & Ricker, D. W. (1967). Biological control of prickly pear cacti on.
- Hunter, W. D., Pratt, F. C., & Mitchell, J. D. (1912). The principal cactus insects of the United States (Bulletin 113). U.S. Department of Agriculture.
- Johnston, T. H., & Tryon, H. (1914). Report of the prickly-pear travelling commission 1 Nov. 1912–30 Apr. 1914. Government Printer.
- Luna-Vázquez, J., Zegbe-Domínguez, J. A., Mena-Covarrubias, J., & Rivera-Lozano, M. T. (2012). Manejo de plantaciones de nopal tunero en el Altiplano Potosino. INIFAP. https://www.researchgate.net/publication/292811134_Manejo_de_plantaciones_de_nopal_tunero_en_el_altiplano_Potosino
- Mann, J. (1969). Cactus-feeding insects and mites (Bulletin 256). Smithsonian Institution Press.
- Palomares-Pérez, M., Rodríguez-Leyva, E., Arenas-Ortega, L. D., Galicia, M. T. S., Ponce, G. V., & Alarcón, S. R. (2016). El cacarizo del nopal en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Milpa Alta, Ciudad de México. *Agrociencia*, 50(7), 877–887.

- Palomares-Pérez, M., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L. D., Santillán-Galicia, M. T., & Ramírez-Alarcón, S. (2019). Biology of *Hesperolabops nigriceps* plant bug on prickly pear cactus. *Southwestern Entomologist*, 44(1), 205–211.
- Ruiz-Machuca, M., Palomares-Pérez, M., Ramírez-Alarcón, S., Rodríguez-Leyva, E., & Brailovsky, H. (2010). Nuevos registros de *Hesperolabops nigriceps* Reuter (Hemiptera: Miridae) en el oriente del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 627–630.
- Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G., & Valdez, J. M. (2010). Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 415–433.
- Vargas-Mendoza, A., Flores-Hernández, A., & Basaldua-Suárez, J. F. (2008). Dinámica de las principales plagas de nopal *Opuntia* spp. en la zona semiárida de Querétaro. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1), 21–27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545066004>
- Vessels, H. F., Styrsky, J. D., & Lyman, D. (2013). Reproductive biology and voltinism of *Narnia femorata*. *Journal of Insect Science*, 13(1), 1–9.

Briquetas de biomasa de bagazo de agave mediante densificación a baja presión

Emilia Hernández-Contreras¹, Liliana Márquez-Benavides^{2*}

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Tarímbaro, Michoacán. *Autor para correspondencia: liliana.marquez@umich.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 14/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En México, el crecimiento exponencial de la producción de mezcal ha generado una mayor cantidad de bagazo de agave residual. Aunque la briquetación es una tecnología adecuada para generar briquetas a partir de biomasa, la alta inversión y el consumo energético de las briquetadoras de alta presión limitan su uso en proyectos pequeños. Por ello, las prensas manuales de baja presión (<5 MPa) son una opción viable por su fácil operación y bajo consumo energético. El objetivo principal de este estudio fue la producción y evaluación de las características físicas y térmicas de briquetas elaboradas con bagazo de agave residual y pulpa de papel, mediante densificación a baja presión. Además, se evaluó la viabilidad y el desempeño de esta tecnología de densificación. Las briquetas se elaboraron secando la materia prima, remojándola en agua durante 72 horas y mezclando el bagazo con aglutinante. Finalmente, las mezclas se densificaron con una prensa manual de baja presión y se secaron con energía solar. Se evaluaron la densidad, el tiempo de combustión, el contenido de cenizas y el poder calórico de las briquetas. Los resultados mostraron que, aunque otras investigaciones obtuvieron briquetas más densas, este estudio logró un mejor tiempo de combustión y características energéticas similares, lo que resalta la influencia del proceso de densificación. Se recomienda la reutilización de estos materiales como biocombustible sólido. La prensa manual de baja presión demostró ser útil para producir briquetas a partir de BAR y pulpa de papel.

Palabras clave: Biocombustible sólido, energía renovable, residuos.

ABSTRACT

In Mexico, the exponential growth of mezcal production has generated a larger amount of residual agave bagasse. Although briquetting is a suitable technology for generating briquettes from biomass, the high investment and energy consumption of high-pressure briquetting machines limit their use in small-scale projects. Therefore, low-pressure manual presses (<5 MPa) are a viable option due to their easy operation and low energy consumption. The main objective of this study was the production and evaluation of the physical and thermal characteristics of briquettes made with residual agave bagasse and paper pulp, using low-pressure densification. Furthermore, the viability and performance of this densification technology was evaluated. The briquettes were made by drying the raw material, soaking it in water for 72 hours, and mixing the bagasse with a binder. Finally, the mixtures were densified with a low-pressure manual press and dried with solar energy. The density, combustion time, ash content, and calorific value of the briquettes were evaluated. The results showed that, although other studies obtained denser briquettes, this study achieved a better combustion time and similar energy characteristics, which highlights the influence of the densification process. The reuse of these materials as solid biofuel is recommended. The low-pressure manual press proved to be useful for producing briquettes from BAR and paper pulp.

Key words: Solid biofuel, renewable energy, waste.

INTRODUCCIÓN

La producción de mezcal ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años. En 2023, la producción alcanzó los 12,239,655 litros (COMERCAM, 2024), lo que ha resultado en una creciente cantidad de biomasa de bagazo de agave residual (BAR), la cual se obtiene después de la extracción del jugo de agave para la producción de mezcal. No obstante, este crecimiento ha generado

un problema ambiental significativo debido a la gestión inadecuada de este residuo. Se estima que por cada litro de mezcal producido se generan de 1.67 a 2.39 kg de BAR (Caballero et al., 2020).

Debido a lo anterior, y al alto consumo de leña en el proceso de producción de mezcal, se ha prestado gran atención al uso de este residuo para elaborar briquetas, considerándolas un biocombustible sólido (BCS) de valor añadido. Las briquetas son BCS compactados a partir de biomasa residual, y presentan características de combustión similares a la madera (Orisaleye et al., 2024). Su producción se realiza mediante un proceso de briquetación que densifica la biomasa aplicando presión, la cual se clasifica en baja (< 5 MPa, requiriendo un aglutinante), media (5-100 MPa, con calentamiento) o alta (> 100 MPa, utilizando equipos especializados) (El-Haggar, 2007; Olugbade et al., 2023).

La producción de briquetas abarca diversas tecnologías, desde la escala industrial hasta la artesanal. A nivel industrial, la compactación de biomasa se realiza principalmente con prensas automatizadas de alta presión, adaptadas a diferentes tipos de biomasa y volúmenes de producción. No obstante, estos procesos requieren un alto consumo energético y una inversión considerable en equipos, lo que puede limitar su acceso. En contraste, la tecnología artesanal, basada en la densificación a baja presión, se presenta como una alternativa para reducir el consumo de energía y los costos, aunque la adición de un aglutinante es necesaria para garantizar la cohesión y resistencia de las briquetas (Yank et al., 2016). Los aglutinantes usados en la producción de briquetas se dividen en tres categorías: inorgánicos (como yeso, cemento y silicato de sodio), orgánicos (que incluyen subgrupos como biomasa, pasta de yuca, pulpa de papel reciclado, melaza, estiércol de vaca y almidón, alquitrán, lignosulfonatos y polímeros) y compuestos. Estos últimos se crean combinando dos o más tipos de aglutinantes para integrar sus beneficios (Zhang et al., 2018).

Si bien existen numerosos estudios sobre la producción de briquetas a partir de biomasa, la investigación sobre las briquetas fabricadas con BAR mediante densificación a baja presión es aún limitada. Por consiguiente, es importante continuar generando información relacionada con las briquetas elaboradas a baja presión. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo principal la producción y evaluación de las características físicas y térmicas de briquetas elaboradas a partir de una mezcla de bagazo de agave residual y pulpa de papel, con agua como aglutinante, mediante una técnica de densificación a baja presión. Adicionalmente, se buscó evaluar la viabilidad y el desempeño de la tecnología de densificación de baja presión utilizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procesamiento de materiales. Se recolectó BAR en Etúcuaro y papel usado desechado en Morelia, ambos municipios de Michoacán. Para la investigación realizada se eligió papel como aglutinante. La preparación de la materia prima incluyó el secado del BAR mediante energía solar y la reducción de tamaño del papel por trituración.

Preparación de la mezcla de materia prima. Posteriormente, se pesaron el BAR y el aglutinante, se remojaron durante 72 horas, se mezclaron y se compactaron. Las proporciones de BAR, aglutinante y agua utilizadas se presentan en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Proporciones de bagazo, aglutinante y agua por grupos de briquetas

Grupo	Bagazo (%)	Aglutinante (%)	Agua (l)
BAP1	70	30	5
BAP2	60	40	5
BAP3	50	50	5

Densificación mediante una prensa briquetadora manual de metal a baja presión. Las prensas de briquetado construidas con tecnología de briquetado de baja presión (<5MPa) funcionan principalmente con una palanca (Yank et al., 2016). La prensa manual de baja presión utilizada en la

presente investigación fue construida principalmente con componentes de metal por un herrero. Sus dimensiones son de 50 cm de alto, 30 cm de largo y 18.5 cm de ancho. El sistema de densificación es manual, por medio de una palanca de 50 cm. Con esta prensa se obtienen briquetas de 14 cm de alto, 30 cm de largo y 16 cm de ancho (Figura 1).



Figura 1. Equipo briquetador manual de baja presión.

Después de llenar la cámara de prensado con la mezcla de BAR, aglutinante y agua, se colocó la tapa y el tubo de seguridad y se empujó hacia abajo con la palanca para iniciar el proceso de densificación. Tras el proceso de densificación, se retiró el tubo de seguridad, mientras que la muestra de briquetas producidas se empujó manualmente hacia afuera de la parte superior de la cámara de prensado. Debido al uso de mezclas de materia prima húmedas, las muestras de briquetas producidas se obtuvieron en estado húmedo, por lo que fue necesario un proceso de secado mediante energía solar. Las briquetas resultantes se analizaron para determinar densidad, valor calorífico, tiempo de combustión y porcentaje de cenizas.

Caracterización de briquetas. La densidad de las briquetas se determinó utilizando su volumen y masa. La masa de cada briketa se midió con una balanza electrónica Ohaus Scout SCA210. Posteriormente, las briquetas se quemaron en una parrilla de carbón portátil Cuisinart CGG-190RB de 14 pulgadas. El tiempo de combustión de las briquetas se midió con un cronómetro, registrando el tiempo desde el inicio de la combustión hasta que se consumieron por completo. Es importante mencionar que las corrientes de aire estuvieron presentes durante este proceso. Finalmente, se registró el peso de las cenizas de cada briketa utilizando una balanza electrónica Ohaus Scout SCA210. Para determinar el poder calorífico, se recortaron muestras de 1 g de cada grupo de briquetas y se llevaron al laboratorio del departamento de ciencias de ingeniería química, donde se analizaron en una bomba calorimétrica Parr 6722.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación se dividió en dos partes. La primera se relaciona con los parámetros de densidad, tiempo de combustión, cenizas y poder calorífico. La segunda se centró en la evaluación de la tecnología de densificación de baja presión.

Parámetros de densidad, tiempo de combustión, cenizas y poder calórico. Se obtuvieron briquetas de 12 x 6 x 6 cm de ancho, largo y alto respectivamente. En la siguiente figura se observan las briquetas obtenidas por cada tratamiento.



Figura 1. Muestras de briquetas de bagazo y aglutinante obtenidas mediante densificación a baja presión. A) Briquetas del tratamiento BAP1. B) Briquetas del tratamiento BAP2. C) Briquetas del tratamiento BAP3.

Los valores de los resultados de densidad, tiempo de combustión, cenizas y poder calórico se muestran en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de densidad, tiempo de combustión, cenizas y poder calórico.

Grupo	Densidad (kg/m ³)	Tiempo de combustión (min)	Cenizas (%)	Poder calórico (kcal/kg)
BAP1	146.7	41.4	10.5	4,401.7
BAP2	166.8	47.4	10.3	4,471.1
BAP3	186.3	47.7	10.2	4,484.5

*Los datos representan el promedio por grupo de briquetas.

Análisis de briquetas de densificación a baja presión. El Cuadro 3 proporciona una comparación de los resultados obtenidos en este estudio con los de otras briquetas producidas mediante prensas briquetadoras de baja presión. Como se observa, las muestras analizadas por otros investigadores alcanzaron una mayor densidad. Sin embargo, el tiempo de combustión obtenido en este estudio superó al presentado por Huaman y colaboradores (2021). En términos energéticos, las briquetas producidas mostraron características similares a las de otros autores. No obstante, la tecnología de densificación a baja presión varía según las condiciones de densificación, el material aglutinante y el diseño de la prensa briquetadora (Brunerova et al., 2024).

Cuadro 3. Comparación de parámetros de briquetas a partir de briquetadoras de baja presión.

Materia prima	Presión (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Tiempo de combustión (min)	Cenizas (%)	Poder calórico (kcal/kg)	Referencia
Bagazo de agave y papel como aglutinante	-	146.7-186.3	41.4 - 47.7	10.2-10.5	4,401.7-4,484.5	Datos del autor
Cascara de arroz y aglutinantes como agua residual de yuca, polvo de arroz y goma de tallo de okra.	4.2	382.4 - 471.3	-	-	3,823.9	(Yank et al., 2016)

Materia prima	Presión (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Tiempo de combustión (min)	Cenizas (%)	Poder calórico (kcal/kg)	Referencia
Fibra de mesocarpio de coco, piel de bambú, hojas de piña y bagazo de caña de azúcar. Papel triturado como aglutinante	0.5	$\bar{X}$ 204.30 $\pm$ 15.73	-	1.29 – 6.71	4,428.20 - 4,872.45	(Brunerova et al., 2024)
Jacinto de agua con polvo de carbón vegetal y estiercol de vaca	1	-	-	17.17 – 23.2	3,872.8 – 5,155.4	(Okia et al., 2016)
Bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y aglutinantes.	-	220.49 – 439.52	21.1 - 56.16	9.23 - 11.51	-	(Huaman et al., 2021)

Estimación de costos a partir de un método de densificación a alta y baja presión. Para determinar si la densificación a baja presión representa una alternativa a la densificación de alta presión, resulta esencial realizar una estimación de los costos iniciales. En este sentido, el Cuadro 4 presenta los costos iniciales de los equipos de briquetado tanto a nivel industrial como artesanal.

Cuadro 4. Estimación de costos iniciales.

Método	Cantidad	Costo (M.N)
Densificación mediante baja presión (escala artesanal)	Equipo briquetador	\$44,016.00
Densificación mediante alta presión (escala industrial)	Equipo briquetador y combustible	\$147,200.00

Costo del equipo briquetador de baja presión desde nuestra experiencia y costo de equipo industrial mediante búsquedas de ventas en línea.

CONCLUSIÓN

En general, se recomienda la reutilización de los materiales, considerando su origen, y su reutilización como BCS, para mantener los principios de la gestión de residuos. Además, se puede destacar que las muestras de briquetas obtuvieron un alto potencial de generación de energía, debido a su satisfactorio poder calorífico. La prensa briquetadora manual de baja presión demostró ser útil en el proceso de producción de briquetas. Sin embargo, se observó una limitación en el bajo nivel de presión ejercida, lo que resultó en una baja densidad de las briquetas. Por lo tanto, se sugiere aumentar la presión en el proceso de densificación en futuras investigaciones. Cabe resaltar que esta tecnología para la generación de energía y la gestión de residuos es económica y fácil de operar, en comparación con la tecnología de alta presión.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa y la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana por el apoyo para esta investigación, así como a la dueña de la parcela.

REFERENCIAS

- Brunerová, A., Brožek, M., Van Dung, D., Phung, L. D., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Chaloupková, V., & Roubík, H. (2024). Manual wooden low-pressure briquetting press: An alternative technology of waste biomass utilisation in developing countries of Southeast Asia. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140624.
- Caballero, C. M., Montes B. J. L., & Silva R. M. E. (2020). Prototipo de separadora de pulpa y fibra de bagazo residual de la producción de mezcal. *Memorias del Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, 6(1). https://somim.org.mx/memorias/memorias2020/articulos/A1_127.pdf
- Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. (COMERCAM). (2024). *Informe estadístico 2024*.
- El-Haggar, S. M. (2007). Sustainability of agricultural and rural waste management. En *Elsevier eBooks* (pp. 223–260).
- Huaman, R. H., Ramírez, S. M. M., & Surichaqui, U. R. J. (2021). Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021. *Ingeniería Ambiental*, Universidad Continental.
- Okia, D. O., Ndiema, C. K., & Ahmed, M. S. (2016). Physical and chemical properties of water hyacinth based composite briquettes. *World*, 4, 28–36.
- Olugbade, T. A., Olanrewaju, T. A., & Alabi, A. B. (2023). A review of low-pressure densification of biomass materials for briquette production. *Biofuels*, 1–12.
- Orisaleye, J. I., Jekayinfa, S. O., Ogundare, A. A., Shittu, M. R., Akinola, O. O., & Odesanya, K. O. (2024). Effects of process variables on physico-mechanical properties of Abura (*Mitrogyna ciliata*) sawdust briquettes. *Biomass*, 4(3), 671–686.
- Yank, A., Ngadi, M., & Kok, R. (2015). Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications. *Biomass and Bioenergy*, 84, 22–30.
- Zhang, G., Sun, Y., & Xu, Y. (2017). Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 477–487.

Cazahuate (*Ipomoea* spp.) proveniente de la selva baja caducifolia de Morelos: Mecanismo de sobrevivencia

Miguel Ángel Abundez-García^{1*}, Edwin Javier Barrios-Gómez², Jaime Canul-Ku², Fernando I. Alvear-Salazar¹, Alejandro Pérez-Rosales²

¹Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos, ²INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatepec. *Autor para correspondencia: abundezmiguelangel@gmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 05/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En México la selva baja caducifolia se considera un ecosistema biodiverso. Alberga especies en peligro de extinción como la especie *Ipomoea* spp (Cazahuates). Existen diversas especies color amarillo (*I. murucoides*), blanco (*I. arborescens*) y rosado (*I. pauciflora*), y esto los hacen distintivos dentro de la vegetación. Presentan un gran impacto en la fauna que habita en la selva, ya que la flor del cazahuate amarillo es el alimento predilecto del venado cola blanca. Existen limitantes en la propagación del cazahuate que ponen en riesgo su extinción; como las invasiones de zonas protegidas, tala indiscriminada, y efectos del cambio climático, por lo que es fundamental reforestar la selva. Por ello, el objetivo fue determinar el potencial de germinación del cazahuate amarillo, blanco y rosado; así como, evaluar la imbibición de la semilla bajo condiciones de laboratorio. Se utilizaron cajas de plástico transparentes de 20 cm de largo por 12 cm de ancho con toallas sanitas por dentro, se colocó 15 semillas con 4 repeticiones por cada color de flor de cazahuate. Se registró el porcentaje de germinación a los 7, 14 y 21 días. Hubo diferencias significativas en el porcentaje de absorción de agua donde el cazahuate rosado obtuvo un 45.9% más de su peso y en la germinación el cazahuate amarillo alcanzó un 46% en el día 14. A los 21 días no hubo cambios en la germinación. El cazahuate rosado tuvo mayor peso seco de semilla y mayor porcentaje de absorción de agua.

Palabras clave: Propagación, cazahuate, imbibición.

ABSTRACT

In Mexico, the lowland deciduous forest is considered a biodiverse ecosystem. It is home to endangered species such as *Ipomoea* spp. (Cazahuates). There are several species of yellow (*I. murucoides*), white (*I. arborescens*), and pink (*I. pauciflora*), which make them distinctive within the vegetation. They have a significant impact on the forest's fauna, as the flower of the yellow cazahuate is the favorite food of white-tailed deer. There are limitations to the spread of cazahuate that put its extinction at risk, such as invasions of protected areas, indiscriminate logging, and the effects of climate change. Therefore, reforestation is essential. Therefore, the objective was to determine the germination potential of yellow, white, and pink cazahuate, as well as to evaluate seed imbibition under laboratory conditions. Transparent plastic boxes measuring 20 cm long by 12 cm wide, lined with sanitary napkins, were used. Fifteen seeds were placed in each box, with four replicates for each color of cazahuate flower. Germination percentages were recorded after 7, 14, and 21 days. There were significant differences in water absorption percentages, with the pink cazahuate gaining 45.9% more of its weight, while the yellow cazahuate reached 46% on day 14. There were no changes in germination after 21 days. The pink cazahuate had a higher seed dry weight and a higher percentage of water absorption.

Key words: Low Deciduous Forest, Cazahuate, inhibition.

INTRODUCCIÓN

Los cazahuates (*Ipomoea* spp) son especies arbóreo-arbustivas propias de la selva baja caducifolia de México (Martínez, 1979). Pertenecen a la familia Convolvulaceae, la cual comprende de 1500 a 1650 especies (Rzedowski & Rzedowski, 2001). La familia también incluye algunas especies trepadoras, arbustivas, herbáceas, arbóreas e incluso parásitas. Una característica muy particular es la presencia de látex en diversos órganos, el cual forma parte de la defensa química de la planta. El látex contiene

resinas glicosídicas y alcaloides pirrolizidínicos, ambos con diversas propiedades biológicas (Dorado-Ruiz et al., 2016). El cacahuate comprende algunas especies como *I. murucoides* (amarillo), *I. arborescens* (blanco), *I. pauciflora* (rosado), cuya distinción es su vistosa floración (Valencia-Díaz, 2021). Tienen un gran impacto en la fauna que habita en la selva, ya que la flor del cacahuate amarillo es el alimento predilecto del venado cola blanca. La comprensión de los procesos de germinación en *Ipomea* spp., no solo tiene implicaciones teóricas sino también prácticas. La regeneración natural de la selva baja caducifolia depende en gran medida de la capacidad de germinación y el establecimiento de sus especies vegetales. Las estrategias de conservación y de restauración de estos ecosistemas deben considerar los factores que afectan la germinación para ser efectivas. El estudio de la germinación en *Ipomea* spp. en la selva baja caducifolia proporciona una visión integral de los mecanismos ecológicos que permiten la persistencia de este ecosistema, factores como la temperatura, la humedad, la luz y las interacciones bióticas juegan roles fundamentales en este proceso, y su comprensión es clave para la conservación y restauración de estos hábitats (Janzen, 1988). Existen limitantes en su propagación que ponen en riesgo de extinción la especie, como invasiones de zonas protegidas, tala indiscriminada, y efectos del cambio climático, por lo que es fundamental implementar reforestaciones. Bajo este contexto el objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de germinación de los cacahuates amarillo, blanco y rosado; así como, evaluar la imbibición de la semilla bajo condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de germoplasma. Se realizó la colecta de semillas de tres distintas especies de cacahuate (amarillo, blanco y rosa) en tres localidades del estado de Morelos (Figura 1, Cuadro 1). El método de colecta fue dirigido para lo cual se realizaron recorridos en estas localidades. Se recogió la semilla que se encontró al momento de llevar a cabo esta actividad.



Figura 1. A) Árboles de cacahuate; B) Amarillo y rosa; C) Capsulas donde se encuentra su semilla.

Cuadro 1. Localidades de colecta de semilla de cacahuate en Morelos.

Localidad	Huaxtla	Zacatepec	Alpuyeca
Ubicación geográfica	18.380381, -99.045786	18.650519, -99.198339	18.74447, -99.256016
Altitud (msnm)	1213	910	1049
Clima	Cálido subhúmedo	Cálido subhúmedo	Cálido subhúmedo
Vegetación	Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia
Tipo de suelo	Regosol	Vertisol	Vertisol

Pruebas de imbibición. Para las pruebas de imbibición se separaron cuatro muestras de 15 semillas en cajas plásticas transparentes de 12x20cm, se colocó papel absorbente (toallas sanitas) humedecidas con agua previamente combinada con un fungicida (Captan®) 3 g/L de agua para evitar el crecimiento de algún hongo al momento. Se pesó cada una de las semillas (4 repeticiones de las 3 variedades), el peso se realizó cada 24 horas durante 14 días; tomando como peso inicial, el peso en seco de las semillas; finalizando la prueba cuando estas iniciaron el proceso de germinación o bien cuando mantuvieron un peso constante, registrando en ambos casos como peso final.

Germinación. Se utilizaron 200 semillas por especie y se sembraron en sanitas dobladas con humedad constante y temperatura de 25 °C durante 21 días. Se mantuvieron en una cámara de germinación Modelo MIR-253 marca SANYO®. Se aplicó Captan® 3 g/L de agua para evitar la presencia de hongos. Se registró el porcentaje de germinación a los 7, 14 y 21 días.

Análisis estadístico. Con la información de las variables respuesta registradas se realizó análisis de varianza y comparación de medias a través de Tukey ($\alpha = 0.05$) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Instituto, 2016). El porcentaje de germinación previo al análisis se transformó los datos mediante arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas en el peso seco de las semillas y el porcentaje de absorción de agua entre los tipos de cacahuates con diferente color (Cuadro 2). El incremento en el porcentaje de peso ganado por la absorción de humedad de cada uno de los tipos de cacahuete hasta el día 14 fue: amarillo 7.3 %, blanco 12 % y rosado 45.9 %.

Cuadro 2. Peso promedio de las tres especies de *Ipomea* spp.

Especie	Peso promedio		
	Peso en seco (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
Cacahuete blanco	0.07115	0.08086	0.0711
Cacahuete amarillo	0.07856	0.08473	0.0061
Cacahuete rosa	0.11319	0.20942	0.0962

Es importante señalar que el peso ganado por el cacahuete rosado fue cuatro y seis veces respecto al blanco y amarillo. Probablemente se considere como una ventaja reproductiva para este tipo de cacahuete y sea un mecanismo de sobrevivencia. En lo que respecta a las pruebas de germinación se encontraron diferencias significativas entre las tres especies a los 7, 14 y 21 días. De las 200 semillas utilizadas, en el día 7 el cacahuete rosado (CR) tuvo un 27.5 % de germinación, el amarillo (CA) un 20 %, y el blanco (CB) un 7 %. El día 14, únicamente el cacahuete amarillo mostró incrementos significativos en su germinación, con 46 %. Lo que indica una posible germinación más prolongada con respecto a las otras especies, de acuerdo con lo reportado por Moreno-Casasola et al. (2011). A los 21 días no hubo cambios en cuanto a la germinación. Se observaron porcentajes de germinación más bajos que los documentados en especies silvestres (50 %) de *Ipomoea*. El inicio de la germinación en todas las especies sucedió al cuarto día.

CONCLUSIÓN

En la prueba de imbibición el cacahuete rosado tuvo mayor peso seco de semilla y tuvo el mayor porcentaje de absorción de agua, por lo que se infiere que esta especie pueda llegar a tener una germinación en menor tiempo y utilizarse en programas de reforestación. En cambio, el cacahuete amarillo presentó el mayor porcentaje de germinación en el día 14.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Del Sur Del Estado De Morelos (UTSEM) y al Campo Experimental Zacatepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). A los investigadores Dr. Edwin Javier Barrios Gómez y Dr. Jaime Canul Ku.

REFERENCIAS

- Dorado-Ruiz, M., et al. (2016). *Flora ilustrada del Estado de Morelos. Convolvulaceae del trópico seco*. Fascículo 1. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Janzen, D. H. (1988). *Tropical dry forests*. En *Biodiversity* (pp. 130–137). Washington, DC: National Academy Press.
- Martínez, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica.
- Moreno Casasola, P., et al. (2011). Germinación y supervivencia de dos especies de acahual de selva baja para restaurar dunas costeras. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 19–36.
- Rzedowski, G. C. de, & Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México* (2a ed.). Instituto de Ecología & CONABIO.
- SAS Institute. (2016). *SAS/STAT User's Guide* (Release 9.1). SAS Institute Inc.
- Valencia-Díaz, S. (2021). Importancia y usos de los cazahuates y quiebraplátos. *Inventio, La génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 14–21.

Crecimiento vegetativo del cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) con el método de siembra directa y plántulas de vivero en FAE-UNI, Masaya, Nicaragua

Cándido Leoncio Vanegas-Carrero^{1*}, Nelary Veroska Romero-Vanega¹, Andrés de Jesús Hernández-Rojas¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería. UNI Managua, Nicaragua. *Autor para correspondencia: candido.vanegas@daca.uni.edu.ni

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 09/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El cultivo de plátano en Nicaragua reporta cifra récord en producción durante 2024, alcanzó una producción de 252.8 millones de unidades. En Nicaragua se ve afectado por el cambio climático, especialmente por el aumento de la temperatura, la mayor intensidad de las lluvias y la proliferación de plagas y enfermedades. La calidad genética de la semilla afecta la capacidad de la planta para producir frutos, la cantidad de frutos por racimo, y la uniformidad en el tamaño de los dedos. Las plantas que se propagan a partir de semilla de baja calidad pueden ser más susceptibles a enfermedades, lo que afecta la producción y la calidad del plátano. Una de las alternativas más prometedoras para enfrentar la problemática, es el conocimiento de la propagación utilizando métodos tradicionales como es la selección de semilla de plantas sanas y adecuar la desinfección correctamente así también el manejo de las plantas en las primeras seis o siete semanas en vivero con sustrato libre de patógenos. En este trabajo, utilizamos el material de siembra, cormos de plantas sanas de la Finca Experimental de la UNI (FAE-UNI), para ambos cultivares. El material de siembra se le suministro tratamiento químico a la semilla, fungicida e insecticida. Esta investigación desarrollada en la Finca Agrícola Experimental de la UNI, enfocada en la evaluación del desarrollo vegetativo de cultivares de plátano de siembra directa y de área de siembra de plántulas provenientes de viveros, los resultados intermedios que estamos dando a conocer, contribuye a la comprensión de la relación semilla sana-desarrollo vegetativo y los resultados fortalecen la transferencia de tecnologías para estudiantes y productores, divulgados en talleres aprovechando los espacios de los convenios de colaboración entre con productores.

Palabras clave: Plátano, CEMSA, vivero, cormo, desarrollo.

ABSTRACT

Record Banana Production in Nicaragua in 2024 reached a record production of 252.8 million units. This achievement highlights the importance of bananas as a staple food in the Nicaraguan diet and as a key driver of the national economy. However, the crop faces significant challenges due to climate change, including rising temperatures, more intense rainfall, and the proliferation of pests and diseases. An additional critical factor is the genetic quality of planting material, which directly affects the plant's ability to produce fruit, the number of fruits per bunch, and the uniformity of finger size. Plants propagated from low-quality seed material are more susceptible to disease, which negatively impacts both yield and fruit quality. One of the most promising strategies to address this issue is propagation using traditional methods, such as selecting seed from healthy plants and ensuring proper disinfection of planting material, along with careful management during the first six to seven weeks in a nursery using pathogen-free substrates. In this context, a research project was carried out at the Experimental Agricultural Farm of the National University of Engineering (FAE-UNI). Healthy plant corms were used as planting material for both cultivars under study. The seed material was treated with fungicides and insecticides prior to planting. The study focused on evaluating the vegetative development of banana cultivars established through direct planting and through nursery-grown seedlings. The intermediate results obtained contribute to a better understanding of the relationship between healthy seed and vegetative development, and support technology transfer to students and producers. These findings are being shared through workshops organized as part of collaboration agreements between the university and local producers.

Key words: Banana, CEMSA, nursey, corm, development.

INTRODUCCIÓN

El cultivo y la producción de plátano en Nicaragua es una actividad que representa importantes ingresos a las familias e industrias que lo cultivan y procesan, provee una importante fuente de empleo y desde inicios del 2004 en Nicaragua, se ha tornado en un rubro de exportación para mercados regionales e internacionales, con el inicio de la actividad exportadora hacia El Salvador, Honduras, Estados Unidos y Canadá; el plátano, tiene alta demanda a nivel mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo, forma parte de la dieta alimenticia básica de sus habitantes. Es un producto tropical de alta importancia económica y tiene la ventaja que puede consumirse en diferentes estados de madurez (Martínez, 2011).

La producción de plátano en Nicaragua es de gran relevancia en el ámbito económico y social, siendo cultivados en áreas grandes y pequeñas desarrolladas por productores con recursos limitados. La obtención de plántulas de calidad es un factor clave que garantiza altos rendimientos y una producción sostenible. Sin embargo, se ha conllevado en los tiempos de tradiciones en mejorar los métodos de cultivar la producción con mejor rendimiento en su desarrollo y la calidad del fruto con la implementación de nuevas técnicas, y se implementa como el uso de casa sombra, esto se busca presentar un panorama general de los estudios realizados y proporcionar una base sólida para futuras investigaciones (Coto, 2009).

La propagación vegetativa, particularmente mediante la siembra de cormos en bolsas o contenedores, constituye una de las técnicas más empleadas en el establecimiento de plantaciones debido a su facilidad de manejo, alta tasa de prendimiento y mayor control inicial de las condiciones de crecimiento. Este método permite un desarrollo temprano del sistema radicular, una selección más precisa del material vegetal y una mayor uniformidad de las plántulas antes de su trasplante al campo definitivo. Asimismo, reduce el riesgo de pérdidas por factores edáficos adversos, patógenos del suelo o estrés hídrico durante las primeras etapas de crecimiento (Osuna-Fernández et al., 2017). No obstante, a pesar de sus ventajas operativas, resulta indispensable evaluar de manera sistemática su eficiencia agronómica, fisiológica y económica en comparación con la siembra directa de cormos en campo. La siembra directa, aunque expone al material vegetal a mayores riesgos iniciales, puede favorecer un establecimiento más rápido en el suelo definitivo, una mejor exploración radicular en profundidad y una reducción en los costos asociados a infraestructura, sustratos, riego y mano de obra en vivero.

Por ello, es necesario generar información experimental que permita comparar ambos sistemas en términos de porcentaje de brotación y supervivencia, vigor vegetativo, tasa de crecimiento, tiempo a la floración o fructificación, rendimiento por planta y calidad final del fruto. Adicionalmente, deben considerarse variables como la incidencia de plagas y enfermedades, la uniformidad del cultivo, la eficiencia en el uso del agua y nutrientes, así como los costos de producción y la rentabilidad por unidad de superficie. La obtención de estos datos permitirá ofrecer a los productores locales de la región un respaldo técnico-científico sólido para la toma de decisiones, orientado a la adopción de prácticas de propagación que optimicen el desarrollo de las plantaciones, incrementen la productividad y mejoren la calidad comercial del fruto. De este modo, se contribuirá al fortalecimiento de los sistemas productivos locales, a la sostenibilidad del cultivo y a la mejora de los ingresos de los agricultores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades de campo se realizaron en la Finca Agrícola Experimental FAE.UNI de la Universidad Nacional de Ingeniería, ubicado en el municipio de Masaya, departamento de Masaya, Nicaragua, en el periodo de junio del 2024 a enero del 2025. En el diseño experimental se consideraron dos métodos de propagación la primera es la siembra de los cormos directas al campo y

la segunda es la producción de plántulas en bolsas dentro de una casa sombra de la FAE-UNI y posteriormente el trasplante en campo.

Muestreo de las variables de desarrollo del cultivar de plátano variedad CEMSA ¾. Para la toma de muestras de las variables de desarrollo se seleccionó cuatro surcos por método de propagación. Con el apoyo técnico de dos estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Agrícola, el muestreo de las variables se realizó una vez al mes, durante siete meses. Las variables de desarrollo vegetativo consideradas para el seguimiento fueron: altura de planta (cm), diámetro de tallo (cm), número de hojas, ancho de la hoja (cm) y Longitud de la hoja (cm). De manera separada se plantaron las áreas de siembra directa de los cormos y de la siembra de plántulas del vivero para comparar el desarrollo vegetativo. Para la recolecta de los datos se utilizaron cinta métrica, regla graduada en centímetros y pulgadas, lápiz, hoja de papel, marcador.

Evaluación de las variables de desarrollo monitoreadas. Los datos recolectados mensualmente se fueron digitando en una table de Excel, para el análisis comparativo y la obtención de resultados, (gráficos de barra). Este complemento, dentro de Excel, nos permitió comparar las medias de los grupos de variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Varios estudios se han centrado en los métodos de siembra utilizando la propagación *in vitro*, para la purificación del material vegetal y reducir afectaciones de enfermedades con síntomas visibles o reconocibles, a diferencia de nuestro abordaje, en el que se utilizó la técnica de propagación utilizando el cormo en la siembra directa y de manejo en vivero, lo que esta última permite la selección de plantas homogéneas y sanas que posteriormente son trasplantadas a campo logrando uniformidad y ventajas ante la presencia de malezas y adecuada fertilización. En la actualidad la producción de plántulas mediante la técnica *in vitro* facilitado por el INTA una producción de 1.6 millones de plantas (INTA, 2023). A pesar de los avances, la adopción de esta tecnología enfrenta desafíos, especialmente para pequeños productores, debido a los costos iniciales asociados a la producción *in vitro*. De esta manera se logró determinar que el cultivar de plátano proveniente de la siembra de plántulas de vivero, demostró un mayor desarrollo vegetativo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables de desarrollo vegetativo siembra directa y siembra plántulas de vivero.

Variables	Días a muestrear (cm)							
	9-jul	31-jul	21-ago	31-ago	25-oct	8-nov	1-dic	8-ene
Altura de planta	44.2	53.5	61	66.3	94.5	96	124.7	139.8
Diámetro de tallo	5.2	10.3	13.2	20.4	28.8	33.7	40.7	49.7
Longitud de la hoja						93.3	97.5	105.7
Ancho de la hoja							51.3	57.1
	24-jul	31-jul	21-ago	31-ago	25-oct	8-nov	1-dic	8-ene
Altura de planta	45.8	47.3	51.2	62.5	125.3	149.7	169.5	178.3
Diámetro de tallo	10.8	15.3	19.8	22.7	42.3	46.7	54	63.9
Longitud de la hoja						120.2	121.7	130
Ancho de la hoja							61.4	69.6

Se puede notar que el cultivar más desarrollado fueron las plantas provenientes de la siembra de plántulas de vivero, vigorosamente la diferencia más marcada entre tipos de cultivares se observó el incremento numérico en las variables de desarrollo (Figura 1). Es importante destacar la siembra en campo fue retrasada por efectos del clima, exceso de precipitación, la demora fue de 57 días lo que con la adaptación.

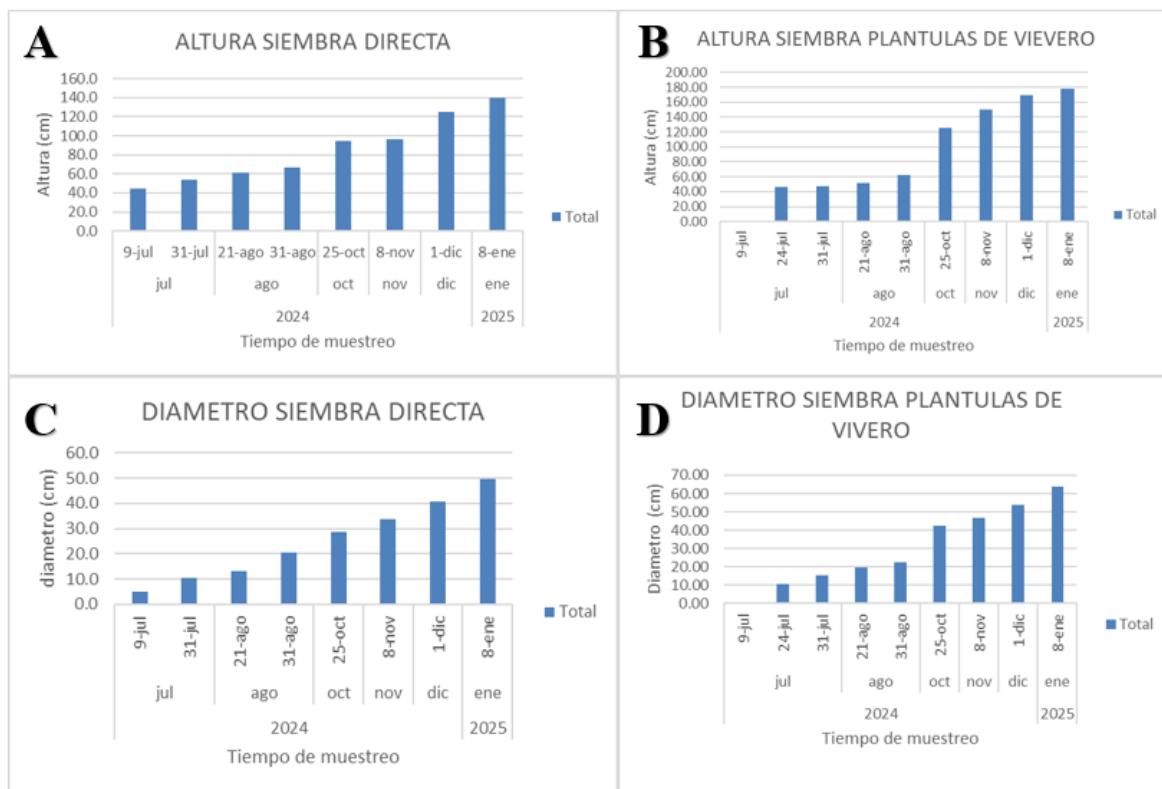


Figura 1. A) Datos promediados de la variable de desarrollo altura método siembra directa; B) variable de desarrollo altura método plántulas de vivero; C) variable de desarrollo diámetro método siembra directa; D) variable de desarrollo diámetro método plántulas de vivero.

CONCLUSIÓN

Haciendo un enfoque de investigación de tecnología apropiada a las condiciones de una finca tradicional nicaragüense y el manejo de las plántulas en vivero protegido por malla sarán, se logró obtener resultados que permiten la evaluación comparativa de ambos métodos de siembra. El manejo de ambos cultivares permitió conocer con precisión que se puede evitar el estrés en las plántulas de plátano postrasplante si se cumple con los días de permanencia en el vivero no mayor a 7 semanas según lo manifestado. La siembra del cultivar de plátano en campo con plántulas revela que hay ventajas competitivas al ser plantadas en proceso de crecimiento, lo que evita que las malezas le afecten directamente, lo que indica que el aporte al cultivar de plátano con el método de siembra de cormos en bolsas de germinación dentro de invernadero casa sombra, otorgó a las plantas en general un mayor tamaño y vigorosidad en su estructura.

AGRADECIMIENTOS

Universidad Nacional de Ingeniería. Finca Agrícola Experimental UNI.

REFERENCIAS

- Coto, J. (2009). Guía para multiplicación rápida de cormos de plátano y banano. La Lima, Cortés, Honduras: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2023). Disponibilidad de plantas in vitro de plátano en Nicaragua. INTA. <https://inta.gob.ni/disponibilidad-de-plantas-in-vitro-de-platano/>.
- Martínez, N. G. 2011. Análisis de eficiencia técnica-económica de los pequeños y medianos productores de plátano de Altamira, Isla de Ometepe, Rivas (2009–2010) [Tesis de licenciatura]. UNAN-Managua.

Osuna-Fernández, H. R., Osuna-Fernández, A. M., Fierro-Álvarez, A. (2017). Manual de propagación de plantas superiores. Universidad Nacional Autónoma de México. 91p.

Dieta y endoparásitos de *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae)

Sara Paulet Hernández-Silvestre¹, Norma Mora-Collado¹, Rosalía Núñez-Pastrana¹, Ricardo Serna-Lagunes^{1*}, Benjamín Noguera-Torres², Gregorio Hernández-Salinas³

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana., ²Departamento de Parasitología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, ³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

*Autor para correspondencia: rserna@uv.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 12/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Cuniculus paca tiene interés productivo en Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), por lo que conocer su dieta y endoparásitos es necesario para su manejo adecuado. Durante marzo-mayo (secas) y mayo-septiembre (lluvias) de 2021, se estimó la población del tepezcuintle (*C. paca*) y se recolectaron sus heces en la UMA de Zentla, Veracruz; en laboratorio, a nivel microscópico, se visualizaron, midieron, contabilizaron e identificaron los endoparásitos a nivel familia. Las especies y la cantidad ofertada/consumida de la dieta se obtuvo mediante entrevista, y el potencial efecto antihelmíntico, aporte nutricional y proteico, se obtuvo de literatura. La población fue de 64 tepezcuintles, y de 138 muestras de heces, se determinó la presencia de 10 morfoespecies de endoparásitos de la familia Strongylidae, con una prevalencia mayor en lluvias (60%) que secas (40%). La dieta compuesta por 16 especies de plantas conformó ítems de flores, semillas, frutos, raíces, corteza, ramas, hojas y tubérculos.

Palabras clave: Antihelmíntico, *Cuniculus paca*, desparasitante, dieta, México.

ABSTRACT

Cuniculus paca has productive potential in Management Units for the Conservation, Management, and Sustainable Use of Wildlife (UMA), making it necessary to understand its diet and endoparasites for proper management. During March–May (dry season) and May–September (rainy season) 2021, the population of the paca (*C. paca*) was estimated and its feces were collected in the UMA of Zentla, Veracruz; in the laboratory, at the microscopic level, endoparasites were visualized, measured, counted, and identified to the family level. The species and the amount offered/consumed in the diet were obtained through interviews, and the potential anthelmintic effect, nutritional contribution, and protein content were obtained from the literature. The population consisted of 64 pacas, and from 138 fecal samples, the presence of 10 morpho-species of endoparasites of the family Strongylidae was determined, with a higher prevalence in the rainy season (60%) than in the dry season (40%). The diet, composed of 16 plant species, included items such as flowers, seeds, fruits, roots, bark, branches, leaves, and tubers.

Key words: Anthelmintic, *Cuniculus paca*, dewormer, diet, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El tepezcuintle (*Cuniculus paca*) es un roedor histricomorfo de tamaño mediano y de hábitos nocturnos, cuya distribución natural abarca desde Centroamérica hasta Sudamérica (Padilla-Gómez et al., 2019); cuenta con meta-poblaciones disyuntas en hábitats nativos de México hasta el sur de Brasil y norte de Paraguay (Aranda, 2012). Las comunidades rurales le dan usos a *C. paca*, como el consumo de su carne, considerada como la más fina, ya que cuenta con una consistencia suave y un sabor agradable (Montes, 2005). Es utilizado como mascota y su reproducción en cautiverio fomenta su conservación y disminuye los efectos de la caza ilegal en sus zonas de distribución natural; además, se considera viable para repoblar áreas donde sus poblaciones han sido afectadas por la cacería o la transformación de su hábitat mediante UMAs (Gallina et al., 2012). La comercialización legal de la

especie se considera rentable por la venta de su carne en pie, piel, crías y otros subproductos como la venta de cráneos y artesanías, además de que su manejo en cautiverio es de bajo costo (Montes, 2005).

El estudio y conocimiento de los parásitos de *C. paca* en cautiverio es necesario como un diagnóstico de la calidad, salud y bienestar en diferentes etapas del desarrollo de *C. paca*, así como determinar la época del año donde se presenta la mayor prevalencia, y los factores de manejo que podrían influir en la presencia de parásitos (Pardo & Buitrago, 2005). En este sentido, las poblaciones silvestres de *C. paca* presentan parasitosis y cuando estos animales se encuentran en cautiverio como en las UMA (Ortega, 2011), sus poblaciones se convierten en reservorios de parásitos, teniendo la posibilidad de contagiar a otros animales que se encuentran en cautiverio y al humano con los que tienen contacto (Vasconcelos et al., 2024); esto se puede presentar cuando las condiciones sanitarias no son adecuadas, por alimento contaminado o por hospederos intermediarios (Carlos et al., 2008). Por ejemplo, en *C. paca* se conoce que durante la etapa juvenil son más susceptibles a parasitosis como *Strongyloides* spp., *Eimeria* spp., *Balantidium* spp., *Capillaria* spp., *Ascaroidea* spp., *Taenia* spp. y *Trichuris* spp. (Matamoros et al., 1991), y si estos no son tratados, pueden causar efectos graves como la inmunosupresión (debilitamiento de la capacidad del sistema inmunitario para combatir infecciones y enfermedades) e incluso hasta la muerte (Frias, 2009).

En cuanto a la dieta, *C. paca* se reporta con un comportamiento definido como consumidor oportunista, es decir, su dieta varía a lo largo de su área de distribución y de acuerdo con la variación estacional de la producción de frutos y semillas (Dubost & Henry, 2006), presenta una tendencia al consumo de frutos y granos (Espinoza et al., 2004). El estudio de Méndez (2000) muestra que *C. paca* tiene la capacidad de aprovechar una importante cantidad de alimentos cultivados, y alimentos nativos y fibrosos como naranja, papaya, maíz, chaya y semillas de guaje (*Leucaena leucocephala*); esto representa una oportunidad para ampliar y diversificar la dieta para su alimentación en cautiverio, además, que acepta insumos externos como harina de soya, sorgo y de origen animal, como generalmente se hace para el ganado porcino (Montes, 2005).

El conocimiento de la dieta y hábitos alimenticios del tepezcuintle se han logrado en gran parte por observaciones realizadas en cautiverio (Beck-King et al., 1999); los estudios sobre dieta y parásitos en *C. paca* en cautiverio cobran auge debido a sus implicaciones en la diversificación de la dieta y en el control oportuno de parásitos, para un adecuado manejo y conservación de la especie UMAs en cautiverio (Salmorán-Gómez et al., 2019; Mora-Collado et al., 2022; Cueyactle-Cano et al., 2023). El objetivo del estudio fue describir la dieta y endoparásitos de *C. paca* en cautiverio en la UMA Mingo, Zentla, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en la UMA Mingo (clave de registro: UMA SEMARNAT-UMA-IN-CR-0156-VER/13), cuyo objetivo la comercialización pie de cría de *C. paca* para otras UMAs del sureste de México. Se sitúa en la localidad de Arroyo Zarco (coordenadas geográficas: 19°12'35.2" N y 96°86'75.8" O; a 984 msnm), municipio de Zentla, en Veracruz, México (INEGI, 2019). Su clima es ecuatorial, el cual es un subtipo de clima tropical y semicálido con una temperatura promedio de 26 °C; su precipitación pluvial media anual es de 1,650 mm. La temperatura máxima promedio en Arroyo Zarco es 34°C en mayo y de 24°C en enero (MeteoRed, 2022).

La estructura física de la UMA cuenta con 5 corrales de manejo de *C. paca* con un área de 923 m², que se encuentran divididos y están cercados por malla ciclón; el suelo es de tierra, además cuentan con cimientos de 1 m de profundidad y tienen un área con techo de lámina, donde les colocaron tubos de concreto y tablas para que los tepezcuintles hagan sus cuevas o sirvan de refugio y áreas de reproducción. Los corrales tienen un bebedero de concreto y entre dos o tres comederos de madera. Dos corrales contruidos con tablas y piso de cemento y techados con lámina fungen como un área de observación de individuos lesionados o en cuarentena. El corral de manejo reproductivo está

rodeado de una malla alámbrica, piso de tierra y totalmente techado con lámina, y para el apareamiento y cortejo se coloca un macho y tres hembras como pie de cría (Figura 1).



Figura 1. Corrales, encierros y área de reproducción de tepezcuintles y heces.

Para determinar la cantidad de individuos o el tamaño de la población del tepezcuintle en la UMA Mingo, se colocaron 2 cámaras trampa (marca Moultrie®), con activación de 3 disparos de 3 seg por foto, y el segundo, en formato de video con duración de 30 seg con la finalidad de estimar el número de tepezcuintles mediante las fotos y videocapturas. Cabe señalar que, para este estudio, no existió manipulación de los animales, por lo que se considera un muestreo no invasivo.

Las cámaras fueron colocadas a 2 m de altura y a una distancia de entre 4-6 m frente a los comederos de los tepezcuintles, estuvieron activas durante un mes en un horario de 20:00 a 23:59 h; se hizo la revisión del contenido multimedia y se contabilizaron los individuos. Se realizó un primer fototrampeo el 17 de julio y un segundo fototrampeo el 11 de octubre del 2021, con la misma programación. Con las fotocapturas y videos, se pudieron identificar y cuantificar a los individuos en cada fototrampeo, evitando conteos dobles o sesgos en el conteo de individuos debido a que fue posible identificarlos mediante la reflectancia del *Tapetum lucidum*.

Durante el año 2021 se recolectaron muestras de heces de *C. paca* en la UMA Mingo durante el periodo que comprendió la época de secas (enero-mayo) y la de lluvias (junio-noviembre), tomando en cuenta la metodología de Ramírez et al. (2001), para describir la variación en la presencia de parásitos entre épocas. La sección media de la excreta se colocó en bolsas herméticas etiquetadas con los datos de colecta y en una hielera con gel anticongelante a $\approx 15^{\circ}\text{C}$; se transportaron al laboratorio de Microscopía Óptica, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

Las muestras de las heces de *C. paca* se trataron utilizando la técnica de Flotación directa y el método de Beaver con solución salina y Lugol diluido para la observación de helmintos (Girard, 2014). Estas técnicas se utilizaron para separar por densidad de flotación las partes, fragmentos o trozofitos de parásitos, huevos, quistes, estado larval, juvenil o adulto. Se recolectó el sobrenadante y una alícuota se utilizó para preparar laminillas de porta y cubre objetos, los que fueron observados en un microscopio compuesto marca Nikon con objetivos 10, 40 y 100 X. Con la ayuda del micrómetro, se midieron los parásitos presentes en las observaciones al microscopio y se tomaron fotografías de la zona anterior (cabeza) y posterior (cola), ya que son criterios para su identificación. Los parásitos fotografiados se identificaron taxonómicamente a nivel familia mediante sus estructuras morfológicas y morfométricas, al compararlas con los reportes en artículos y libros (Urquhart et al., 2007; Sánchez & Noguera, 2015). La descripción taxonómica a nivel familia separándolos por morfo-especies (grupo de especies con morfología y morfometría distintiva que permite diferenciarlos entre sí, pero que no es posible identificarlos a nivel de especie, ya que se requieren de las técnica de la taxonomía molecular) es válida en estudios de parásitos en fauna silvestre, ya que permiten un diagnóstico general de los endoparásitos identificados por familia que se deben de controlar, y es información esencial para reformar el manejo de la especie y para el planteamiento de otros estudios e investigaciones, cuando no se cuenta con información preliminar del manejo (Salmorán-Gómez et al., 2019; Mora-Collado et al., 2022; Cueyactle-Cano et al., 2023).

Para registrar los ítems alimenticios que componen la dieta con la que se alimenta *C. paca*, se aplicó un cuestionario al administrador de manejo de la UMA sobre los alimentos ofrecidos a los tepezcuintles; la participación de la persona entrevistada fue previamente informada y consensuada. La entrevista en profundidad consistió en preguntas sobre la identificación o reconocimiento de las plantas ofrecidas, las partes de la planta ofrecidas y la cantidad aproximada ofertada a los animales contabilizado de manera anual. De las plantas mencionadas en la entrevista se clasificaron las partes ofrecidas (tallos, hojas, flor, semilla, fruto, etc), y se hizo una revisión de literatura sobre las características y propiedades desparasitantes o antihelmínticas, y su aporte nutricional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recolectaron un total de 33 heces de *C. paca*, donde se realizaron 264 observaciones al microscopio y se lograron identificar 10 endoparásitos con distintas características morfológicas y morfométricas, lo que permite distinguirlos como morfoespecies (Figura 2). Los 10 endoparásitos identificados como morfoespecies se presentaron en estado juvenil (80%) y huevo (20%), con mayor prevalencia en la época de lluvias (60%) que de secas (40%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Endoparásitos encontrados en *C. paca* en la UMA Mingo, Zentla, Veracruz.

Cantidad de morfo-especies	Familia	Estado	Tamaño (μ)	Época
1	Strongylidae	Juvenil	Longitud 575	Secas
2	Strongylidae	Juvenil	Longitud 75	Secas
3	Strongylidae	Huevo	Longitud 65	Secas
4	Strongylidae	Huevo	Longitud 65, ancho 9	Secas
5	Strongylidae	Juvenil	Longitud 90	Lluvias
6	Strongylidae	Juvenil	Longitud 279	Lluvias
7	Strongylidae	Juvenil	Longitud 225 ancho 10	Lluvias
8	Strongylidae	Juvenil	Longitud 108	Lluvias
9	Strongylidae	Juvenil	Longitud 108	Lluvias
10	Strongylidae	Juvenil	Longitud 108	Lluvias

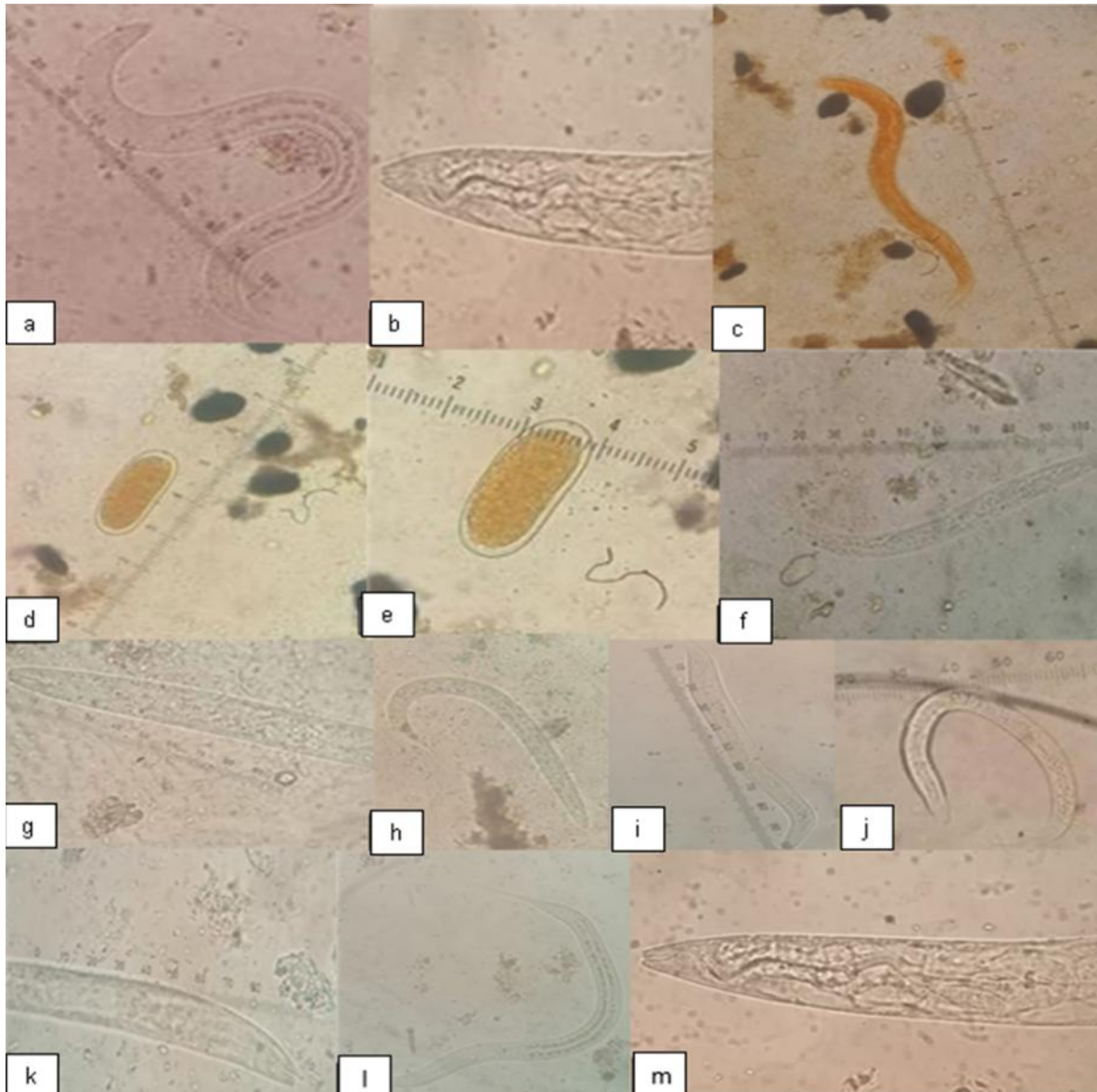


Figura 2. Morfología y morfometría de endoparásitos familia Strongylidae: a) Juvenil con bursa, cavidad bucal sin corona y angosta, b) boca de juvenil, c) juvenil en tinción de lugol, d) huevo 100X, e) huevo 400X, f) juvenil, g) parte anterior, h) individuo completo, i) individuo parte media, j) individuo parte media, k) parte anterior, l) parte posterior, m) boca y esófago.

Al relacionar la presencia de endoparásitos de acuerdo con los meses y épocas de secas y lluvias, durante el estudio *C. paca* en la UMA Mingo (Figura 3), el mes de enero presentó mayor frecuencia de endoparásitos, seguido el mes de septiembre y octubre, observando una relación en la época de lluvias con la mayor prevalencia endoparasitaria. De acuerdo con los resultados de la entrevista, se reporta una diversidad de 16 ítems alimenticios o plantas que componen la dieta de *C. paca* en la UMA Mingo, así como se reporta el nombre científico, parte consumida, cantidad ofertada, propiedades nutrimentales y utilidad en el manejo de *C. paca* (Cuadro 2).

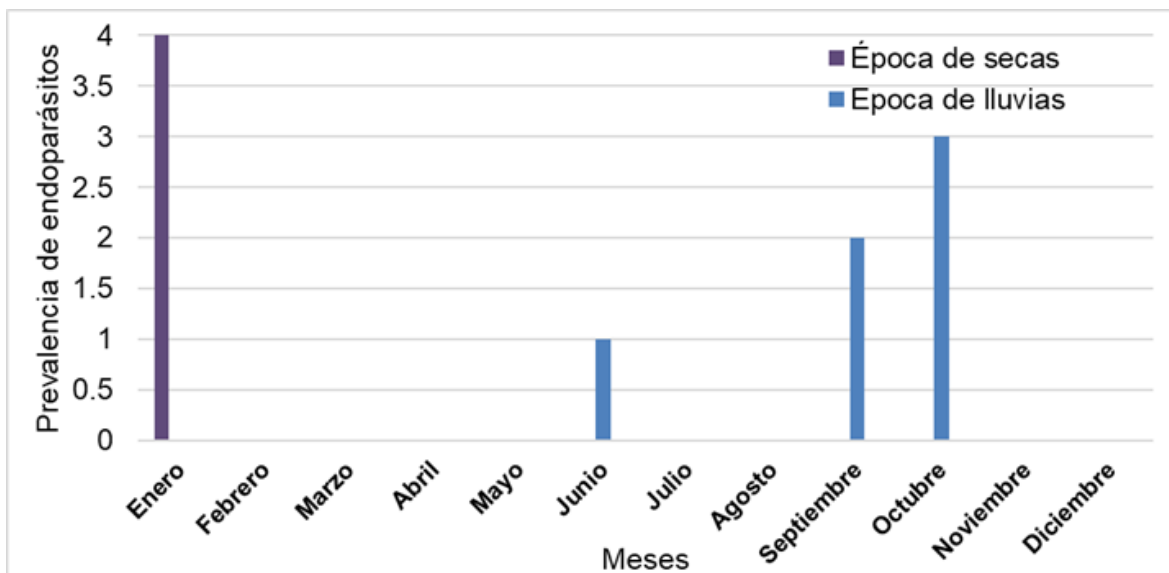


Figura 3. Variación de endoparásitos en *C. paca* en cautiverio en diferentes meses y épocas del año.

En trabajos realizados por Matamoros et al. (1991) y Bautista (1995) señalaron que la parasitosis es una de las principales causas que puede afectar las primeras etapas de vida del tepezcuintle y también como consecuencia pérdida de peso, los autores solo realizaron un estudio el cual no hay referencia que tenga consecuencias más graves sobre la parasitosis en tepezcuintles (Alcívar, 2015). Aunque no hay tantas medidas de bioseguridad en la UMA Mingo se encontró una prevalencia endoparásitaria baja, esto puede deberse al factor clima, Arroyo Zarco cuenta con un clima tropical, siendo una posible causa de no encontrar abundancia endoparásitaria, ya que los cambios climáticos pueden tener influencia sobre la distribución espacial y temporal en patógenos, vectores, hospedadores y reservorios (Mas-Comas et al., 2009).

Por su parte, según Poulin y Jorge (2019), el número de especies de parásitos descubiertas en las últimas cinco décadas en zonas tropicales con alta biodiversidad es desproporcionadamente baja, por lo que es necesario realizar estudios moleculares más detallados para describir a nivel de especie a las especies de parásitos. En este sentido, Gómez et al. (2012) y Gómez & Nichols (2013) mencionan que los parásitos afectan de manera negativa a sus hospederos impactando su reproducción, crecimiento, cognición, movimiento y supervivencia; sin embargo, en los tepezcuintles estudiados no se observaron ejemplares enfermos o inmunosuprimidos afectados por la parasitosis. Por ello, los parásitos deben ser controlados debido a los efectos negativos que estos tienen, ya que se han descubierto efectos beneficiosos para los hospedadores, como son la inmunidad contra patógenos emergentemente, y como algunos helmintos pueden bioacumular metales pesados de su hospedero (Gómez et al., 2012).

El último estudio realizado sobre anualidad de parásitos gastrointestinales en tepezcuintles, fue realizado en Yucatán, México, el cual mostró la prevalencia del género *Strongyloides* entre 60 y 100% durante todo el año, mientras que el género *Trichuris* se mantuvo en un 10% en los meses de enero, marzo y junio; la prevalencia del género *Strongyloides* fluctuó entre 10% y 20% durante los meses de junio, julio y agosto coincidente con lo reportado en este estudio; no reportamos la prevalencia del orden Eucoccidiida como en otros estudios, donde se ha reportado un 20% de prevalencia en julio (Ramírez et al., 2001).

Cuadro 2. Componentes y propiedades nutricionales de la dieta de *Cuniculus paca* en la UMA Mingo, Zentla, Veracruz, México.

Nombre común	Nombre científico	Parte ofertada	Cantidad ofertada	Propiedades nutrimentales	Utilidad
Bellota o encino	<i>Quercus insingis</i> M. Martens & Galeotti	Fruto	1 cubeta de 10 kg	No reportado	Alimento (De la Cruz et al., 2014)
Mulato	<i>Bursera simaruba</i> (L.)	Raíz, corteza y hojas	Se ofrecen 5 kg en trozos menores a 1 cm	Proteína cruda= 8,8-14,6 %; Digestibilidad= 46 %; Fibra= 67,3 %; Materia seca= 59,6 %; fibra detergente ácida (FDA)= 26,1-62,3; fibra detergente neutra (FDN)= 37,7 – 67,0 %; Cenizas= 7,4-11,5 % (Araya et al., 2016)	Maderable y antimicrobiano (Rojas & Rodríguez, 2008)
Guayabo	<i>Psidium guajava</i> (L.)	Hojas, Frutos	1 costal de frutos de guayaba de 20 kg	Acidez= 62-81 meq/kg; pH= 3.8-4.1; Cenizas= 0.28-0.52 g/100 g; Nitrógeno= 56-102 mg/100g (Marquina et al., 2008)	Control de parásitos intestinales (López & Pérez, 2010)
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Obeck	Frutos, Pulpa	3 arpillas de naranja de 30 kg cada una= 90 kg	Ceniza= 4.86; Grasa= 1.64; Proteína= 5.07 (g/100g b/s) (Rincón et al., 2005)	Estreñimiento (Gómez et al., 2005)
Plátano	<i>Musca paradisiaca</i> (L.)	Frutos	1 racimo mensual de 30 kg	Humedad= 10%; Ceniza= 1.33%; Proteína= 4.45%; Grasa= 0.25%; Fibra Cruda= 3.5%; Carbohidratos= 78% (Culetu et al., 2021)	Estreñimiento, cáncer, propiedades desparasitantes y desinfectantes (Blasco & Gómez, 2014)
Mango	<i>Mangnifera indica</i> (L.)	Frutos	5 cajas de mango, de 30 kg cada una= 150 kg	Humedad= 16.8%; Grasa= 1.99%; Proteína= 5.44%; Nitrógeno= 78%; Fibra= 11.2%; Ceniza= 2.8% (Jibaja-Espinoza & Sánchez-González, 2015)	Fuente de fibra, fructosa, sacarosa y glucosa (Wall et al., 2015)
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Fruto y semilla	3 rejas de aguacate de 20 kg cada una= 60 kg	Calorías= 160; Proteínas= 1.7 g; Aceite= 15.4 g; Agua= 75 g; fibra 1.6 g (Tovar, 2003).	Actividad anti-protozoaria (Vivero et al., 2019)
Zapote	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	Hojas y frutos	3 arpillas de zapote de 40 kg cada una= 120 kg	Pulpa= 50%; producto/pulpa= 400%; Proteínas= 3.4%;	Fuente de fibra y como diuréticos (semillas) (Jun & Xiao, 2003)

				Carbohidratos= 10.9%; Calorías= 59.8 Kcal.	
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> (L.)	Hojas y tallo	3 arpillas de lechuga de 10 kg cada una= 30 kg	Calorías= 18 Kcal; Agua= 94 g; Proteína= 1.3 g; Grasa= 0.3 g; Cenizas= 0.9 g; Carbohidratos= 3.5 g; Fibra= 1.9 g; Calcio= 68 g; Hierro= 1.4 mg; Fósforo= 25 mg; Vitamina C= 18 mg por 100 g de parte comestible (Quingaluisa, 2021).	Aporte de minerales, antioxidantes fibra y agua (Hohl et al., 2001)
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> L.	Hojas, tallo, flor compuesta	3 arpillas de brócoli de 10 kg cada una= 30 kg	Carbohidratos= 9 g; Proteínas= 2,5 g; Fibra dietética total= 10,4 g; Fibra dietética insoluble= 7,9 g (Rodríguez-Pallares & Rojas-González, 2022)	Antinflamatorios, reducción padecer determinados tipos de cáncer (Acosta et al., 2018)
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var. botrytis. L	Flor y hojas	3 arpillas de coliflor de 10 kg cada una= 30 kg	Agua= 90%; Fibra= 6%; Carbohidratos= 32%; Proteína= 4% (García-Ramírez, 2006)	Anticancerígeno, control de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas como el Alzheimer, asma, actividad antimicrobiana (Pedreros, 2016)
Durazno	<i>Prunus persica</i> (L.) Stokes	Pulpa, hojas, flores y frutos	2 costales de durazno de 20 kg cada uno= 40 kg	°Brix= 18.7°; pH= 3.6; Consistencia= 6.67 cm/min (Cosavalente et al., 2017)	Afecciones hepáticas, tiñas, herpes, trastornos nerviosos, perlesías, tullimientos y decaimientos (Rojo, 1986)
Papaya	<i>Carica paya</i> (L.)	Frutas, raíces, corteza, cáscara, semillas.	10 pz de papaya de 1 kg cada una, mensual= 120 kg	Fibra dietética total, entre 12,8g/100g y 16,1g/100g (Pacheco-Delahaye et al., 2004)	Actividad vermícida (fruto, y semillas), para el tratamiento de estreñimiento y diversas afecciones gastrointestinales (Pineda & Sagastume, 1999)
Jícama	<i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urb.	Tubérculo	3 costales de jícama de 20 kg= 60 kg	Cenizas= 2.44%; Fibra= 170-181 mg/100g; Carbohidratos= 1.5-1.7 g; Proteínas= 11.04%	Control de enfermedades cardíacas, diabetes, tensión arterial, colesterol, presión sanguínea,

				(Ramírez-Balboa et al., 2023).	hiperglicemia y el peso, disminuye el apetito, promueve el buen funcionamiento intestinal, previene el cáncer de colon, restaura la actividad renal, combate la osteoporosis y problemas de estrés (Castañeda, 2000)
Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) de Wit	Fruto, vainas tiernas, semillas secas y rebrotes tiernos	2 bultos de 5 kg cada uno= 10 kg	Materia seca= 29,3-32,3%; Contenido de Proteína Bruta= 16,3-24,6%; Digestibilidad de materia orgánica= 56,3-63,4%; Proteína bruta= 57,1-68,2%. Contenido de energía metabolizable= e 8,2 a 9,3 Mj; Proteína bruta digestible= 10,7 a 11,8 g (Cáceres & Santana 1990)	Alternativa alimenticia de minerales, proteína y fibra (Román et al., 2014)
Maíz	<i>Zea mays</i> (L.)	Mazorca con grano	300 kg de mazorca con grano al año	Lípidos= 2.5-3.4%; Hierro= 32-62%; Amilosa= 72%; Amilopectina= 73%; Lisina= 1.6 g; Triptofano= 0.5 g; Tiamina= 0.7 mg/100 g de MS; Relación Calcio-Fósforo= de 1 a 20 (Paredes-López et al., 2010)	Antihistamínica, antimalárica, antiséptica, antifúngica, cicatrizante, diurética, expectorante, febrífuga, hipotensora, insecticida y rodenticida (Cáceres et al., 1993)

En cuanto a los componentes de la dieta, la mayoría de las 16 especies de plantas reportadas en la dieta que se ofrece a *C. paca* en la UMA Mingo, cuentan con propiedades antihelmínticas y antiparasitarias naturales, además de aportar una importante fuente de nutrientes y componentes dietéticos como proteína, materia seca, fibra detergente ácida y neutra, fibra dietética total e insoluble, cenizas, acidez, pH, nitrógeno, grasa, humedad, carbohidratos, aceite, agua, pulpa, hierro, fósforo, vitaminas, calcio, hierro, °Brix, energía metabolizable, lípidos, amilosa, amilopectina, triptófano, tiamina, entre otros más que componentes nutracéuticos que han sido reportados en la literatura. Pineda & Sagastume (1999) señalan que las semillas de diferentes plantas son utilizadas como desparasitante natural en cuyos (*Cavia porcellus*) y demostraron tener una actividad eficiente como desparasitante. Las plantas reportadas en la dieta de *C. paca* contienen en alguna parte de su anatomía (flores, hojas, raíces, semillas) sustancias activas con efecto terapéutico (Cruz & Mendoza, 2002), ya sean como desparasitantes naturales y su efectividad, son una alternativa económica para la alimentación y están accesibles para el tratamiento de enfermedades parasitarias (UNAM, 2003). La

papaya (*Carica papaya*), tiene propiedades antihelmínticas, bacteriostática, hepatoprotector, bactericida en las semillas; las semillas y el látex pueden fungir como un purgante en parásitos intestinales y amebas (Navarro et al., 2016). Por su parte, el aguacate (*Persea americana*), ha mostrado efectos benéficos en la salud como la prevención de enfermedades crónica (Ezejiófor et al., 2013). También contienen efecto desparasitario ya que sus extractos clorofórmicos y etanólicos de las semillas muestran actividad anti protozoaria, este pudiese ser un fármaco potencial contra los microorganismos (Jiménez et al., 2013). La guayaba (*Psidium guajava*), se le han atribuido propiedades medicinales ya que tienen aceites esenciales, que estos a su vez tiene componentes bioquímicos que sirven como antidiarreicos, antimicrobianos y antiparasitarios (Coutiño et al., 2001; Pérez et al., 2008).

CONCLUSIÓN

Las muestras analizadas dieron como resultado que los únicos nematodos encontrados son de la familia Strongylidae y la mayoría fueron encontrados en estado larvario. Por lo que los programas en las UMA de tepezcuintles deben contemplar información acerca del perfil parasitario, identificando y evaluando los efectos de los parásitos y las enfermedades presentes en las poblaciones; esto proporcionaría información útil con respecto a los modelos de interacciones tróficas o hábitos de alimentación del hospedero. Se presentó mayor frecuencia de endoparásitos en la época de lluvias que en la época de secas. La papaya, aguacate y guayaba podrían ser considerados como desparasitantes naturales que ayudan a evitar la parasitosis en los tepezcuintles, además que algunos de los alimentos ofrecidos en su dieta, muestran que son ricos en fibra, carbohidratos y proteínas permitiendo una dieta de calidad y que permite un mejor desarrollo en cautiverio de *C. paca*.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Domingo Jauregui, dueño de la UMA de Tepezcuintle, ubicada en Arroyo Zarco, Zentla, Veracruz. Al Dr. Benjamín Noguera Torres (Departamento de Parasitología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN), quien apoyó con la identificación y técnicas sobre endoparásitos.

REFERENCIAS

- Acosta, J. R., Martínez, P. B. C., Cerdá, C. A., Fernández, G. B., & Núñez, D. E. (2018). *Alimentos de la región de Murcia: Brócoli*. Universidad Católica de Murcia.
- Alcívar, E. J. A. (2015). *Determinación de la presencia de parásitos gastrointestinales de Cuniculus paca criados en cautiverio...* (Tesis). Universidad de Guayaquil.
- Aranda, M. (2012). *Tepezcuintle. Familia Cuniculidae*. CONABIO.
- Araya, J., Cetina, R., Capetillo, C., Zapata, C., & Sandoval, C. (2016). *Composición química nutricional de árboles forrajeros*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Bautista, M. A. (1995). *Identificación de nematodos en una población de tepezcuintles*. (Tesis). UNAM.
- Beck-King, H., Helversen, O., & Beck-King, R. (1999). Home range, population density, and food resources of *Agouti paca*. *Biotropica*, 31, 675–685.
- Blasco, L. G., & Gómez, M. F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 14(2), 22–26.
- Cáceres, O., & Santana, H. (1990). Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes*, 13(2).
- Cáceres, A., Jáuregui, E., López, B., & Logerman, H. (1993). *Actividad antibacteriana de plantas medicinales en Guatemala*. USAC.
- Carlos, N. E., Tantaleán, M., Leguía, P. V. G., Alcázar, G. P., & Donadi, S. R. (2008). Frecuencia de helmintos en huanganas... *Neotropical Helminthology*, 2(2), 48–53.
- Castañeda, M. A. E. (2000). *Utilización de jicama en pan banco...* Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Cosavalente, M. L. P., Horna, A. C. F., & Avalos, F. R. (2017). Compota a base de quinua, soya, mango y durazno. *Pueblo Continente*, 27(2), 409–417.
- Cueyactle-Cano, H. Y., Serna-Lagunes, R., Mora-Collado, N., Zetina-Córdoba, P., & Torres-Cantú, G. B. (2023). Preferencia de plantas en *Odocoileus virginianus*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(1), 228–236.

- Culetu, A., Susman, I. E., Duta, D. E., & Belc, N. (2021). Nutritional and functional properties of gluten-free flours. *Applied Sciences*, 11(14), 62–83.
- Coutiño, R. R., Hernández, C. P., & Giles, R. H. (2001). Lectins in fruits. *Archives of Medical Research*, 31, 251–257.
- Cruz, M., & Mendoza, T. (2002). *Uso de plantas medicinales en ganado bovino*. Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco.
- De la Cruz, Y., Becerra, J., Isaías, P. A., Ramos, J. M., & Hernández, A. M. (2014). *La bellota de Quercus insignis*. *Cuadernos de Biodiversidad*, 46, 1–8.
- Dubost, G., & Henry, O. (2006). Comparison of diets of rodents. *Journal of Tropical Ecology*, 22, 641–651.
- Espinoza, M. E., Cruz, E., Lira, I., & Sánchez, I. (2004). Mamíferos de la Reserva La Sepultura. *Revista de Biología Tropical*, 52, 249–259.
- Ezejiogor, A. N., Okorie, A., & Orisakwe, O. E. (2013). Effects of *Persea americana* seeds. *Malays Journal of Medical Science*, 20, 31–39.
- Frías, J. S. (2009). *Guía de procedimientos para instalar zocriaderos*. ANAM Panamá.
- García-Ramírez, G. (2006). *Actividad antioxidante de coliflor*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Gallina, S., Pérez-Torres, J., & Guzmán-Aguirre, C. (2012). Use of *Cuniculus paca* in México. *Revista de Biología Tropical*, 60, 1345–1355.
- Girard, R. (2014). *Técnicas para laboratorios de atención primaria*. OPS.
- Gómez, A., Nichols, E. S., & Perkins, S. L. (2012). *Parasite conservation*. Oxford University Press.
- Gómez, A., & Nichols, E. (2013). Neglected wildlife. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 2, 222–227.
- Gómez, A. I. E., Orellana, H. D. J., & Zaldaña, D. T. L. (2005). Gel laxante a partir de *Citrus aurantium*. Universidad de El Salvador.
- Hohl, U., Neubert, B., & Pforte, H. (2001). Flavonoides en lechuga. *European Food Research & Technology*, 213, 205–211.
- INEGI. (2019). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*.
- Jibaja-Espinoza, L. M., & Sánchez-González, J. (2015). Harina de cáscara de mango. *Tecnología y Desarrollo*, 13(1), 23–26.
- Jiménez, A., Luna, J., Ruiz, R., Cornejo, J., Tapia, A., & Yépez, L. (2013). Antiprotozoal activity of *Persea americana*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 119.
- Jun, M., & Xiao, L. D. (2003). Polyphenols from *Manilkara zapota*. *Journal of Natural Products*, 66(7), 983–986.
- López, J. A., & Pérez, J. (2010). Etnobotánica medicinal en Ometepe. *Polibotánica*, 30, 137–161.
- Marquina, V., Araujo, L., Ruíz, J., Rodríguez-Malaver, A., & Vit, P. (2008). Antioxidantes en guayaba. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 98–102.
- Mas-Comas, S., Valero, M. A., & Bargues, M. D. (2009). Climate change and trematodiasis. *Veterinary Parasitology*, 163(4), 264–280.
- Matamoros, Y., Velázquez, J., & Pashov, B. (1991). Parásitos intestinales en *Agouti paca*. *Revista de Biología Tropical*, 39(1), 173–176.
- Meteored. (2022). *Clima Arroyo Zarco Ejido*.
- Méndez, C. P. L. (2000). *Digestibilidad de alimentos en tepezcuintles*. Tesis. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Montes, R. (2005). El tepezcuintle, un recurso importante. *Teorema Ambiental*, 63, 6–11.
- Mora-Collado, N., Romero-Salas, D., Cruz-Romero, A., & Serna-Lagunes, R. (2022). Parásitos en venados. *Bioagrobiencias*, 15(2), 106–112.
- Navarro, A., Rojas, E., Lazcano, M., & Vera, L. O. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya. *Revista de Ciencias de la Salud*, 3(7), 1–69.
- Ortega, E. C. (2011). *Plan de manejo tipo para tepezcuintle*. SEMARNAT.
- Pacheco-Delahaye, E., Pérez, R., & Schnell, M. (2004). Polvos alimenticios de papaya y plátano. *Interciencia*, 29(1), 46–51.
- Padilla-Gómez, I., et al. (2019). *Distribución y ecología del tepezcuintle (Cuniculus paca)*. *Revista Latinoamericana de Mastozoología*, 9(2), 45–60.
- Pardo, E., & Buitrago, M. (2005). *Parasitología Veterinaria I*. UNA.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., & Bello-Pérez, L. A. (2010). Valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92.
- Pedrerros, N. (2016). Consumo de crucíferas y salud. Universidad Nacional de Colombia.

- Pérez, G. R. M., Mitchell, S., & Vargas Solis, R. (2008). *Psidium guajava*: usos y farmacología. *Journal of Ethnopharmacology*, 117, 1–27.
- Pineda, O. M., & Sagastume, I. V. (1999). Extractos para control de endoparásitos. Universidad de San Carlos.
- Poulin, R., & Jorge, F. (2019). Geography of parasite discovery. *Parasitology*, 146(2), 168–175.
- Quingaluisa Cují, M. D. R. (2021). *Bloques nutricionales para cuyes*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Ramírez, O., Rodríguez, R. I., Montes, R., & Torres, J. F. (2001). Parasitología gastrointestinal del tepezcuintle. *Revista de Biología Tropical*, 49.
- Ramírez-Balboa, G., et al. (2023). Harina de jícama. *Revista Bio Ciencias*, 10.
- Rincón, A. M., Vásquez, A., & Padilla, M. (2005). Compuestos bioactivos en cáscaras de cítricos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55(3), 305–310.
- Rodríguez-Palleres, X., & Rojas-González, F. (2022). Valor nutricional de brócoli, apio y betarraga. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 20(3), 97–107.
- Rojas, S. F., & Rodríguez, J. (2008). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Provita.
- Rojo, G. (1986). *Durazno. Prunus persica*. Gómez Hnos.
- Román, N., García, M. R., Castillo, A. M., Sahagún, J., & Jiménez, A. (2014). Nutrientes y antioxidantes en *Leucaena*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2), 157–170.
- Salmorán-Gómez, C., et al. (2019). Endoparásitos en venados. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 986–999.
- Sánchez, R. M. M., & Noguera, B. J. (2015). *Atlas de enteroparásitos*. UNAM.
- Tovar, M. Á. O. (2003). Valor nutrimental del aguacate Hass. *V World Avocado Congress*, 741–748.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2003). *Desparasitante natural en Mus musculus*.
- Urquhart, G. M., Armour, J., Duncan, J. M., Dunn, A. M., & Jennings, F. W. (2007). *Helmintología veterinaria*.
- Vasconcelos, V. S., et al. (2024). Gastrointestinal nematodes in *Cuniculus paca*. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 53, 101066.
- Vivero, S. A., Valenzuela, B. R., Valenzuela, B. A., & Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(4), 491–498.
- Wall, A., Olivas, F. J., Velderrain, G. R., González, A., De La Rosa, L. A., López, J. A., & Álvarez, E. (2015). El mango y su valor funcional. *Nutrición Hospitalaria*, 13(1), 67–75.

Efecto de extractos vegetales y herbicidas sobre el manejo de malezas en el cultivo de nopal verdura

Isaí Eliu Herrera-Lara¹, Cid Aguilar-Carpio^{2*}, Pablo Noé Núñez-Aragón¹, José Ángel Alcántara-Jiménez¹,
José Alberto Salvador Escalante-Estrada²

¹Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Centro de Estudios Profesionales, Cocula, Guerrero, ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. *Autor para correspondencia: aguilar.cid@colpos.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 15/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) se encuentra distribuido y se produce en muchas partes del país, siendo Morelos uno de los principales estados productores. En la agricultura, uno de los problemas más significativos son las malezas, ya que compiten con los cultivos por agua, luz y nutrientes, afectando su producción. Para controlarlas, se recurre al uso de herbicidas químicos, sin embargo, estos pueden generar problemas como su residualidad y toxicidad. Una alternativa es el uso de extractos vegetales con efectos alelopáticos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de herbicidas químicos y biológicos sobre la población de malezas en el cultivo de nopal verdura. El estudio se estableció en una parcela en Tlayacapan, Morelos, México. En donde se aplicaron los siguientes tratamientos de herbicidas químicos y extractos vegetales: 1. Testigo sin aplicar, 2. Atrazina (2 kg ha⁻¹), 3. Ametrina (2 kg ha⁻¹), 4. *Parthenium hysterophorus* (0.38 %) y 5. *Helianthus annuus* (0.38 %). Para la preparación de los extractos vegetales, se recolectó material vegetal que se llevó a secado para después trituirlo, posteriormente se utilizó la metodología de extractos alcohólicos. Las variables evaluadas fueron el número de malezas por especie y el porcentaje de control. En el estudio se identificaron cuatro especies de malezas dicotiledóneas, que fueron las más predominantes en el cultivo: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), chicalote (*Argemone ochroleuca* Sweet), pata de león (*Erigeron* sp.) y mostacilla (*Sisymbrium irio* L.). El menor número de malezas se logró con la aplicación de ametrina y atrazina, donde el control fue de 90 hasta 99%, seguido de la aplicación de *Helianthus annuus* y *Parthenium hysterophorus* con un control entre 76 a 40%, respectivamente, controles que fueron disminuyendo a través del tiempo.

Palabras clave: Herbicidas, biológicos, químicos.

ABSTRACT

The vegetable cactus (*Opuntia ficus indica*) is distributed and produced in many parts of the country, with Morelos being one of the main producing states. In agriculture, one of the most significant problems is weeds, since they compete with crops for water, light and nutrients, affecting their production. To control them, the use of chemical herbicides is used, however, these can cause problems such as residuality and toxicity. An alternative is the use of plant extracts with allelopathic effects. The objective of the study was to determine the effect of chemical and biological herbicides on the weed population in the vegetable cactus crop. The study was established on a plot in Tlayacapan, Morelos, Mexico. Where the following treatments of chemical herbicides and plant extracts were applied: 1. Control without applying, 2. Atrazine (2 kg ha⁻¹), 3. Ametrine (2 kg ha⁻¹), 4. *Parthenium hysterophorus* (0.38 %) and 5. *Helianthus annuus* (0.38 %). For the preparation of the plant extracts, plant material was collected and dried and then crushed; subsequently, the alcoholic extracts methodology was used. The variables evaluated were the number of weeds per species and the percentage of control. In the study, four species of dicotyledonous weeds were identified, which were the most predominant in the crop: purslane (*Portulaca oleracea* L.), chicalote (*Argemone ochroleuca* Sweet), lion's paw (*Erigeron* sp.) and mustacilla (*Sisymbrium irio* L.). The lowest number of weeds was achieved with the application of ametrine and atrazine, where the control was 90 to 99%, followed by the application of *Helianthus annuus* and *Parthenium hysterophorus* with a control of 76 to 40%, respectively, controls that were decreasing through time.

Key words: Herbicides, biological, chemicals.

INTRODUCCIÓN

México se considera el centro de mayor diversidad de nopales en el continente americano, de las aproximadamente 200 especies existentes en el mundo, 104 se encuentran en México, convirtiendo al nopal en un símbolo cactáceo representativo de nuestro país. El nopal es endémico de América y en México tiene un alto valor socioeconómico. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus frutos como por sus tallos, que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura (Aguilar-Carpio et al., 2016; Aguilar-Carpio et al., 2024). En la República Mexicana se cultivan alrededor de 863,757 t de nopales en una superficie cosechada de 12,611.77 ha durante el año 2023. Los principales estados productores son Morelos con una producción de 409,285 t, seguido de la Ciudad de México con 185,045 t, Estado de México con 87,679 t, Michoacán con 33,570 t y Puebla con 33,415 t (SIAP, 2024).

En los últimos años, el aumento en el consumo del nopal verdura se debe a su alto contenido de fibra, vitamina C y agua, lo cual contribuye a mejorar los procesos digestivos, además de sus propiedades medicinales (Moran, 2013). Este incremento en su consumo ha cobrado fuerza en países como Estados Unidos, Canadá, China, Japón, Francia y parte de Sudáfrica. Por lo que, para su comercialización en mercado nacional e internacional, es importante la calidad del producto; dentro de las características de calidad, la inocuidad resalta debido a que se garantiza que los alimentos están libres de contaminantes químicos, dañinos para la salud humana (Maki-Díaz et al., 2015).

Por otro lado, las plantaciones de nopal, al igual que en otros sistemas agrícolas, son atacadas por diferentes plagas. Dentro de ellas, está la competencia del cultivo con malezas, por agua, luz y nutrientes; éstas, generan reducción en la tasa de crecimiento, y pérdidas económicas durante la cosecha. Por lo que, el uso de herbicidas se ha convertido en el método principal para el control de malezas (Celis et al., 2009), indispensable en la agricultura convencional; sin embargo, se ha comprobado que, debido al uso excesivo y exclusivo de herbicidas, como glifosato, atrazina, paraquat entre otros, se han presentado efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, además de provocar resistencia de algunas especies de malezas (Verdeguer et al., 2020). Debido a estas consecuencias negativas, se han buscado opciones más amigables con el ambiente y menos dañinos a la salud humana.

Existen diversos estudios relacionados con el uso de extractos vegetales, donde se han observado que algunas plantas (*Helianthus annuus*, *Parthenium hysterophorus*, *Argemone ochroleuca*) producen sustancias alelopáticas que afectan a diferentes cultivos y malezas (Patel, 2011; Aguilar et al., 2024; Herrera, 2025). En la actualidad se ha comprobado que los extractos vegetales contienen metabolitos secundarios generados por las plantas como resultado de la respuesta del proceso de adaptación de las plantas a su ambiente, la exposición a la luz solar u otros tipos de estrés abiótico (Sepúlveda et al., 2003). Lo que permite enfocar el uso de los extractos vegetales como alternativa para el control de malezas. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de herbicidas y extractos vegetales sobre la población de malezas en el cultivo de nopal verdura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en campo bajo condiciones de lluvias en julio de 2024, en el municipio de Tlayacapan Morelos, que está ubicada a 18°55'8.47"N y 98°59'37.36", a una altitud de 1299 m. La temperatura media que se presentó desde el inicio hasta el final del estudio osciló de 15.2 a 31.3 °C con una precipitación de 464 mm. El cultivo que se utilizó para evaluar el efecto de los herbicidas y los extractos vegetales fue de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller] variedad Milpa Alta, con una edad de plantación de 5 años.

Para evaluar el efecto de los tratamientos en el cultivo de nopal se realizó un experimento en donde se aplicaron dos herbicidas, dos extractos vegetales y un testigo sin aplicación en una parcela libre de malezas. La descripción de los tratamientos se muestra a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de herbicidas y extractos vegetales aplicados en el cultivo de nopal.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis L ha ⁻¹	g i. a. L ⁻¹
1	Testigo sin aplicación		
2	Atrazina	2	915
3	Ametrina	2	800
4	<i>Parthenium hysterophorus</i>	11	0.38%
5	<i>Helianthus annuus</i>	11	0.38%

La elaboración de los extractos vegetales se realizó bajo la metodología que utilizó Herrera (2025), haciendo modificaciones adaptadas a los equipos y material disponible. Cada especie se introdujo al horno para el secado a 70° C por 72 horas o hasta que las partes de las plantas estuvieran quebradizas. En un molino manual se colocó por separado los materiales vegetales ya secos, se molió hasta obtener partículas menores a 2 mm y así facilitar la elaboración de los extractos etanolicos y la obtención de los metabolitos secundarios. El diseño experimental que se utilizó fue en bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, la unidad experimental se conformó por 3 surcos de 1.35 m por 4 m de largo, lo que da una superficie de 16.2 m², el tamaño de la parcela en estudio fue de 324 m².

Para evaluar los tratamientos en el cultivo de nopal se analizarán las siguientes variables de respuesta: número de malezas por especie y el porcentaje de control general. Posterior a la aplicación de los herbicidas y extractos vegetales, se realizaron tres muestreos para determinar la densidad de población e identificar las especies de malezas predominantes en el cultivo, para lo cual se utilizó un cuadrante de 0.25 m², que fue lanzado al azar dos veces en las parcelas tratadas. Los valores obtenidos de los cuadrantes fueron transformados para reportar los datos de la densidad de población en m². El porcentaje de control se estimó de forma visual, con base a la densidad de población y ajustado por el grado de daño con respecto al testigo se les asignó un valor dentro de la escala de 0 a 100%, en donde 0 significó que la maleza no fue afectada y 100% que fue completamente inhibida o destruida (Champion, 2000). La evaluación del efecto de los tratamientos sobre las principales especies de malezas se realizó a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación (dda) de los tratamientos. La identificación de las malezas se realizó de acuerdo con los criterios establecidos por Espinosa & Sarukhán (1997) y Rzedowski & Rzedowski (2010).

Los datos de las variables evaluadas se procesaron mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey. El análisis estadístico se realizó con el software Statistical Analysis System (SAS, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio se identificaron cuatro especies de malezas, que fueron las más predominantes en el cultivo: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) de la familia Portulacaceae, chicalote (*Argemone ochroleuca* Sweet) de la familia Papaveraceae, pata de león (*Erigeron* sp.) de la familia Asteraceae y mostacilla (*Sisymbrium irio* L.) de la familia Brassicaceae (Figura 1, Rzedowski y Rzedowski, 2010).

En la evaluación a los 7, 14 y 21 dda (Figura 2), se encontró que la aplicación de atrazina y ametrina eliminaron el mayor número de malezas de *P. oleracea* con densidades de 0 a 1 plantas m⁻², estadísticamente no mostraron diferencias respecto a los extractos vegetales. En el muestreo a los 21 dda, se observó que los tratamientos de herbicidas mostraron diferencias respecto a la aplicación de *P. hysterophorus* y al testigo sin aplicación. La atrazina y ametrina poseen actividad residual y por

contacto, al ser herbicidas móviles en el suelo, son fácilmente absorbido por vía raíz y foliar, resultando eficaz para el control de dicotiledóneas (Cobb & Reade, 2010).



Figura 1. Malezas identificadas en el cultivo de nopal. A) *Portulaca oleracea*, B) *Argemone ochroleuca*, C) *Erigeron* sp. y D) *Sisymbrium irio*.

Por otro lado, los extractos vegetales también mostraron diferencias significativas respecto al testigo sin aplicación. Con la aplicación de *H. annuus* y *P. hysterophorus* se registró una población que oscilo en promedio de 3 a 9 plantas m^{-2} , poblaciones menores a lo observado en el testigo sin aplicación donde la población fue de 21 a 26 plantas m^{-2} , lo cual indica un posible efecto inhibitorio de la germinación sobre la maleza evaluada. Al respecto, Blanco et al. (2007) observó que con la aplicación de extractos de *H. annuus* lograron una reducción de la germinación en plantas de frijol del 45%.

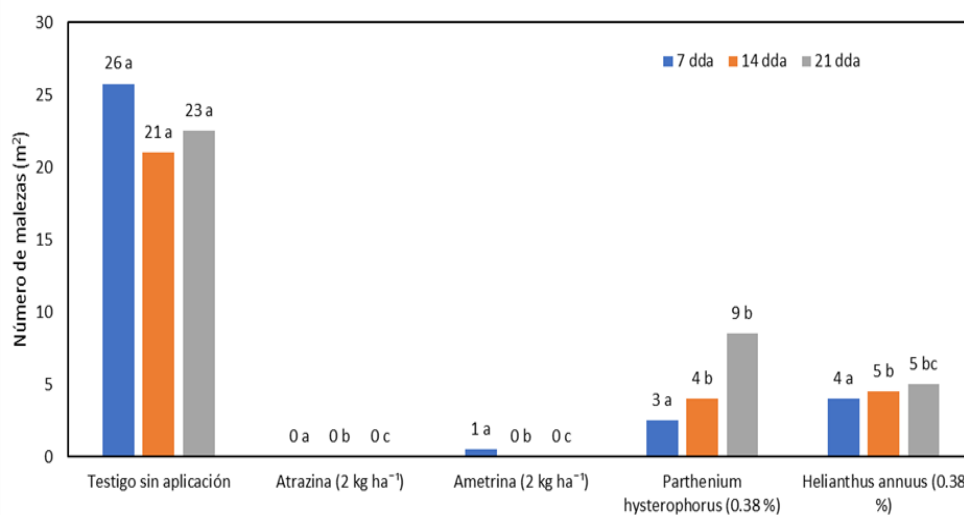


Figura 2. *Portulaca oleracea* (m^2) en función de la aplicación de herbicidas y extractos vegetales.

En el caso de *A. ochroleuca*, con la aplicación de atrazina y ametrina se observó un control total, hasta los 21 dda. Contario, a la aplicación de los extractos vegetales en donde la densidad de población aumento hasta a 6 plantas m^{-2} con la aplicación del extracto de *H. annuus*, seguido del extracto de *P. hysterophorus* con una población que se mantuvo hasta los 21 dda de 1 planta m^{-2} . Cabe destacar, que los extractos vegetales presentaron diferencias significativas respecto al testigo sin aplicación. Esto indica que *A. ochroleuca* presentó susceptibilidad a los herbicidas y extractos vegetales utilizados, así como lo observó Herrera (2025) con la aplicación de extractos vegetales en el cultivo de nopal para verdura (Figura 3).

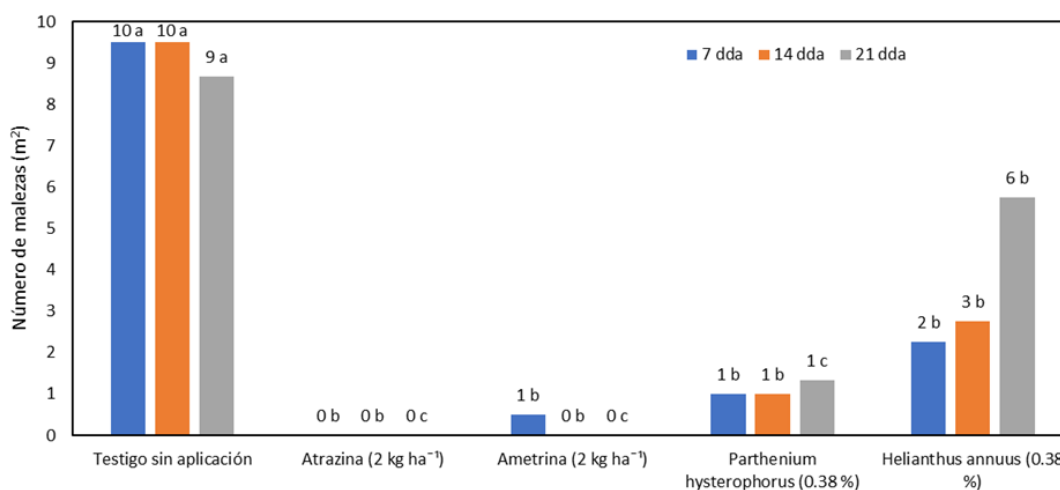


Figura 3. *Argemone ochroleuca* (m^2) en función de la aplicación de herbicidas y extractos vegetales.

Con respecto a *Erigeron* sp., en la primera evaluación se observó que los tratamientos de atrazina y ametrina lograron un control total, lo cual se mantuvo hasta los 21 dda con cero plantas por m^2 . Es importante señalar, que el mayor rebrote de malezas se presentó en el testigo sin aplicación, a los 14 dda. Para el caso de los extractos vegetales con la aplicación de *P. hysterophorus* y *H. annuus* se registró una población en promedio de 16 y 15 plantas m^{-2} , respectivamente, que estadísticamente fueron diferentes a los herbicidas y al testigo sin aplicación (Figura 4).

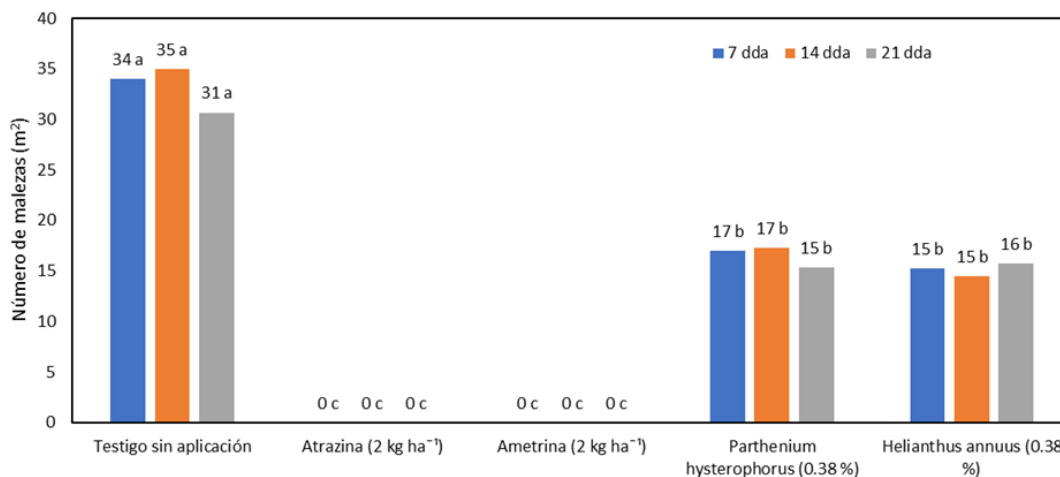


Figura 4. *Erigeron* sp. (m^2) en función de la aplicación de herbicidas y extractos vegetales.

En *S. irio* se observó, que el tratamiento de atrazina mostró un control del 100% de la especie antes indicada, efecto que se mantuvo desde los 7 hasta los 21 dda (Figura 5). No así, con ametrina donde se observó la presencia de la maleza con un promedio de 4 plantas m⁻², a los 21 dda. Por otro lado, se puede observar que después de los herbicidas, el extracto de *P. hysterophorus* fue el que mejor controló la población de la maleza en comparación a *H. annuus*, posiblemente debido a la susceptibilidad al extracto. Cabe mencionar que, al realizar el análisis estadístico y la prueba de comparación de medias, los extractos vegetales mostraron diferencias significativas respecto al testigo sin aplicación donde se observaron las poblaciones más altas.

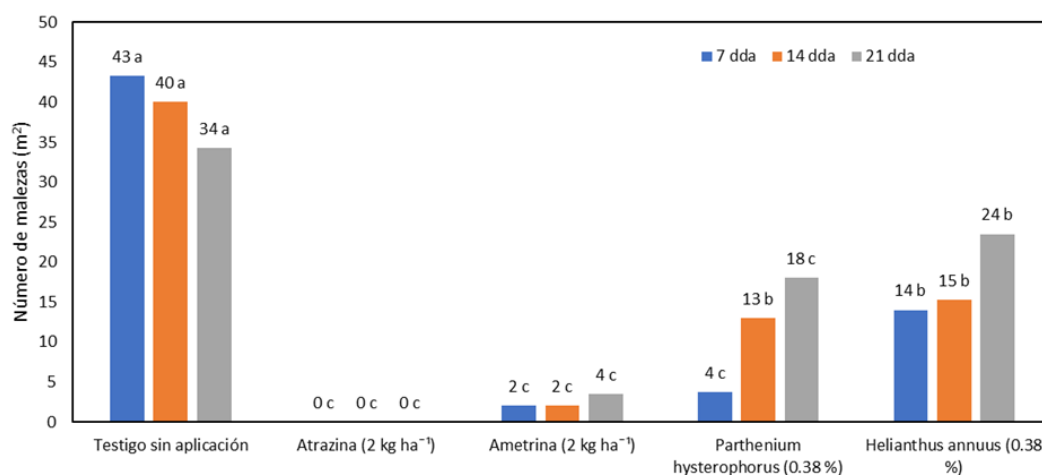


Figura 5. *Sisymbrium irio* (m²) en función de la aplicación de herbicidas y extractos vegetales.

En cuanto, al porcentaje de control sobre las malezas evaluadas se encontró que con la aplicación de atrazina y ametrina se registró un control que osciló entre los 90 hasta 99%, desde los 7 hasta los 21 dda. La atrazina y ametrina son inhibidores de la fotosíntesis y se utilizan principalmente para el control de maleza de hoja ancha (Rosales & Esqueda, 2007). Por otro lado, los extractos vegetales presentaron un control que osciló entre un 76 a 40%, estadísticamente fueron diferentes al testigo sin aplicación, lo cual indica un posible efecto fitotóxico sobre las poblaciones de malezas. Al respecto Aguilar et al. (2024) encontraron que con la aplicación de extractos de *P. hysterophorus* y *H. annuus* se registraron controles de 78 y 74% en diversas malezas dicotiledonias en el cultivo de nopal.

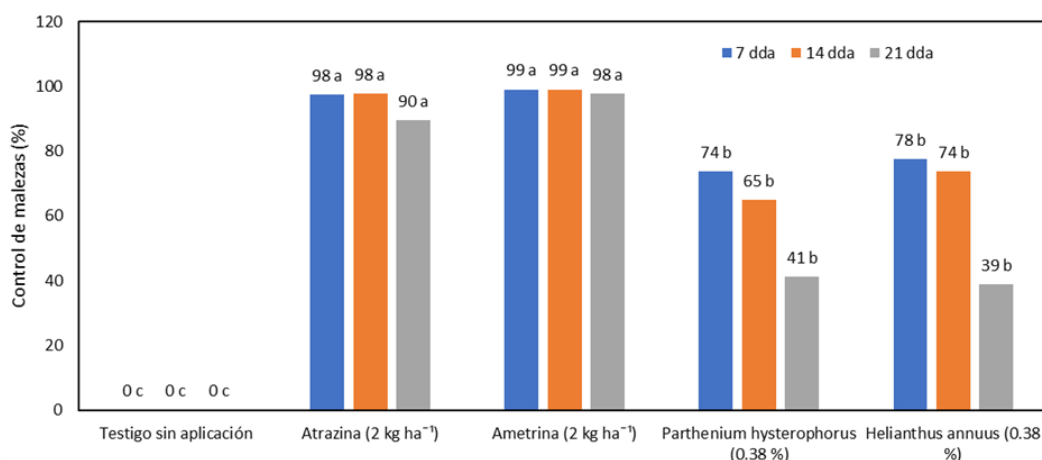


Figura 6. Porcentaje de control de malezas en el cultivo de nopal en función de la aplicación de herbicidas y extractos vegetales.

CONCLUSIÓN

En el estudio se identificaron cuatro especies de malezas dicotiledóneas, que fueron las más predominantes en el cultivo: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), chicalote (*Argemone ochroleuca* Sweet), pata de león (*Erigeron* sp.) y mostacilla (*Sisymbrium irio* L.). El menor número de malezas se logró con la aplicación de ametrina y atrazina, donde el control fue de 90 hasta 99%, seguido de la aplicación de *Helianthus annuus* y *Parthenium hysterophorus* con un control que osciló entre un 76 a 40%, respectivamente, controles que fueron disminuyendo a través del tiempo.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. C., Escalante-Estrada, J. A. S., Pérez, R. A., & Herrera, L. I. E. (2024). *Evaluación de extractos vegetales como herbicidas para el control de malezas en el cultivo de nopal verdura*. Academia Journals Huatulco, 16(8), 1–5.
- Aguilar-Carpio, C., Rangel-Estrada, S. E., Sánchez-Mendoza, S. M., & Pérez-Ramírez, A. (2016). Control químico de maleza en nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(1), 12–16.
- Aguilar-Carpio, C., Beltrán-Mendoza, J. C., Escalante-Estrada, J. A. S., & Pérez-Ramírez, A. (2024). *Efecto de herbicidas en malezas en el cultivo de nopal verdura*. Un Puente Innovador en las Matemáticas y Ciencias Naturales – Chetumal 2024, 1, 1–5.
- Blanco, C., Pérez, L., & Morales, H. (2007). *Efecto alelopático de extractos de Helianthus annuus sobre la germinación en frijol*. *Revista Agrícola Experimental*, 12(3), 45–52.
- Celis, M. A., González, M. A., & Gama, L. (2009). Composición química y propiedades funcionales de la fibra de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y su potencial como ingrediente alimentario. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 271–278.
- Champion, G. T. (2000). *Bright and Field Scale Evaluations of Herbicide Tolerance*. AICC Newsletter.
- Cobb, A. H., & Reade, J. P. H. (2010). *Herbicides and Plant Physiology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Espinosa, F. J., & Sarukhán, J. (1997). *Manual de malezas del Valle de México*. UNAM & Fondo de Cultura Económica.
- Herrera, L. I. E. (2025). *Estimación de herbicidas en la población de malezas y su productividad en nopal para verdura* (Tesis de licenciatura). Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero.
- Maki-Díaz, G., Peña, C., García-Nava, R., & Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49(1), 31–42.
- Moran, L. J., Teede, H. J., & Joham, A. E. (2013). Dietary composition in the treatment of polycystic ovary syndrome. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(4), 520–545.
- Patel, S. (2011). Aspectos nocivos y beneficiosos de *Parthenium hysterophorus*: una actualización. *3 Biotech*, 1, 1–9.
- Rosales, R. E., & Esqueda, V. (2007). *Clasificación y uso de herbicidas por su modo de acción*. INIFAP.
- Rzedowski, G. C. de, & Rzedowski, J. (2010). *Flora fanerogámica del Valle de México* (1a ed. digital). Instituto de Ecología & CONABIO.
- Sepúlveda, J., González, M., & Gama, L. (2003). Composición química y propiedades funcionales de la fibra de nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(3), 271–278.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). *Cierre agrícola*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Verdeguer, M., García, J. M., & García, M. (2020). La cosecha de agua de lluvia en la agricultura: Una revisión de técnicas y aplicaciones. *Revista de Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 1–15.

Efecto de la aplicación combinada de *Azospirillum argentinense* Az39 y fertilizantes químicos sobre el rendimiento del cultivo de maíz

Soledad M. Martín^{1,2*}, Cecilia Cerliani^{1,3}, Paula G. Cardozo^{2,4}, M. Albana Di Palma^{1,2}, Sofia Buzzini², Jorge Ascanope^{1,2}, Matías Rovere², Sonia Fischer^{1,2}, Susana Suárez^{2,4}, Tania Taurian^{1,2}, Claudia Travaglia^{1,2}

¹Universidad Nacional de Río Cuarto, Instituto de Investigaciones Agrobiotecnológicas- CONICET-UNRC, Córdoba, Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas Físicoquímicas y Naturales, Departamento de Ciencias Naturales, UNRC. Córdoba, Argentina. ³Facultad de Agronomía y Veterinaria, Cátedra de Cereales, UNRC Córdoba, Argentina. ⁴Universidad Nacional de Río Cuarto, Instituto de Biotecnología Ambiental y Salud. CONICET-UNRC. Córdoba, Argentina. *Autor para la correspondencia smartin@exa.unrc.edu.ar

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 12/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El maíz es un cultivo clave tanto para la seguridad alimentaria como para la economía mundial. En este contexto, la implementación de estrategias que mejoren la eficiencia en el uso de nutrientes y promuevan prácticas agrícolas sostenibles resulta prioritaria. Una de estas estrategias consiste en la aplicación conjunta de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y fertilizantes químicos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación con *Azospirillum argentinense* Az39, en combinación con fertilizantes químicos, sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Para ello, se llevaron a cabo ensayos a campo durante diferentes campañas agrícolas consecutivas, en dos sitios experimentales pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en el sur de la provincia de Córdoba, Argentina. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, incluyendo tratamientos con fertilizantes químicos (Fosfato Diamónico (FDA) y MicroEssentials® SZ® (MESZ)) aplicados al suelo, junto con tratamientos de inoculación de semillas con óxido de zinc y Az39, en distintas combinaciones, además de un testigo sin tratamiento. Los resultados mostraron aumentos en el rendimiento del maíz en todos los tratamientos en comparación con el control. En particular, la combinación de MESZ con Az39 alcanzó un rendimiento promedio significativamente superior de 8006 kg ha⁻¹, frente a los 5764 kg ha⁻¹ del control. Estos hallazgos indican que la integración de PGPR con fertilización química mejora la productividad del cultivo, optimiza la eficiencia en el uso del fósforo y representa una herramienta valiosa para avanzar hacia una agricultura más sostenible y eficiente en el uso de los recursos naturales.

Palabras clave: Maíz, Seguridad alimentaria, PGPR, *Azospirillum*.

ABSTRACT

Maize is a key crop for both global food security and the economy. In this context, the implementation of strategies that improve nutrient use efficiency and promote sustainable agricultural practices is a priority. One such strategy involves the combined application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and chemical fertilizers. This study aimed to evaluate the effect of inoculation with *Azospirillum argentinense* Az39, in combination with chemical fertilizers, on maize yield. To this end, field trials were conducted over several consecutive growing seasons at two experimental sites belonging to the Faculty of Agronomy of the National University of Río Cuarto, in the southern part of Córdoba Province, Argentina. The experimental design was completely randomized and included treatments with chemical fertilizers (Diammonium Phosphate (DAP) and MicroEssentials® SZ® (MESZ)) applied to the soil, along with seed inoculation treatments using zinc oxide and Az39 in various combinations, as well as an untreated control. The results showed yield increases in all treatments compared to the control. In particular, the combination of MESZ with Az39 achieved a significantly higher average yield of 8006 kg ha⁻¹, compared to 5764 kg ha⁻¹ for the control. These findings indicate that integrating PGPR with chemical fertilization enhances crop productivity, optimizes phosphorus use efficiency, and represents a valuable tool for advancing toward more sustainable and resource-efficient agriculture.

Key words: Maize, Food Security, PGPR, *Azospirillum*.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L) es fundamental para la seguridad alimentaria mundial, ya que es uno de los cereales más cultivados y consumidos, proporcionando una fuente clave de energía y nutrientes para millones de personas. Además, tiene un gran impacto económico al ser materia prima esencial para la industria alimentaria, ganadera y de biocombustibles, generando empleo e ingresos en numerosos países. Sin embargo, el aumento de los costos de fertilización y la necesidad de reducir el impacto ambiental de la agricultura intensiva impulsan la búsqueda de tecnologías que mejoren la eficiencia del uso de nutrientes y promuevan prácticas más sostenibles (Andrade et al., 2000; Telles et al., 2023).

El maíz es un cultivo exigente que encuentra su limitación en la oferta de agua y la nutrición de este. Por lo que, el correcto ajuste de la fertilización es una de las principales prácticas de manejo agronómico que permite maximizar la eficiencia en el uso del agua y reducir la brecha entre el rendimiento real y el rendimiento potencial limitado por agua o alcanzable al rendimiento durante los ciclos húmedos en factores nutricionales. En cuanto a nutrientes, este cultivo se caracteriza por una alta demanda de fertilizantes nitrogenados (Echeverría & Sainz Rozas, 2015). Además de nitrógeno (N), el fósforo (P) es otro macronutriente que exhiben una alta probabilidad de respuesta a su aplicación. Este es el segundo nutriente que limita la producción y, además, si está en niveles deficientes, condiciona la respuesta a la fertilización nitrogenada. El indicador de suelos que mejor se relaciona con la disponibilidad de P es el P Bray. Para la región pampeana argentina se ha definido un umbral de P Bray entre 12 y 18 ppm (García et al., 2015).

La falta de reposición y la actividad agrícola continua han producido una disminución de la disponibilidad de otros nutrientes, lo que ha generado que actualmente sean limitantes, entre ellos se destaca el zinc. En la región pampeana existen estudios que definen probabilidades de respuestas asociadas a diferentes disponibilidades de Zn en el suelo extraído con DTPA para maíz (Barbieri et al., 2017; Martínez Cuesta et al., 2020) y se ha definido un rango en maíz de 0,86 a 1,30 mg kg⁻¹.

El empleo de bioinsumos basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés) muestran potencial para reducir el uso de fertilizantes químicos, mejorar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos a través de mecanismos directos e indirectos (Ma et al., 2018). Como parte de las PGPB podemos destacar aquellas pertenecientes al género *Azospirillum*, las cuales debido a los numerosos y variados efectos benéficos sobre las plantas es que se han utilizado en las formulaciones de bioinsumos en la agricultura a nivel mundial (Santos et al., 2021). Entre sus mecanismos benéficos sobre las plantas, se destacan principalmente la fijación biológica del nitrógeno y la síntesis de fitohormonas (Nguyen et al., 2019; Scudeletti et al., 2023). Dentro de este género podemos destacar a la cepa *Azospirillum argentinense* Az39 (anteriormente *A. brasilense* Az39, Dos Santos Ferreira et al., 2022) la cual fue aislada de la rizosfera del trigo en 1982 en Córdoba, Argentina (Díaz-Zorita & Fernández-Canigia, 2009), y fue seleccionada por su capacidad para aumentar los rendimientos de trigo y maíz. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inoculación con *Azospirillum argentinense* Az39 en combinación con distintos fertilizantes químicos, sobre el rendimiento del cultivo de maíz en condiciones de campo, en distintas campañas agrícolas consecutivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y diseño. Los ensayos se llevaron a cabo durante cuatro campañas agrícolas en dos lotes experimentales pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicados en el sur de la provincia de Córdoba, Argentina. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por tratamiento. Se trabajó con el híbrido de maíz BREVANT NEXT 22.6 PWU (Madurez relativa: 122) y se llevó a cabo una siembra tardía en los meses de noviembre-diciembre, con una densidad de 65000 semillas ha⁻¹. Se utilizó una unidad

experimental (parcela), representada por 7 surcos de ancho por 10 m de largo, con pasillos entre bloques de 0.7 m. El ciclo del cultivo se llevó a cabo bajo secano.

Los tratamientos contemplaron la combinación de la inoculación con *A. argentinense* cepa Az39 y los fertilizantes químicos fosfato diamónico (FDA, 18N-46P) y MicroEssentials® SZ® (MESZ, N12-40P-S10-Zn1) aplicados al suelo, como así también con óxido de zinc aplicado a nivel de semilla (ZnO). El inoculante a base de *A. argentinense* Az39 se aplicó en dosis de 9 mL (108 UFC mL⁻¹) por kg de semilla. Los ensayos contaron con un testigo sin tratamiento.

Así, los tratamientos consistieron en: Control: Control, semillas de maíz sin inocular y sin fertilizar; FDA: Semillas de maíz sin inocular y fertilización al suelo con 80 kg ha⁻¹ de FDA; ZnO+Az: Semillas de maíz inoculadas con Az39 e impregnadas con 1,35 kg ha⁻¹ de ZnO; FDA+ZnO+Az: Semillas de maíz inoculadas con Az39 e impregnadas con 1.35 kg ha⁻¹ de ZnO y fertilización al suelo con 80 kg ha⁻¹ de FDA; FDA+Az: Semillas de maíz inoculadas con Az39 y fertilización al suelo con 80 kg ha⁻¹ de FDA; MESZ: Semillas de maíz sin inocular y fertilización del suelo con 135 kg ha⁻¹ de MESZ; MESZ +Az: Semillas de maíz inoculadas con Az39 y fertilización del suelo con 135 kg ha⁻¹ de MESZ. En todos los tratamientos se realizó una re-fertilización con N (200 kg ha⁻¹ de urea) en V6.

Al momento de la cosecha se determinó el rendimiento de grano (kg ha⁻¹) como variable principal, para lo cual se tomaron 4 muestras de 5 metros lineales de espigas de plantas en competencia perfecta, a una humedad de grano del 13%. Con estas muestras se determinó peso de grano por cada espiga, para luego con el dato de densidad calcular el rendimiento del cultivo. Además, se evaluó la eficiencia en el uso del fósforo (EUP) mediante la relación entre el rendimiento obtenido y el fósforo aplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los tratamientos empleados mostraron incrementos en el rendimiento con respecto al control sin tratamiento (Figura 1). Particularmente, el tratamiento combinado de MESZ + Az39 presentó el mayor rendimiento promedio, con 8006 kg ha⁻¹, superando significativamente al tratamiento control, que obtuvo un rendimiento de 5764 kg ha⁻¹. Esto podría explicarse por la acción del fertilizante MESZ, el cual, gracias a su tecnología avanzada, suministra fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) de forma homogénea y en presentaciones que favorecen su disponibilidad en el suelo (The Mosaic Company). La presencia de estos nutrientes es fundamental: el fósforo resulta clave para el desarrollo radicular y los procesos energéticos celulares (ATP), el azufre participa en la síntesis de proteínas, y el zinc interviene en la producción de auxinas y enzimas esenciales para el crecimiento vegetal (Hajabbasi & Schumacher, 1994; Zhao y McGrath, 2009; Zhou et al., 2017). De este modo, la aplicación de MESZ podría estar corrigiendo deficiencias nutricionales comunes en muchos suelos, que no son completamente atendidas por fertilizantes tradicionales como el fosfato diamónico (FDA). Adicionalmente, la acción de *A. argentinense*, bacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR), contribuye al desarrollo del cultivo mediante diversos mecanismos, como la fijación de nitrógeno atmosférico y la producción de fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas), que estimulan el crecimiento radicular (Cassán et al., 2020). Esto se traduce en una mayor absorción de nutrientes y una mejora en el estado hídrico de la planta. En conjunto, la sinergia entre el fertilizante MESZ y el inoculante *Azospirillum* favorecería una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y un mejor desarrollo de las plantas desde etapas tempranas, lo que se refleja en el incremento del rendimiento observado. En relación con estos resultados, Pautasso & Rotondaro (2022), llevaron a cabo ensayos en campos de productores durante 3 campañas en diversas localidades de la provincia de Entre Ríos, Argentina, para evaluar el efecto de la aplicación de P, S y Zn a partir de un producto comercial (composición: 12N-17,5P-10S-1Zn) versus el fosfato diamónico (Composición: 18N-20P). Allí concluyeron que, el uso de fuentes de fertilizantes alternativas a las tradicionales, que agreguen azufre y zinc mejora la respuesta en el cultivo de maíz a la fertilización en la siembra. Ruffo et al. (2016) llevaron a cabo un ensayo para evaluar la aplicación de un fertilizante complejo como el MESZ (12N–

40P-0K-10S-1Zn) en comparación con diferentes dosis de fosfato monoamónico (MAP) + sulfato de amonio (AS) + sulfato de zinc (ZnSO_4), y observaron que la respuesta del rendimiento del maíz a la aplicación del fertilizante complejo fue significativamente mayor que la respuesta obtenida a la aplicación de una mezcla física con la misma tasa de Zn.

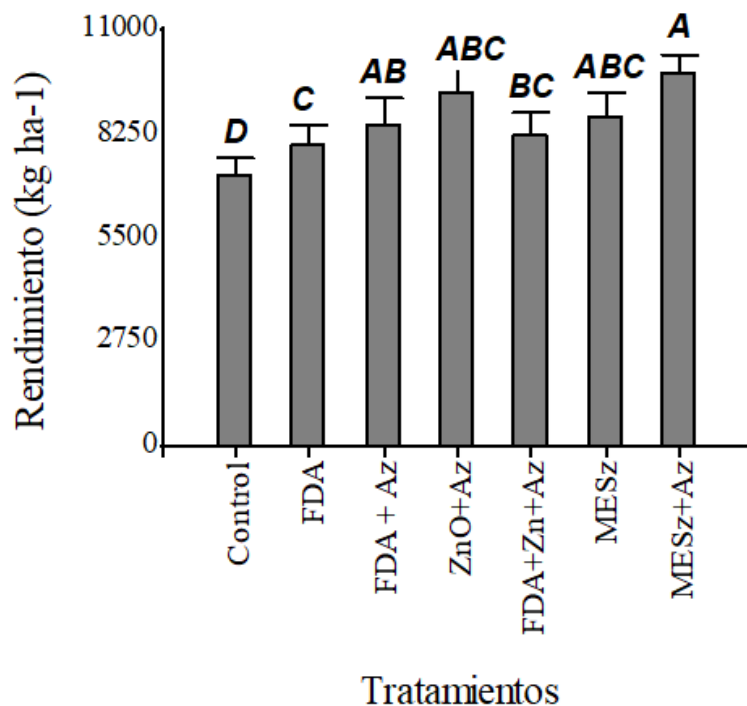


Figura 1. Rendimiento (kg ha^{-1}) de maíz promedio en función de los tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.1$; Test de Duncan).

Asimismo, se observó una mejora en la eficiencia en el uso del fósforo en los tratamientos con Az39 combinados a los fertilizantes químicos, MESz y FDA, ésta última combinación también se vio potenciada con la adición de ZnO a la semilla (Figura 2). Este comportamiento puede explicarse por una serie de interacciones fisiológicas y bioquímicas entre el fósforo (P), el zinc (Zn) y la acción promotora de crecimiento de *Azospirillum*. En primer lugar, la inoculación con *Azospirillum argentinense* estimula el crecimiento del sistema radicular a través de la producción de fitohormonas, principalmente auxinas, lo cual incrementa la exploración del suelo y, por ende, la absorción de nutrientes poco móviles como el fósforo (Bashan et al., 2004). Por otro lado, la aplicación conjunta de P y Zn en dosis equilibradas ha demostrado generar un efecto sinérgico en el cultivo de maíz, favoreciendo tanto la absorción como la utilización de estos nutrientes por la planta. El zinc participa en la síntesis de triptófano, precursor del ácido indolacético (AIA), una auxina que contribuye al crecimiento radicular, y en la activación de enzimas relacionadas con el metabolismo del fósforo (Cakmak, 2008; Zhou et al., 2017). En línea con estos resultados, Sánchez-Rodríguez et al. (2021) reportaron que la fertilización combinada con P y Zn incrementó significativamente la eficiencia de uso de ambos nutrientes en grano de maíz, en comparación con su aplicación individual. Estos hallazgos refuerzan la idea de que una adecuada nutrición combinada con tecnologías biológicas puede potenciar el aprovechamiento de los nutrientes aplicados y mejorar el rendimiento del cultivo.

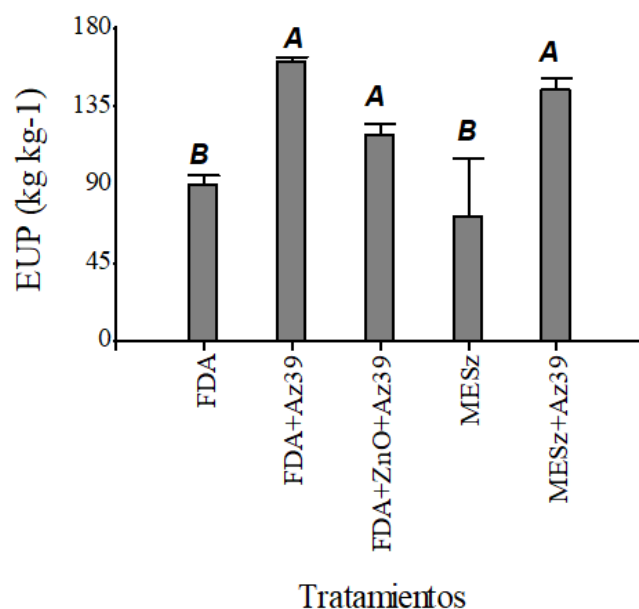


Figura 2. Eficiencia del uso de fósforo (EUP, kg kg⁻¹) promedio de los fertilizantes de acuerdo con los diferentes tratamientos realizados. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.1$; Test de Duncan).

CONCLUSIÓN

La integración de tecnologías biológicas como *Azospirillum argentinense* con fertilizantes químicos balanceados mejoró significativamente el rendimiento del maíz y la eficiencia en el uso de nutrientes, especialmente fósforo y zinc. En particular, la combinación de Az39 con fertilizantes como MESZ o fosfato diamónico (FDA), y la adición de zinc a la semilla, potenció significativamente la absorción y utilización del fósforo, gracias a mecanismos sinérgicos entre estos elementos. La acción de *Azospirillum* al estimular el desarrollo radicular, junto con el papel del zinc en la síntesis de fitohormonas y en la actividad enzimática relacionada con el metabolismo del fósforo, contribuiría a una mayor eficiencia nutricional. Esta sinergia no solo favorece el crecimiento vegetal, sino que también promueve una agricultura más sustentable, al mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes. Esto permitiría reducir las dosis de fertilizantes sintéticos necesarios para alcanzar altos rendimientos, minimizando así el impacto ambiental asociado a su uso excesivo. Así, el uso combinado de bioinsumos y fertilizantes modernos se presenta como una estrategia efectiva para lograr sistemas agrícolas más productivos y ambientalmente responsables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional de Río Cuarto, en particular a la Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales y a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, como así al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Por facilitar el uso de laboratorio, material, personal de apoyo y de los campos experimentales, así como el aporte del financiamiento para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Andrade, F.H., Echeverría, S.E., González, N.S. y Uhart, S.A. (2000). Requisitos de nutrientes minerales. En Andrade, F.H. & Sadras, V.O. (eds.). *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. EEA Balcarce INTA - FCA, UNMdP. Balcarce, Argentina. pp. 207–231.

- Barbieri, P.; Sainz Rozas, H.; Wyngaard, N.; Eyherabide, M.; Reussi Calvo, N.; Salvagiotti, F.; Correndo, A.; Barbagelata, P.; Espósito Goya, C.; Colazo, J. y Echeverría, H. (2017). Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in maize? *Soil Science Society of America Journal*, 81(3), 556–563.
- Bashan, Y., Holguin, G., & de-Bashan, L. E. (2004). Azospirillum–plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(8), 521–577.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1–2), 1–17.
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., & Donadio, F. (2020). *Azospirillum* spp. as a model PGPR for agronomic use. *Research in Microbiology*, 171(6–7), 343–355.
- Díaz-Zorita, M. & Fernández-Canigia, M.V. (2009). Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, 45(1), 3–11.
- dos Santos Ferreira, N., Coniglio, A., Puente, M., Sant’Anna, F.H., Maroniche, G., García, J., ... Cassán, F. (2022). Genome-based reclassification of *Azospirillum brasilense* Az39 as the type strain of *Azospirillum argentinense* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 72, 005475.
- Echeverría, S.E. & Sainz Rozas, R.R.H.H. (2015). Nitrógeno. En: Echeverría, H.E. & García, F.O. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (2a ed.). INTA, Buenos Aires. pp. 189–228.
- García, F.; Picone, L. & Ciampitti, I. (2015). Fósforo. pp. 229–264 en Echeverría, H.E. & García, F.O. (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Hajabbasi, M.A. & Schumacher, T.E. (1994). Phosphorus effects on root growth and development in two maize genotypes. *Plant and Soil*, 158(1), 39–46.
- Ma, M., Jiang, X., Wang, Q., Guan, D., Li, L., Ongena, M., & Li, J. (2018). Isolation and identification of PGPR strain and its effect on soybean growth and soil bacterial community composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(6), 1289–1297.
- Martínez Cuesta, N.; Wyngaard, N.; Sainz Rozas, H.; Reussi Calvo, N.; Carciochi, W.; Eyherabide, M.; Colazo, J.; Barraco, M.; Guertal, E.; & Barbieri, P. (2020). Determining Mehlich-3 and DTPA extractable soil zinc optimum economic threshold for maize. *Soil Use and Management*, 37, 736–748.
- Nguyen, M.L., Spaepen, S., Du, J.P., & Delaplace, P. (2019). Biostimulant effects of rhizobacteria on wheat growth and nutrient uptake depend on nitrogen application and plant development. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(1), 58–73.
- Pautasso, J.M. & Rotondaro, R. (2022). Respuesta del rendimiento del maíz a fósforo, azufre y zinc en la provincia de Entre Ríos, Argentina. *XII Congreso Nacional de Maíz*. <https://core.ac.uk/download/pdf/555466638.pdf>
- Ruffo, M., Olson, R., & Daverede, I. (2016). Maize Yield Response to Zinc Sources and Effectiveness of Diagnostic Indicators. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2), 137–141.
- Sánchez-Rodríguez, A.R., Rey, M.D., Nechate-Drif, H., Castillejo, M.A., Jorrín-Novó, J.V., Torrent, J., del Campillo, M.C., & Sacristán, D. (2021). Combining P and Zn fertilization to enhance yield and grain quality in maize grown on Mediterranean soils. *Scientific Reports*, 11, 7427.
- Santos, M.S., Nogueira, M.A., & Hungria, M. (2021). Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, e0200128.
- Scudeletti, D., Crusciol, C.A.C., Momesso, L., Bossolani, J.W., Moretti, L.G., De Oliveira, E.F., Tubaña, B.S., Silva, M.D.A., De Castro, S.G.Q., & Hungria, M. (2023). Inoculation with *Azospirillum brasilense* as a strategy to enhance sugarcane biomass. *European Journal of Agronomy*, 144, e126749.
- Telles, T.S., Nogueira, M.A., & Hungria, M. (2023). Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, 31, e103158.
- The Mosaic Company. (s.f.). *MicroEssentials® SZ: Fertilizante de tecnología avanzada*. Recuperado el 16 de abril de 2025 de <https://www.cropnutrition.com/crop-nutrition/microessentials>
- Zhao, F.J. & McGrath, S.P. (2009). Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 373–380.
- Zhou, B., Zhang, J.-Y., Yi, Y., & Wang, H. (2017). Effects of zinc deficiency on root growth, endogenous auxin content and key auxin transport genes expressions in maize roots. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 23(5), 1352–1358.

Eficacia de una cepa nativa de *Beauveria bassiana* asociada a suelos cultivados con nopal verdura

Yolotzin Castillo-Barrera¹, Evert Villanueva-Sánchez^{1*}, Jaime Alfredo Urzúa-Gutiérrez¹, Clemente Villanueva-Verduzco¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México. *Autor para correspondencia: evillanueva@secihti.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 15/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

La polilla de la cera (*Galleria mellonella* L.), un lepidóptero que se alimenta de cera y otros compuestos orgánicos, causa serios daños en su fase larval al perforar los panales dejando residuos fecales que afectan negativamente la calidad de los productos apícolas. Este insecto suele proliferar principalmente en colmenas debilitadas y en marcos de cera almacenados, particularmente en zonas de clima cálido (Ivars, 2016). Además de su impacto como plaga, *G. mellonella* es ampliamente utilizada como organismo modelo en investigaciones científicas, especialmente en los campos de la microbiología y la parasitología. Bajo el contexto del control biológico, los hongos entomopatógenos desempeñan un papel crucial en la regulación de poblaciones de insectos dentro de los agroecosistemas. Su eficacia está determinada tanto por la susceptibilidad del insecto hospedero como por la especificidad de la interacción patógeno-hospedero (Díaz et al., 2006). Son microorganismos que infectan y matan insectos, desempeñando un papel crucial en el control natural de poblaciones de plagas. Estos hongos penetran la cutícula del insecto, se desarrollan en su interior y liberan toxinas que provocan la muerte de su hospedero. Especies como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son comúnmente usados en estrategias de control biológico por su eficacia y bajo impacto ambiental. Su aplicación representa una alternativa sostenible a los plaguicidas químicos en la agricultura moderna. En el presente trabajo, se evaluó la eficacia de *B. bassiana* cepa BbNop-p4 en tres concentraciones distintas (T1: 1×10^8 , T2: 1×10^7 y T3: 1×10^6 conidios) sobre larvas de *G. mellonella* criadas bajo condiciones controladas en una cámara de cría. El tratamiento más efectivo fue T1 (1×10^8 conidios), el cual logró una mortalidad del 100% de las larvas en un periodo de 20 días.

Palabras clave: Plaga, hongo entomopatógeno, *Beauveria bassiana*, mortalidad.

ABSTRACT

The wax moth (*Galleria mellonella* L.), a lepidopteran that feeds on wax and other organic compounds, causes serious damage during its larval stage by perforating honeycombs and leaving fecal residues that negatively affect the quality of beekeeping products. This insect tends to proliferate mainly in weakened hives and stored wax frames, particularly in warm climate regions (Ivars, 2016). In addition to its impact as a pest, *G. mellonella* is widely used as a model organism in scientific research, especially in the fields of microbiology and parasitology. In the context of biological control, entomopathogenic fungi plays a crucial role in regulating insect populations within agroecosystems. Their effectiveness is determined both by the susceptibility of the host insect and the specificity of the pathogen-host interaction (Díaz et al., 2006). These microorganisms infect and kill insects, playing a vital role in the natural control of pest populations. They penetrate the insect's cuticle, develop inside the host, and release toxins that ultimately cause its death. Species such as *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* are commonly used in biological control strategies due to their effectiveness and low environmental impact. Their application represents a sustainable alternative to chemical pesticides in modern agriculture. In the present study, the efficacy of *B. bassiana* strain BbNop-p4 was evaluated at three different concentrations (T1: 1×10^8 , T2: 1×10^7 , and T3: 1×10^6 conidia) on *G. mellonella* larvae reared under controlled conditions in a breeding chamber. The most effective treatment was T1 (1×10^8 conidia), which achieved 100% larval mortality within 20 days.

Key words: Pest, entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, mortality.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es la actividad que se encarga de la producción de un cultivo en el suelo, es clave para el suministro de alimentos, materias primas además de generar empleo (SADER, 2023). Las plagas y enfermedades agrícolas generan pérdidas importantes, especialmente en sistemas de Agricultura de Conservación donde los residuos vegetales favorecen la proliferación de patógenos (SIAP, 2016). Actualmente se promueven métodos más amigables con el medio ambiente y con la salud humana para combatir estos patógenos. Según el Instituto Europeo de Química, Física y Biología (2024) el control biológico permite regular las poblaciones plaga a través del uso de organismos vivos. Con los años se ha convertido en una técnica más eficaz y ecológica comparándola con los pesticidas químicos, además de reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud. En este método de control se utilizan organismos naturales como depredadores, patógenos o parasitoides. (Sempere & Santamarina, 2008).

Dentro de los organismos empleados para este tipo de control se encuentra el grupo de los hongos entomopatógenos, el cual cuenta con distintas especies que en la actualidad son muy utilizadas por su gran efectividad, una de las más importantes pertenece al género *Beauveria* (Montesinos-Matías et al., 2015). *Beauveria bassiana* es un hongo universal que ataca a más de 200 especies de insectos, dentro de las plagas más comunes se encuentran algunas especies de picudos, algunas especies de langosta, trips y algunas especies de larvas de lepidópteros. Las características morfológicas del hongo describen que es de aspecto algodonoso pulverulento de color blanco y cuando la colonia va envejeciendo se vuelve a un tono amarillo cremoso (Blanco, 2022). El mecanismo de acción del hongo comienza en la espora al tener contacto con la superficie del insecto, este paso se le conoce como adhesión, posteriormente sobre la superficie del insecto la espora desarrolla un tubo germinativo y un órgano sujetador llamado apresorio, este le va a permitir fijarse. A continuación, penetra al insecto por sus partes blandas gracias a mecanismos físicos como la presión y a mecanismos químicos como el uso de enzimas, todo esto ocasiona la muerte del hospedante y da fin a la etapa del parasitismo lo que ocasiona el inicio de la etapa saprofítica que es cuando el hongo utiliza el cuerpo del insecto para multiplicarse y generar nuevas esporas que podrán infectar nuevos insectos (Blanco, 2022). Por estas razones, el objetivo del presente trabajo fue el de evaluar la eficacia de *B. bassiana* en diferentes concentraciones sobre la mortalidad de larvas de *G. mellonella* criadas bajo condiciones controladas, como alternativa de control biológico frente a esta plaga de importancia apícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció una cría de *G. mellonella* bajo condiciones controladas ($27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, H.R. $60\% \pm 10\%$), con la finalidad de contar con material biológico suficiente para realizar los bioensayos correspondientes, en el Laboratorio de Patología de Insectos perteneciente al Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron recipientes de plástico con capacidad de 1L, con tapa y orificios. La dieta artificial consistió en salvado de trigo (600 g), maíz molido (340 g), miel de abeja (500 ml.) y levadura de cerveza (60 g), con la cual fueron alimentadas las larvas (Figura 1). En cuanto las larvas se convertían en pupas se retiraban de los botes que contenían la dieta artificial y eran trasladadas a nuevos recipientes de plástico con las mismas características mencionadas anteriormente, pero sin dieta y solo con un abanico de papel encerado, sobre el cual las hembras ovipositaban los huevos. Para asegurar ejemplares sanos se realizó un proceso de desinfección en la etapa de huevo con formalina al 0.1%.

La cepa nativa de *B. bassiana* BbNop-p4 fue proporcionada por la Dra. Evert Villanueva Sánchez Investigadora por México de la SECIHTI, la cual se encuentra preservada en el cepario del Área de Citometría de Flujo del Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF). Para el establecimiento del bioensayo se obtuvieron las concentraciones de acuerdo con un conteo de esporas: T1: 1×10^8 , T2: 1×10^7 , T3: 1×10^6 conidios y T4: Tween 80 al 0.03% (Testigo).

Se ocuparon 4 placas de cultivo desechable de plástico marca Biologix con 12 orificios cada una, se utilizaron 12 larvas por placa y se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, lo que resultó en un total de 144 larvas. Se realizaron dos repeticiones en el tiempo. El proceso de infección se llevó a cabo mediante la inmersión de cada larva durante 10 segundos en su tratamiento respectivo.



Figura1. Cría de *Galleria mellonella*. a) Dieta utilizada para la cría, b) Larvas de *G. mellonella* en el sustrato, c) Separación de pupas, d) Recipiente con adultos de *Galleria*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron indicaron que hubo diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0001$) en la mortalidad de las larvas de *G. mellonella* en los distintos tratamientos. El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias significativas entre las dos repeticiones realizadas en el tiempo. Asimismo, se identificó que el tratamiento 1 (1×10^8) fue el más efectivo, logrando una mortalidad del 100% en las larvas. La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey reveló la existencia de tres grupos distintos, sin diferencias significativas entre los tratamientos 1 (1×10^8) y 2 (1×10^7) (Figura 2). A esas concentraciones, las larvas comenzaron a morir a partir del segundo día en el tratamiento 1 y del tercer día en el tratamiento 2, en contraste con el tratamiento 4 (Testigo, Tween 80 al 0.03%), donde la mortalidad apenas alcanzó el 11% de las larvas. Se sugiere que la muerte de las larvas del tratamiento 4 (8.3% y 13.8% en la primer y segunda repetición respectivamente), donde se utilizó Tween 80 al 0.03%, se debió a diversos factores como el estrés y factores ambientales como lo mencionan Realpe et al. (2007), quienes determinaron la mortalidad natural de los diferentes estadios de *G. mellonella* a una humedad relativa del 80% en distintas temperaturas, en sus resultados se observó un porcentaje de mortalidad de larvas del 66.4% al 71.5% entre 30°C y 20°C respectivamente, se sugiere que estos factores, humedad y temperatura, influyeron en el porcentaje de mortandad de las larvas en el tratamiento 4 (Testigo, Tween 80 al 0.03%), además, estas larvas no

presentaron síntomas de infección por hongos, no desarrollaron manchas negras en la cutícula y posterior a su muerte no presentaron rigidez. Hussein et al. (2012) obtuvieron resultados similares a los obtenidos en esta investigación, los aislados de *B. bassiana* BbaAUMC3076, BbaAUMC3263 y ManAUMC3085 tuvieron una mortalidad del 100% en concentraciones de 5.5×10^6 conidios ml^{-1} , 5.86×10^5 conidios ml^{-1} y 4.8×10^6 conidios ml^{-1} respectivamente. También afirman que la cutícula de las larvas infectadas se volvió oscura y con manchas negras, lo que indicó un ataque directo del hongo al sistema de defensa del insecto.

En cuanto al tiempo de reacción de la larva a la infección se encontraron similitudes con el trabajo presentado por Oreste et al. (2012), donde se probó la patogenicidad de 23 aislados de *B. bassiana* y cuatro de *M. anisoplae* frente a larvas de *G. mellonella* y *Tenebrio molitor* en ensayos de laboratorio utilizando suspensiones de 2×10^6 conidios ml^{-1} , donde los dos aislados de *B. bassiana* (AL1 y ALB55) mataron las larvas de *G. mellonella* en el menor tiempo (MST de 2.2 y 2.3 días respectivamente).

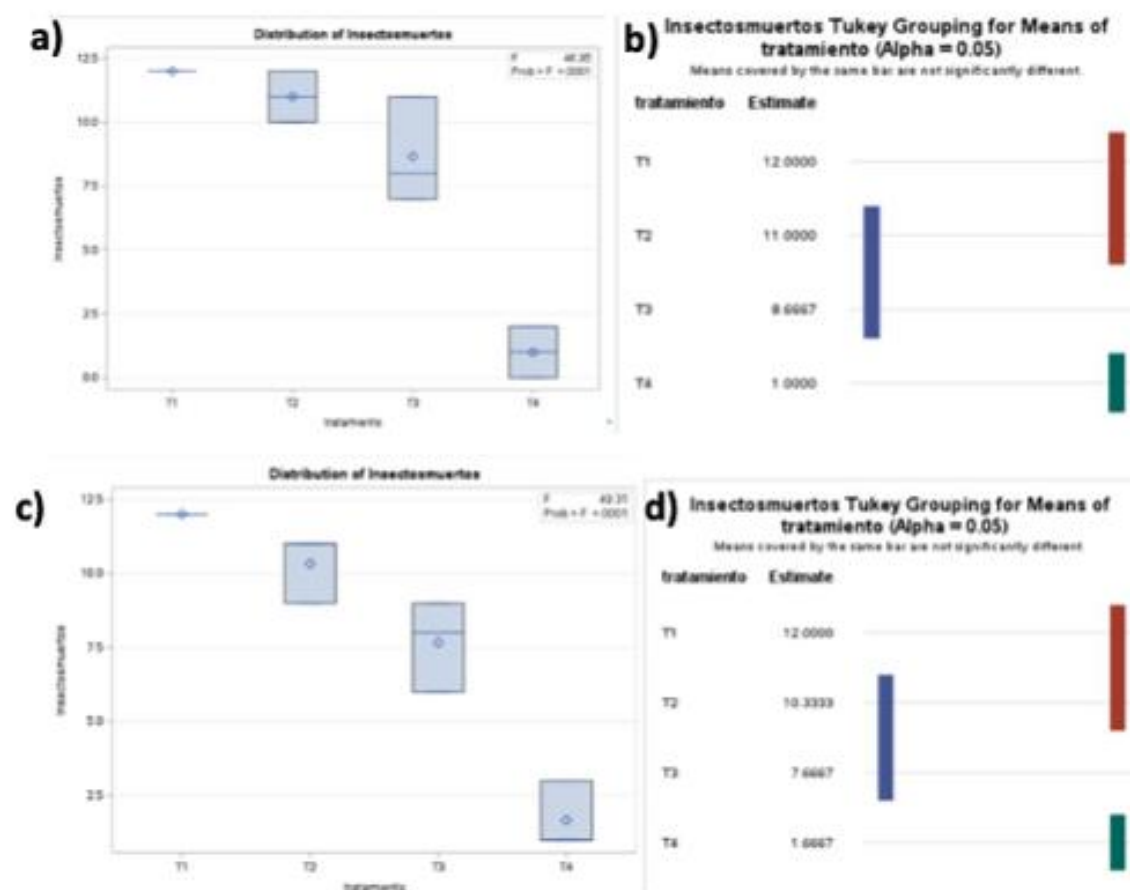


Figura 2. Resultados del análisis estadístico. a) Distribución de insectos muertos por Tratamiento (primera repetición), b) Agrupación de medias según el análisis por el método de Tukey, c) Distribución de insectos muertos por tratamiento (segunda repetición), d) Agrupación de medias según el análisis por el método de Tukey.

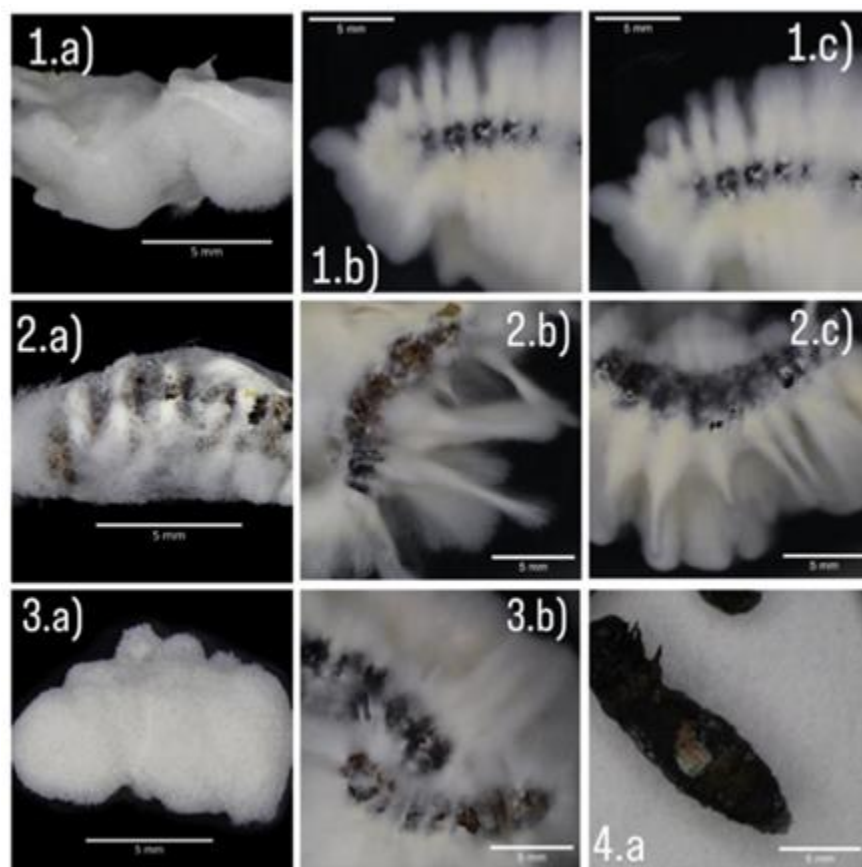


Figura 3. Esporulaci3n del hongo en las larvas infectadas. Tratamiento 1 (1.a, 1.b, 1.c), Tratamiento 2 (2.a, 2.b, 2.c), Tratamiento 3 (3.a, 3.b), Tratamiento 4 (4a).

CONCLUSIÓN

La cepa nativa BbNop-p4 de *B. bassiana* demostr3 ser eficaz a una concentraci3n m3nima de 1×10^8 , logrando una mortalidad total (100%) de larvas de *G. mellonella* en un periodo de 20 d3as. Esto sugiere que, debido a su efectividad, representa una alternativa altamente viable frente a los productos qu3micos que presentan igual o menor capacidad para el control de insectos plaga en el cultivo de nopal verdura. Dado que los hongos entomopatógenos comerciales ofrecen diversas ventajas, se propone priorizar el uso de cepas nativas, ya que estas poseen un mayor potencial al estar naturalmente presentes en el entorno, adaptadas a las condiciones ambientales. Se recomienda continuar con la investigaci3n mediante nuevos bioensayos para evaluar la interacci3n del hongo entomopatógeno con otros organismos, con el objetivo de integrarlo de forma efectiva dentro de un programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo incondicional de la Dra. Evert Villanueva S3nchez, sin su ayuda no hubiera sido posible esta investigaci3n. Tambi3n se reconoce el apoyo t3cnico del Laboratorio Nacional de Investigaci3n y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF), as3 como la colaboraci3n del Dr. Jaime Alfredo Urz3a Guti3rrez en el an3lisis estad3stico de los datos.

REFERENCIAS

- Blanco, S. (2022). *Uso de bioinsecticidas: Beauveria bassiana*. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/51284/RIUNNE_FCA_AR_Blanco-Sirio-Roldan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hussein, K. A., Abdel-Rahman, M. A., Abdel-Mallek, A. Y., El-Maraghy, S. S., & Joo, J. H. (2012). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against *Galleria mellonella*. *Phytoparasitica*, 40(2), 117-126.
- Instituto Europeo de Química, Física y Biología. (2024). *¿Qué es el control biológico y qué tipos hay?* Recuperado el 5 de abril de 2025, de <https://ieqfb.com/que-es-control-biologico/>
- Ivars, J. (2016). *La polilla de la cera: Cómo prevenirla y combatirla*. La Tienda del Apicultor. Recuperado el 10 de enero de 2024, de <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/que-es-la-polilla-la-cera-y-tratamiento/>
- Montesinos-Matías, R., Ayala-Zermeño, M. A., & Berlanga-Padilla, A. M. (2015). *Manual para la conservación y mantenimiento de hongos entomopatógenos* (p. 59). Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, SAGARPA-SENASICA. ISBN: 978-968-5384-08-7
- Oreste, M., Bubici, G., Polisenio, M., Triggiani, O., & Tarasco, E. (2012). Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin frente a *Galleria mellonella* L. y *Tenebrio molitor* L. en ensayos de laboratorio. *Redia*, 95, 43-48.
- Pucheta Díaz, M., Flores Macías, A., Rodríguez Navarro, S., & de la Torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12), 856-860.
- Realpe, F. J., Bustillo, A. E., & López, J. C. (2008). Optimización de la cría de *Galleria mellonella* L para la producción de nematodos entomopatógenos parásitos de la broca del café.
- Realpe-Aranda, F. J., Bustillo-Pardey, A. E., & López-Núñez, J. C. (1960). Optimización de la cría de *Galleria mellonella* (L.) para la producción de nematodos entomopatógenos parásitos de la broca del café. *Cenicafé*.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023, 29 de junio). *Hablemos de... la agricultura en México (Parte 1)*. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hablemos-de-la-agricultura-en-mexico-parte-1>
- Sempere, F., & Santamarina, M. P. (2008). *Los hongos como agentes de control biológico*. *Phytohemeroteca*, (203). Recuperado el 27 de abril de 2024, de <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/203-noviembre-2008/los-hongos-como-agentes-de-control-biologico>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016, 3 de mayo). *El impacto de las plagas y enfermedades en el sector agrícola*. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-impacto-de-las-plagas-y-enfermedades-en-el-sector-agricola>.

El rol protector de *Trichoderma harzianum* item 3636 frente al deterioro post cosecha de frutos de tomate ocasionado por *Alternaria* spp.

Javier A. Andrés^{1*}, Lorena B. Guiñazú¹, Valeria A. Autrán¹, Nicolás A. Pastor²

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), ²Instituto de Micología y Micotoxilogía (IMICO) UNRC-CONICET. *Autor de correspondencia: jandres@ayv.unrc.edu.ar

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 16/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El cultivo del tomate es afectado por diversas enfermedades, entre ellas las causadas por el género *Alternaria*, ampliamente distribuido en la naturaleza y que incluye especies patógenas que pueden infectar los cultivos a campo o causar importantes daños en post cosecha. La infección se visualiza como lesiones de color marrón oscuro a negro, lisas, ligeramente hundidas, de textura firme y que pueden alcanzar varios centímetros de diámetro. La aplicación de fungicidas es una estrategia común empleada en procura de minimizar las pérdidas post cosecha, sin embargo, esta práctica ha ocasionado problemas ambientales por su toxicidad residual, estimuló la aparición de cepas resistentes a los principios activos y generó preocupación por la seguridad humana y animal. Una alternativa sustentable es el desarrollo de productos en base a agentes de control biológico. En ese sentido, nosotros evaluamos la capacidad como agente de control biológico de la cepa *Trichoderma harzianum* ITEM 3636. Se realizaron ensayos de evaluación in vitro de la actividad antifúngica frente a *Alternaria* spp. y posteriormente se realizaron ensayos post cosecha en cámara de cultivo procurando determinar la acción protectora de *T. harzianum* ITEM 3636 frente a la infección por *Alternaria* spp. en frutos en madurez comercial. Se observó que la aplicación de *T. harzianum* ITEM 3636 retrasa la descomposición de los frutos. La inoculación mostró una importante disminución de los síntomas de la enfermedad, con una reducción promedio del 50% en el área de las lesiones, resultado que se observó con distintas concentraciones de la cepa en estudio, sugiriendo el empleo de la menor. Se puede considerar entonces a este microorganismo como una herramienta prometedora en el control biológico de *Alternaria* spp. y apta para el diseño de una estrategia eficaz para la conservación de frutos.

Palabras clave: Tomate, *Trichoderma*, *Alternaria*, Biocontrol, Frutos.

ABSTRACT

Tomato crops are affected by various diseases, including those caused by the genus *Alternaria*, a widespread pathogen that can infect field crops or cause significant post-harvest damage. Infection appears as dark brown to black, smooth, slightly sunken, firm-textured lesions that can reach several centimeters in diameter. The application of fungicides is a common strategy to minimize post-harvest losses; however, this practice has caused environmental problems due to its residual toxicity, stimulated the emergence of strains resistant to the active ingredients, and raised concerns for human and animal safety. A sustainable alternative is the development of products based on biological control agents. In this regard, we evaluated the biological control potential of the *Trichoderma harzianum* ITEM 3636 strain. In vitro antifungal activity assays against *Alternaria* spp. were conducted, followed by post-harvest trials in a culture chamber to determine the protective action of *T. harzianum* ITEM 3636 against *Alternaria* spp. infection in commercially ripe fruit. It was observed that application of *T. harzianum* ITEM 3636 delays fruit decay. Inoculation showed a significant reduction in disease symptoms, with an average 50% reduction in lesion area. This result was observed with different concentrations of the strain under study, suggesting the use of the lowest. This microorganism can therefore be considered a promising tool in the biological control of *Alternaria* spp. and suitable for the design of an effective strategy for fruit preservation.

Key words: Tomato, *Trichoderma*, *Alternaria*, Biocontrol, Fruits.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importante a nivel mundial con una producción que, según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ya supera los 190 millones de toneladas anuales, (<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>). Este cultivo se encuentra ampliamente adaptado a diferentes condiciones agroclimáticas, desde los trópicos a regiones templadas. Los frutos del tomate son ricos en minerales, vitaminas, aminoácidos esenciales, azúcares y fibras. Además de su alto contenido en fructosa y glucosa son una fuente importante de vitaminas A y C y contienen altas concentraciones de hierro y fósforo. Además, los productos basados en tomate son considerados de gran valor en las dietas por su contenido en licopenos y flavonoides (Lenucci et al., 2006). También es empleado como una planta modelo para estudios relacionados a la calidad de frutos y tolerancia de situaciones de estrés biótico y abiótico (Panthee & Chen, 2010).

La vida útil de frutas y verduras es de gran relevancia económica para los horticultores ya que durante el almacenamiento y el transporte ellas pueden actuar como un sustrato adecuado para microorganismos que provocan su deterioro y haciéndolas no aptas para su comercialización (Etana et al., 2019; Ahmad et al., 2020). Más del 20-25% de las frutas y hortalizas cosechadas se pudren por patógenos durante el manejo post cosecha en los países industrializados del mundo situación que se acentúa en los países en desarrollo, donde se estima que las pérdidas post cosecha superan el 35 % debido a la ausencia de instalaciones de almacenamiento y transporte adecuadas (Abano & Sam-Amoah, 2011; Kitinoya et al., 2019).

El alto contenido de humedad y los nutrientes solubles en agua en los frutos de tomate los hacen perecederos y susceptibles a una serie de patógenos fúngicos que causan pudriciones posteriores a la cosecha (Singh et al., 2017). Entre los principales géneros podemos citar a *Alternaria*, *Phoma*, *Didymella*, *Geotrichum*, *Botrytis*, *Fusarium* y *Rhizopus* (Petrash et al., 2019; Chudinova et al., 2020). El género *Alternaria* está ampliamente distribuido en la naturaleza e incluye especies patógenas que pueden infectar los cultivos a campo o causar importantes daños en post cosecha. Tiene alta habilidad para competir como saprófito y es un patógeno facultativo, favorecido por estrés, madurez y senescencia del hospedero. En el fruto de tomate los conidios del hongo germinan y penetran por heridas y la infección se mantiene latente hasta que el mismo madura y los tejidos se debilitan (Agrios, 1997).

Alternaria es un importante factor biótico de descomposición por almacenamiento que se vuelve muy agresivo cuando la fruta se lesiona o se debilita durante el almacenamiento prolongado (Rizwana et al., 2021). La pudrición del fruto del tomate inducida por *Alternaria* aparece como lesiones de color marrón oscuro a negro, lisas, ligeramente hundidas, de textura firme y que pueden alcanzar varios centímetros de diámetro (Yang et al., 2020). La aplicación de fungicidas es una estrategia común empleada en procura de minimizar las pérdidas postcosecha causadas por patógenos fúngicos. Sin embargo, esta práctica ha ocasionado problemas ambientales por su toxicidad residual, estimuló la aparición de cepas resistentes a los principios activos y generó preocupación por la seguridad humana y animal (Wisniewski & Wilson, 1992; Naseby et al., 2000; Tongnuanchan & Benjakul, 2014). La aplicación de agentes de control biológico como *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* se ha utilizado frente a patógenos fúngicos (Verma et al. 2007, El-Katatny & Emam, 2012, Ramírez-Cariño et al. 2020).

Varios mecanismos han sido reportados como involucrados en la capacidad de *Trichoderma* para inhibir a microorganismos patógenos. Entre ellos podemos citar la alta capacidad de degradar diversos sustratos, lo que determina un rápido crecimiento lo que lleva limitar el crecimiento de otros microorganismos debido a la competencia por nutrientes orgánicos, por la luz, por minerales y por espacio (Howell, 2003; Sharma et al., 2012; Naher et al., 2014). Otros mecanismos comprenden la

producción de metabolitos secundarios con actividad antibiótica (Maruyama et al., 2020; Kovács et al., 2021) y enzimas líticas fundamentalmente contra las paredes celulares de otros organismos a los que suele atacar por un proceso de mico parasitismo (Druzhinina et al., 2018, Erazo et al., 2021). También ha sido señalado como un inductor de resistencia sistémica en vegetales (Saravanakumar et al., 2016). En trabajos previos realizados por investigadores del actual IMICO (Instituto del Micología y Micotoxicología UNRC-CONICET, Argentina) se demostró que la cepa *T. harzianum* ITEM 3636, originalmente aislada de suelo cultivado con maní, tiene capacidad de biocontrol contra la pudrición marrón de la raíz del maní causada por *Fusarium solani*, en condiciones de invernadero y campo (Rojo et al. 2007) y el tizón de maní causado por *Thecaphora frezii* (Ganuza et al. 2018). Es nuestro objetivo estudiar la efectividad de *T. harzianum* ITEM 3636 en la supresión de enfermedades producidas por *Alternaria* sp. en frutos de tomate en condiciones de post cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismos utilizados. La cepa de *Trichoderma harzianum* ITEM 3636 se encuentra depositada en el Instituto Tossine y Micotossine da Parassiti Vegetali, Italia (Erazo et al., 2021). La cepa de *Alternaria* spp. fue aislada por nuestro grupo de trabajo de plantas de tomate naturalmente infectadas y se mantiene liofilizada en el cepario del IMICO.

Ensayos de confrontación *in vitro* entre *Trichoderma* y *Alternaria*. El efecto de *T. harzianum* ITEM 3636 contra el crecimiento de hongos fitopatógenos se evaluó mediante confrontaciones de cultivos de ambas cepas en cajas de Petri conteniendo medio PDA (agar papa dextrosa). Se colocó un disco fúngico en activo crecimiento de *T. harzianum* ITEM 3636 de 0,6 cm de diámetro y en el extremo opuesto uno de *Alternaria* spp. del mismo tamaño. Las cajas fueron incubadas a 28 °C durante 7-10 días, midiéndose la zona de inhibición de crecimiento. Se procedió de dos maneras, de acuerdo con el momento de siembra de cada especie fúngica: a) Siembra simultánea: consistió en sembrar ambas cepas al mismo tiempo. Los diámetros de crecimiento del patógeno y del biocontrolador se midieron a los 7-10 días. b) Siembra desfasada: Se procedió de manera similar al punto anterior, excepto que el disco fúngico de *Trichoderma* se colocó en la placa 48 h antes que el de *Alternaria* atendiendo a las diferencias en las tasas de crecimiento de ambos organismos (Martínez et al., 2013).

Se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *Alternaria* empleando la fórmula. $(((DCA-DCB)/DCA)*100)$ donde DCA= diámetro de la colonia de *Alternaria* en cajas con PDA sin *Trichoderma* y DCB= diámetro de la colonia de *Alternaria* creciendo en presencia de *Trichoderma*.

Preparación de los inóculos fúngicos para ensayos de control biológico. La cepa de *Alternaria* spp. se cultivó en medio SNA (Funell et al., 2006) y se incubó durante 7 a 10 días a 25 °C bajo ciclos de luz blanca/negra de 12 h cada uno. La cepa de *T. harzianum* ITEM 3636 se cultivó en agar extracto de malta (AEM) y se incubó durante 7 días a 25° C bajo ciclos de luz blanca/negra de 12 h cada uno. En ambos casos, las condiciones seleccionadas son las que permiten una alta esporulación de los cultivos (Rojo et al., 2007). En ambos cultivos, se recolectaron los conidios por el agregado de 10 ml agua destilada sobre la superficie del cultivo microbiano y raspando suavemente el mismo con una espátula de vidrio esterilizada. La suspensión de esporas se filtró a través de gasa estéril con el fin de retener talo y/o partes vegetativas y el líquido filtrado se trasvasó a un frasco Erlenmeyer de 125 ml. La concentración de conidios fue determinada por recuento en hemocitómetro (cámara de Neubauer). La densidad del inóculo se ajustó con agua destilada estéril a fin de obtener suspensiones con diferentes concentraciones (106 conidios/ml, 104 conidios/ml, 102 conidios/mL)

Ensayo de actividad bioantagonista de *T. harzianum* ITEM 3636 frente a *Alternaria* spp. en frutos en madurez comercial. Se utilizaron frutos de tomate provenientes de huerta orgánica, sin tratamientos con agroquímicos. Los mismos fueron almacenados a 4°C durante una semana antes del

experimento para descartar posibles afecciones con otros patógenos. Los frutos se esterilizaron superficialmente por inmersión en suspensión de NaClO al 2% durante 2 minutos, se lavaron con agua destilada estéril y luego se secaron bajo cámara de flujo laminar. Sobre los frutos de tomate preparados de este modo se efectuaron heridas de 3 mm de profundidad y 3 mm de diámetro sobre la región ecuatorial con una punta metálica estéril. Inmediatamente después, sobre cada una de las heridas, se aplicó un pequeño disco de papel de filtro estéril embebido con 20 μ l de una suspensión acuosa de esporas de *T. harzianum* ITEM 3636 (106 conidios/ml, 104 conidios/ml, 102 conidios/mL). Tres horas más tarde se aplicaron sobre los mismos discos 15 μ l de una suspensión 104 de conidios/ml de *Alternaria* sp. en cada herida. A continuación, fueron secados bajo flujo laminar nuevamente. En el ensayo se contó con dos tipos de controles, uno sin inocular y otro inoculado únicamente con *Alternaria* sp. Se colocaron los frutos en recipientes plásticos protegidos con papel filme manteniendo la humedad al 95%. El ensayo se realizó durante 7 días a 20°C en cámara de crecimiento. Se evaluó el porcentaje de heridas por fruto con infección y el diámetro de las lesiones, de acuerdo con Zhao et al. (2008). El diseño completo aleatorio contó con tres réplicas por tratamiento. De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera experiencia, se puso a punto la técnica optando por realizar las repeticiones de aquellos tratamientos con *Trichoderma*, empleando sólo la dilución 104 conidios/ml.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos de confrontación in vitro entre *Trichoderma* y *Alternaria*. Los resultados mostraron que *T. harzianum* ITEM 3636 presentó un efecto antagonista sobre el crecimiento de *Alternaria* spp. En siembra desfasada *T. harzianum* ITEM 3636 inhibió completamente el crecimiento de *Alternaria* spp. mientras que cuando ambas cepas fueron sembradas simultáneamente la inhibición del crecimiento fue de aproximadamente un 50% (Figura 1).

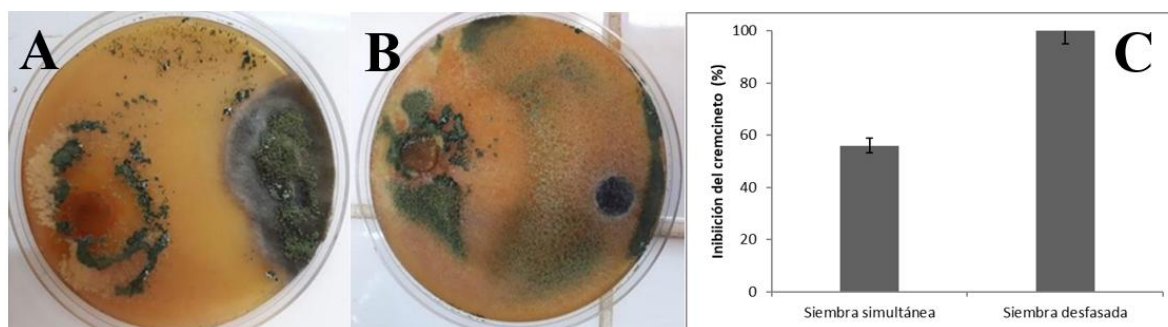


Figura 1: Inhibición del crecimiento de *Alternaria* spp. por *T. harzianum* ITEM 3636 en medio de cultivo PDA. A) Caja izquierda ambos microorganismos se sembraron simultáneamente; B) Caja de la derecha la siembra de *T. harzianum* ITEM 3636 se realizó 48 horas antes que la de *Alternaria* spp; C) Inhibición de crecimiento de *Alternaria* spp. por la presencia de *T. harzianum* ITEM 3636.

Estos resultados pueden justificarse en la capacidad de las cepas de *Trichoderma* en inhibir el crecimiento de otras especies por su alta velocidad de crecimiento y capacidad de competir por el espacio y los nutrientes del medio (Devi et al., 2013). Asimismo, también debe considerarse la posible producción de metabolitos secundarios con capacidad de antibiosis. La capacidad de producir diversos metabolitos secundarios y su gran adaptación a diversas condiciones ambientales y sustratos, confieren al género *Trichoderma* la posibilidad de ser utilizado en la industria biotecnológica y en el control de patógenos en diversos cultivos de importancia agronómica (Martínez et al., 2013). Resultados de experiencias in vitro ya indican que especies del género *Trichoderma* muestran comportamiento antagonista sobre *Alternaria* spp., por lo que pueden constituirse como potenciales agentes de biocontrol de este fitopatógeno (De Aceves et al., 2008). Resultados similares obtuvieron Gveroska et al., (2012), quien concluyó que la actividad biológica de *T. harzianum* tiene en poco

tiempo un efecto competitivo hacia el desarrollo de *Alternaria* spp. a través de varios mecanismos antagónicos, aún en siembras en donde se favoreció el crecimiento del patógeno.

Ensayo de actividad bioantagonista de *T. harzianum* ITEM 3636 frente a *Alternaria* sp. en frutos en madurez comercial. En los ensayos de post cosecha en frutos de tomate se obtuvieron resultados con diferencias significativas entre los tratamientos. La inoculación de *T. harzianum* ITEM 3636 fue responsable de un menor desarrollo de las lesiones causadas por *Alternaria* spp. (Figuras 3 y 4). La inoculación mostró una importante disminución de los síntomas de la enfermedad, con una reducción promedio del 50% en el área de las lesiones, resultado que se observó con distintas concentraciones de la cepa en estudio, sugiriendo el empleo de la menor.

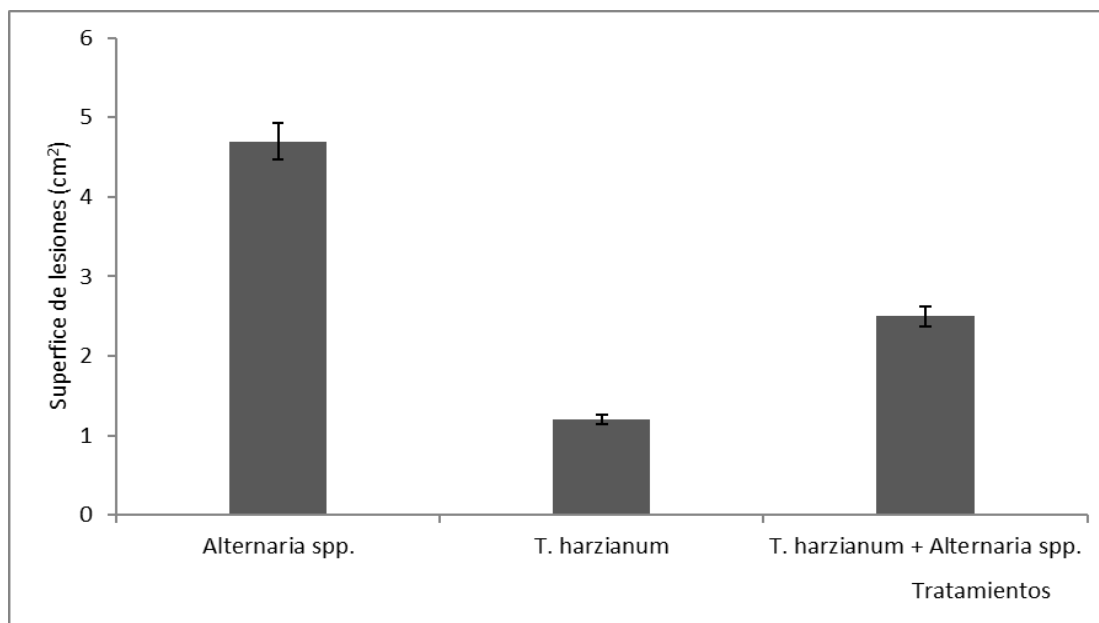


Figura 3: superficies de las lesiones (cm²) provocadas por *Alternaria* spp. en frutos de tomate a los 7 días de inoculación.

Se determinó que *T. harzianum* ITEM 3636 ejerce un efecto antagónico sobre *Alternaria* spp. en frutos de tomate, disminuyendo significativamente el tamaño de las lesiones. *Alternaria* es uno de los hongos más comunes y aislados desde tomates sanos y enfermos y presentó la mayor frecuencia de aparición (40-70%) cuando se hizo un relevamiento sobre las diferentes especies fúngicas presentes en tomate (Abdel-Mallek et al., 1995). En nuestras experiencias empleamos suspensiones de esporas de *T. harzianum* como modo de inoculación del agente biocontrolador. Experiencias similares en frutos de tomate mostraron una menor intensidad de podredumbre y una menor tasa de infección con el aumento de la concentración de esporas del antagonista sugiriendo el empleo de una concentración en el orden de 108 esporas/ml (El-Katatny & Emam, 2012). Un atributo importante de un agente de biocontrol exitoso contra patógenos post cosecha de frutos es su eficacia a concentraciones relativamente bajas (Wisniewski & Wilson, 1992). En nuestro trabajo evaluamos diferentes concentraciones de esporas y observamos que el empleo de la menor de ellas (104 esporas/ml) presentó resultados no diferentes a las concentraciones mayores.

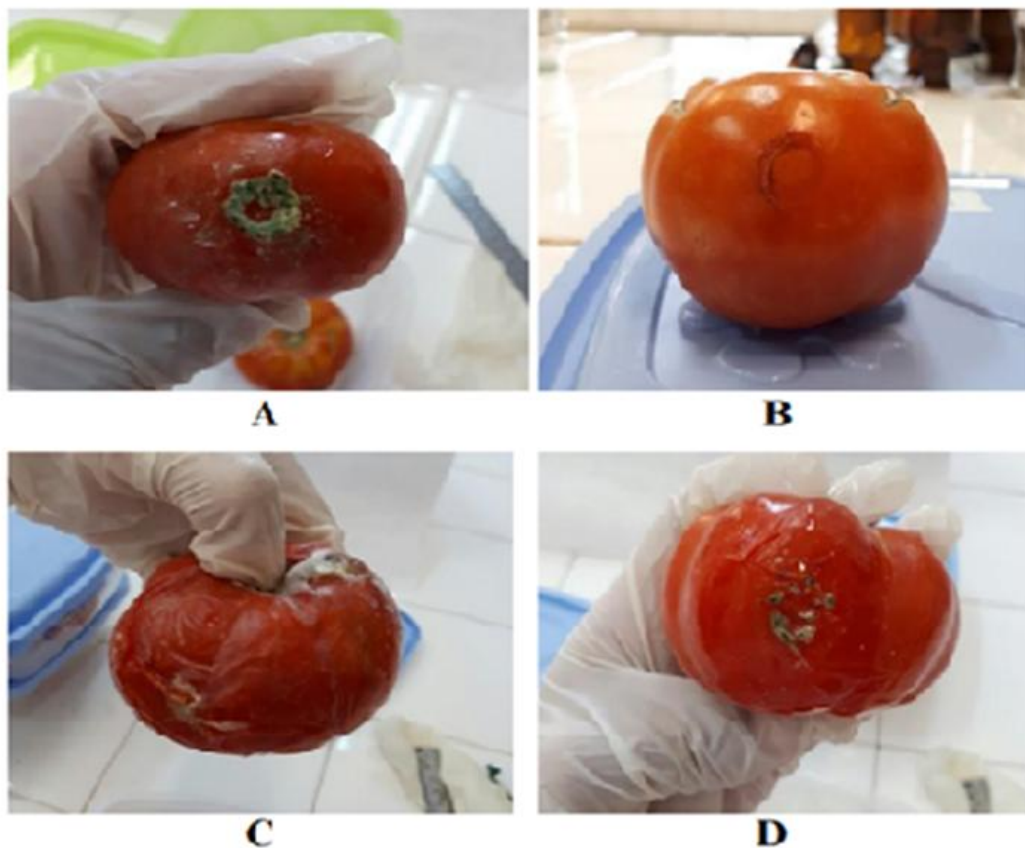


Figura 4: Efecto de la Inoculación con *T. harzianum* ITEM 3636 sobre frutos de tomate infectados con *Alternaria* spp. A): control no inoculado, B): inoculado con *T. harzianum* ITEM 3636, C): inoculado con *Alternaria* spp., D): inoculado con *T. harzianum* ITEM 3636 y *Alternaria* spp.

Una alternativa al empleo de esporas es el empleo de filtrados de cultivos de hongos biocontroladores. *T. harzianum* cultivado en PDB podría liberar metabolitos extracelulares difusibles que inhiben la germinación de esporas de patógenos postcosecha del tomate (El-Katatny & Emam, 2012). Previamente, Odebode (2006) informó que el filtrado de cultivo de las cepas *T. harzianum* Rifai y *T. pseudokoningii* Rifai inhibió el crecimiento de patógenos postcosecha en algunas frutas.

CONCLUSIÓN

Nuestros datos muestran que las cepas *T. harzianum* ITEM 3636 tienen potencial de biocontrol contra la podredumbre post cosecha causada por *Alternaria* spp. en tomate. El empleo de este se constituye en una alternativa prometedora, segura y eficaz frente a productos químicos en el tratamiento de enfermedades fúngicas post cosecha. Sin embargo, se requieren más estudios a efecto de establecer metodologías de empleo y concentraciones adecuadas para que su uso sea técnica y económicamente viable a escala agronómica.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto (SECyT-UNRC), Argentina.

REFERENCIAS

- Abdel-Mallek, A. Y., Hemida, S. K., & Bagy, M. M. K. (1995). Studies on fungi associated with tomato fruits and effectiveness of some commercial fungicides against three pathogens. *Mycopathol.*, 130: 109–116.
- Agrios, G. N. (1997). *Control of Plant Diseases*. En: *Plant Pathology* (4th Ed.). Academic Press.
- Abano, E. E., & Sam-Amoah, L. K. (2011). Effects of different pretreatments on drying characteristics of banana slices. *J. Eng. Appl. Sci.*, 6: 121–129.
- Ahmad, M., Abubakar, M. M., & Sale, S. (2020). Enhancing the shelf life of tomato fruits using plant material during storage. *J. Hort. Postharv. Res.*, 3: 347–354.
- Chudinova, E. M., Shkunkova, T. A., & Elansky, S. N. (2020). Fungal pathogens of tomato in South-Western Russia. *Plant Protect. News*, 3: 210–212.
- De Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Martínez-Rojero, R. D., Rodríguez-Morán, N. L., Ariza-Flores, R., & Barrios-Ayala, A. (2008). Producción masiva de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2): 185–191.
- Devi, T. N., Linthoingambi, W., & Singh, M. S. (2013). Evaluation of *Trichoderma* specie *Indian Phytopathol.*, 66(1): 81–87.
- Druzhinina, I. S., et al. (2018). Massive lateral transfer... *PLoS Genet.*, 14(4): e1007322.
- El-Katatny, M. H., & Emam, A. S. (2012). Control of postharvest tomato rot *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, 1(6): 1505–1528.
- Etana, M. B., Fufa, B. O., & Aga, M. C. (2019). Review on postharvest loss *J. Biol. Agric. Health*, 9: 48–52.
- Erazo, J. G., et al. (2021). Biocontrol mechanisms of *T. harzianum* ITEM 3636... *Biol. Control*, 164(4): 104774.
- Funnell, D. L., & Pedersen, J. F. (2006). Reaction of sorghum lines genetically modified for reduced lignin content to infection by *Fusarium* and *Alternaria* spp. *Plant Disease*, 90(3), 331–338.
- FAOSTAT. (2023). *Base de datos estadísticos de FAO*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faosta>
- Ganuza, M., et al. (2018). Efficacy of *T. harzianum* ITEM 3636... *Eur. J. Plant Pathol.*, 151: 257–262.
- Gveroska, B., & Ziberoski, J. (2011). Influence of *T. harzianum* on reducing root rot *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.*, 2(2): 1–11.
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species... *Plant Dis.*, 87(1): 4–10.
- Kitinoja, L., Odeyemi, O., Dubey, N., Musanase, S., & Gill, G. S. (2019). Postharvest handling *J. Hortic. Postharvest Res.*, 2: 1–14.
- Kovács, C., et al. (2021). Biocontrol potential of endophytic *Trichoderma* Pathogens, 10(12): 1612.
- Lenucci, M. S., et al. (2006). Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato... *J. Agric. Food Chem.*, 54: 2606–2613.
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. en control de plagas *Rev. Protec. Veg.*, 28: 1–11.
- Maruyama, C. R., et al. (2020). Encapsulation of *T. harzianum* *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 8: 225.
- Naseby, D. C., Pascual, J. A., & Lynch, J. M. (2000). Effect of *Trichoderma* biocontrol strains *J. Appl. Microbiol.*, 88: 161–169.
- Naher, L., Yusuf, U. K., Ismail, A., & Hossain, K. (2014). *Trichoderma* spp. as biocontrol agents *Pak. J. Bot.*, 46(4): 1489–1493.
- Odebode, A. C. (2006). Control of postharvest pathogens *J. Plant Protec. Res.*, 46(1): 1–6.
- Panthee, D. R., & Chen, F. (2010). Genomics of fungal disease resistance *Curr. Genom.*, 11: 30–39.
- Petrash, S., et al. (2019). Infection strategies *Front. Plant Sci.*, 10: 223.
- Ramírez-Cariño, H. F., Guadarrama-Mendoza, P. C., & Sánchez-López, V. (2020). Biocontrol of *Alternaria* *Antonie van Leeuwenhoek*, 113: 1247–1261.
- Rojo, F. G., et al. (2007). Biological control by *Trichoderma*... *Crop Protection*, 26: 549–555.
- Rizwana, H., et al. (2021). Postharvest disease management *Saudi J. Biol. Sci.*, 28: 2236–2244.
- Sharma, B. L., Singh, S. P., & Sharma, M. L. (2012). Biodegradation of crop residues *Sugar Tech*, 14(2): 174–180.
- Saravanakumar, K., et al. (2016). Cellulase from *T. harzianum* induces resistance *Sci. Rep.*, 6: 35543.
- Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). Disease management of tomato *3 Biotech.*, 7: 255.
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction *J. Food Sci.*, 79: 1231–1249.

- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., & Valéro, J. R. (2007). Antagonistic fungi *Trichoderma* *Biochem. Eng. J.*, 37(1): 1–20.
- Wisniewski, M. E., & Wilson, C. L. (1992). Biological control of postharvest diseases *HortSci.*, 27: 94–98.
- Yang, J., et al. (2020). Overactivation of glutamate pathways *Postharvest Biol. Technol.*, 169: 111311.
- Zhao, Y., et al. (2008). Biological control of post-harvest pathogens *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 83(1): 132–136.

Evaluación agronómica del desarrollo del cultivo de maíz elotero en asociación con el cultivo de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México

Alejandro Ventura-Maza^{1*}, Alejandro Rodríguez-Ortega¹, Judith Hernández-Callejas¹, Laura Virginia Bustamante-Espinosa¹, Nellybeth Rodríguez-Martínez¹, Francisco Lara-Viveros²

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero Tepatepec-San Juan, Hidalgo, México, ²Centro de Investigación en Química Aplicada. Boulevard Enrique Reyna, Saltillo, Coahuila. *Autor por correspondencia: aventura@upfim.edu.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 19/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El maíz elotero es considerado como hortaliza, debido a los cuidados intensivos que requieren y el valor agregado que poseen. En la región del Valle del Mezquital, Hidalgo, aun no existe producción de esta hortaliza debido a que, sin el cuidado adecuado, es dañado por plagas y enfermedades. Actualmente existe la necesidad de plantear trabajos de investigación para evaluar el desarrollo de los cultivos de maíz elotero en combinación con otros cultivos. La higuierilla (*Ricinus communis* L.) es una planta arbustiva que tiene características deseables para el uso en la asociación con cultivos anuales. La higuierilla puede ser considerada una alternativa para realizar asociaciones de cultivo como sistemas agroforestales debido a que sirve de protección para otros cultivos hortícolas. En el campo experimental de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero ubicada en el Valle del Mezquital, Hidalgo, se estableció un sistema de producción agroforestal con plantas de higuierilla asociados con maíz elotero. Se sembró la planta de higuierilla variedad roja a una densidad de 5000 plantas por hectárea y se colocaron plantas de maíz elotero intercalada con la higuierilla con una densidad de 50,000 plantas por hectárea. La planta de higuierilla registró 1.9 metros de altura en promedio en 3 meses después de la siembra. El maíz elotero completó su desarrollo en elote en 3 meses y registró 1.5 metros de altura en promedio. Este sistema agroforestal se adaptó de forma adecuada para ambos cultivos en las condiciones de la región del Valle del Mezquital, Hidalgo.

Palabras clave: Agroecología, higuierilla, maíz elotero.

ABSTRACT

Corn is also considered a vegetable due to the intensive care it requires and the added value it possesses. In the Mezquital Valley region of Hidalgo, México, this vegetable is still not produced because, without proper care, the corn is damaged by pests and diseases. The need to propose research work exists to evaluate the development of corn crops in combination with other crops. The castor bean (*Ricinus communis* L.) is a shrubby plant that has desirable characteristics for use in association with annual crops. The castor bean can be considered an alternative for creating crop associations such as agroforestry systems because it serves as protection for other horticultural crops. In the experimental field of the Polytechnic University of Francisco I. Madero located in the Mezquital Valley, Hidalgo, México, an agroforestry production system was established with red castor bean plants associated with corn. The red castor bean variety was planted at a density of 5,000 plants per hectare, and corn plants were intercropped with the castor bean at a density of 50,000 plants per hectare. The red castor bean plant reached an average height of 1.9 meters three months after planting. The corn completed its development into corn in 3 months and reached an average height of 1.5 meters. This agroforestry system was adequately adapted for both crops.

Key words: Agroforestry, castor bean, corn.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha generado problemas en los sistemas de producción agrícola. Los principales factores son los cambios de temperatura, falta de agua, agrietamiento en suelos, incremento en las

plagas y las enfermedades. Estos factores han generado pérdida en los rendimientos de alimentos debido al desequilibrio en el desarrollo de las plantas (Morales et al., 2016). Los sistemas de producción agroecológica es una opción para ayudar a los cultivos a mitigar los efectos del calentamiento global (Altieri, 2001).

Los sistemas de producción agroecológico es una forma de producción más amigable con el ambiente que involucra, uso de abonos orgánicos, policultivos, control biológico, uso de extractos vegetales, uso de caldos minerales y semillas de plantas nativas. Los sistemas agroforestales son una práctica agroecológica donde se colocan dos o más cultivos en el mismo espacio. Algunos ejemplos de policultivo son: Maíz con frijol, maíz con frutales, y árboles maderables con café. Estos sistemas agroforestales ayudan a equilibrar el desarrollo de las plantas en los sistemas de producción agrícola (Farell & Altieri, 2001). En el Valle del Mezquital se produce maíz principalmente para su comercialización en grano. Generalmente se siembran monocultivos de maíz que ha generado problemas con plagas y enfermedades con resistencia para su control. Hace falta buscar alternativas de cultivos y sistemas producción para mejorar los sistemas productivos de la región que mejore la calidad de vida de los pobladores. Es importante realizar trabajos de investigación relacionados a la combinación de cultivos para conocer la adaptación de nuevas especies de cultivos y los efectos de la combinación de diferentes especies. El maíz elotero y la higuierilla son especies de cultivos que presentan características deseables para la producción en asociación como sistemas agroforestales (SNICS, 2014).

El maíz elotero (*Zea mays* L.) es considerado como hortaliza, debido a los cuidados intensivos que requieren y el valor agregado que poseen. Las diferentes variedades de maíz dulce varían en gran medida en sabor, textura y nutrición. El maíz dulce es difundido en diversos países y destinado exclusivamente para el consumo humano, ya sea en fresco como elote o procesado industrialmente como conservas, además, en la ciencia de alimentos se investiga para el uso de queso análogo para untar, extractos para cocinar y bebidas con altos niveles de carbohidratos y proteínas. La principal diferencia entre el maíz dulce y los maíces no dulces es que el primero posee un gen recesivo presente en su genoma, cuya función es retardar o impedir la completa transformación del azúcar del grano en almidón, por esta razón, el maíz homocigótico para este gen presenta mayor concentración de azúcar cuando se consume en fresco. El maíz superdulce tiene una mazorca tiene entre 20 y 25 cm de largo, 11 hileras y 34 granos por hilera. Su ciclo vegetativo son 48 días, su floración es a los 40 días, y el tamaño de la planta en menos de los 2 m y resistente al acame. Se desarrolla en altitudes de 100 hasta 800 msnm. Se siembra poco, por lo regular lo utilizan para autoconsumo, para los elotes, por su sabor y aroma agradable para preparar tamales y tortillas, pero también es muy utilizado para alimentar a sus animales de traspatio (Enciso et al., 2012).

La higuierilla (*Ricinus communis* L.) es una planta oleaginosa que presenta capacidad de adaptación y se cultiva en todas las regiones tropicales y subtropicales de México. El principal producto del cultivo de higuierilla es el grano que se extrae el aceite para su uso cosmético, además de su uso en la producción pecuaria. La higuierilla mide de 1 a 5 metros y tiene tallos huecos y ramificados. La higuierilla presenta hojas partidas de 5 a 8 segmentos en forma de estrella, las flores son racimos y los frutos son capsulas que tienen 3 semillas grandes, lisas y aplanadas. Por sus características físicas, la higuierilla puede ser considerada una alternativa para realizar asociaciones de cultivo y construir sistemas agroforestales con éxito (SNICS, 2014).

En el campo experimental de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, que se encuentra en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México se estableció un sistema de producción agroforestal con maíz elotero superdulce asociado con higuierilla variedad de semilla café y tallo rojo para conocer su adaptación y efecto en el desarrollo de las plantas. El objetivo es realizar una evaluación agronómica del desarrollo del cultivo de maíz elotero en asociación con el cultivo de higuierilla para conocer el comportamiento de ambos cultivos para recomendarlo como alternativa de sistema de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, que se encuentra en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo México. La región se ubica a 1940 metros sobre el nivel del mar, presenta una temperatura media 19°C y una precipitación de 409 milímetros al año. Se estableció un sistema de producción agroforestal con el cultivo de maíz superdulce asociado con el cultivo de higuierilla. Se establecieron 5 surcos de 50 metros de maíz elotero superdulce asociado con higuierilla en policultivo (PC) y 5 surcos de maíz en monocultivo (MC). La distancia entre plantas fue de 2 metros y entre surcos de 1 metro con una población total de 5000 plantas por hectárea de higuierilla. El cultivo de maíz superdulce se estableció entre las plantas de higuierilla en el policultivo a una distancia entre plantas de 20 centímetros con una población total de 50,000 plantas por hectárea. Se evaluaron las características agronómicas de los cultivos: para el maíz fueron, altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT), diámetro de elote (DM), número de hileras de granos por elote (NHM) y número de granos por hilera del elote (NGH). La higuierilla se analizaron las variables de altura de planta (AP), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT). Se realizó una comparación de medias y análisis de varianza. Las actividades culturales en campo realizadas fueron: Construcción de las camas de siembra y colocación de acolchado, colocación del sistema de riego, siembra de los cultivos de maíz y de higuierilla, control de malezas, plagas y enfermedades y mediciones periódicas de las variables para evaluar el desarrollo de las plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de la higuierilla se cultiva principalmente en regiones tropicales, sin embargo, el cultivo se adaptó con éxito en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo. Por lo que este proyecto sugiere que la plantación con sistema de riego puede ser una alternativa en la región. Para el manejo de la asociación con el cultivo de maíz es necesario realizar podas para mejor control de la sombra mediante eliminación de follaje para permitir el desarrollo de otro cultivo. Sánchez et al., (2016) recomendaron al uso de la higuierilla como un componente de un sistema agroforestal, en el cual se realizan asociaciones con gramíneas y especies animales en Colombia, donde existen empresas que ofrecen capacitación y comercialización del aceite de ricino, ya que es una materia prima de excelente calidad para la producción de biodiesel, cosméticos, farmacéutico, lubricantes y pinturas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características agronómicas de maíz elotero y la higuierilla evaluados en el campo experimental de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Hidalgo, México, 2024.

Variedades	AP	NH	DT	DM	NHM	NGH
Maíz (MC)	1.6a	8a	3a	4.5a	12a	27a
Maíz (PC)	1.7a	8a	3a	4.4a	11a	25a
Higuierilla (PC)	1.9	13	2.5	-	-	-

AP: Altura de Planta-NH: Número de Hoja-DT: Diámetro de Tallo-DM: Diámetro de Mazorca-NHM: Número de Hileras por Mazorca-NGH: Número de Grano por Hilera.

El cultivo del maíz elotero se adaptó con éxito en la región del Valle de Mezquital, Hidalgo. No se encontró diferencia entre las características agronómicas registrados en sistema de monocultivo y policultivo, por lo que no existe un efecto en la producción al asociarlo con la higuierilla (Figura 1). Enciso et al., (2012) realizaron una evaluación de genotipo de maíz dulce en la Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias en San Lorenzo, Paraguay. Estos investigadores encontraron que el cultivo se adaptó y registraron datos similares a los registrados en la actual investigación.



Figura 1. A) Asociación de maíz con higuierilla. B) Higuierilla roja. C) Maíz elotero.

CONCLUSIÓN

La asociación higuierilla-maíz es una buena alternativa de producción agroforestal en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo. El sistema genera condiciones óptimas ambientales para el desarrollo del cultivo, así como atracción de enemigos naturales que funcionan como control biológico. La higuierilla genera una biomasa importante por lo que es necesario realizar podas del arbusto para controlar la entrada de luz. Hace falta realizar más investigación sobre los efectos de la asociación higuierilla-maíz, como la biodiversidad de insectos benéficos que se encuentran en ecosistema, así como el rendimiento de los productos comerciales de la planta de higuierilla como el aceite, el forraje y la producción de insecto de seda *Samia cynthia ricini* con la alimentación con hojas de higuierilla.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero por el financiamiento y el apoyo en el campo experimental universitario. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuario del estado de Hidalgo, al Colegio de Posgraduados y al Centro de Investigaciones en Química Aplicada por la facilidad de la información y material proporcionado para la construcción del sistema agroforestal.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A. (2001). *Agroecología: Principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables*. Capítulo 2. 27 p.
- Enciso, G. C. R., Maidana, B. J. M., & Santacruz, O. V. (2012). Evaluación de genotipos de maíz dulce. *Investigación Agraria*, 14(2), 81–86.
- Farrell, J. G., & Altieri, M. A. (2001). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Capítulo 12. 230 p.
- Morales, C. (2016). Impacto del cambio climático en la agricultura y la seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana y Cambio Climático*, 2(1), 269 p.
- Sánchez, M. I., Castañeda, R. D., & Castañeda, M. J. (2016). Uso y potencialidad de la higuierilla (*Ricinus communis*) en sistemas agroforestales en Colombia. *Publicaciones en Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 10(6), 507–512.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla). (2014). *Higuierilla (Ricinus communis L.)*. Guía técnica para la descripción varietal. 29 p.

Evaluación del jabón potásico como alternativa para el control de la palomilla dorso diamante *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

Carlos Serratos-Tejeda^{1*}, María Miriam Urbano-Gómez¹, Miguel Aragón-Sánchez¹, Rafael Avelleira-Cortes², Sinaí Abigail Sánchez-Ávila²

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, ²Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. *Autor para la correspondencia: serratcserra@gmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 19/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En el Distrito de Tecamachalco, Puebla, la col (*Brassica oleracea*) es uno de los cultivos de mayor importancia. La palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*) es una de las plagas que causa mayores afectaciones a este cultivo, pudiendo ocasionar pérdidas totales. Los insecticidas sistémicos representan el principal método de control para esta plaga, sin embargo, la mayoría de las veces se utilizan de manera inadecuada e indiscriminada, representando un riesgo para la salud. Con el objetivo de generar una alternativa de manejo con bajo impacto ambiental, el presente estudio evaluó en condiciones de laboratorio, la mortalidad de larvas de tercer instar de *P. xylostella* al exponerlas a jabón potásico a las concentraciones de 5 y 20% por el método de ingestión. Durante 10s, discos de hojas de col de 6cm, fueron sumergidos en las concentraciones, posteriormente, estos se secaron a temperatura ambiente sobre papel filtro y se colocaron en cajas Petri de 9 cm con papel absorbente humedecido con agua destilada. Fue incluido un testigo en el que se aplicó únicamente agua destilada. Posteriormente, se colocaron 10 larvas por caja Petri. Cada concentración contó con 5 repeticiones. Se registró la mortalidad a las 24 y 48h posteriores. Esta variable, fue analizada mediante un ANOVA de una vía, seguido de un análisis de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Luego de 24 h de exposición, el porcentaje de mortalidad registrado en las dos diferentes concentraciones de jabón potásico no difiere estadísticamente, en ambos casos fue inferior al 40%, sin embargo, si difieren estadísticamente del testigo. Luego de 48h de exposición, la mayor mortalidad se observó en el tratamiento con jabón potásico al 20% (76%), siendo estadísticamente diferente de la observada en el tratamiento con jabón potásico al 5% la cual fue de 52%.

Palabras clave: *Brassica oleracea*, *Plutella xylostella*, control.

ABSTRACT

In the Tecamachalco District, Puebla, cabbage (*Brassica oleracea*) is one of the most important crops. The diamondback moth (*Plutella xylostella*) is one of the pests that cause the greatest damage to this crop, potentially resulting in total losses. Systemic insecticides represent the main control method for this pest; however, they are often used inappropriately and indiscriminately, posing a health risk. With the objective of generating a management alternative with low environmental impact, this study evaluated the mortality of third-instar *P. xylostella* larvae under laboratory conditions when exposed to potassium soap at concentrations of 5% and 20% by ingestion. For 10 s, 6 cm cabbage leaf discs were immersed in the concentrations, then dried at room temperature on filter paper and placed in 9 cm Petri dishes with absorbent paper moistened with distilled water. A control was included in which only distilled water was applied. Subsequently, 10 larvae were placed per Petri dish. Each concentration had 5 replicates. Mortality was recorded at 24 and 48 h. This variable was analyzed using a one-way ANOVA, followed by a Tukey means comparison analysis ($p \leq 0.05$). After 24 h of exposure, the mortality percentage recorded in the two different concentrations of potassium soap did not differ statistically; in both cases it was less than 40%, however, they did differ statistically from the control. After 48 hours of exposure, the highest mortality was observed in the treatment with 20% potassium soap (76%), being statistically different from that observed in the treatment with 5% potassium soap, which was 52%.

Key words: *Brassica oleracea*, *Plutella xylostella*, control.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de col (*Brassica oleracea*) superó las 200 mil toneladas en el ciclo 2022, actualmente se cultiva en 24 estados del país, siendo Puebla, Nuevo León y Chiapas, los principales productores de esta hortaliza. En Puebla, el distrito de En Puebla, el Distrito de Tecamachalco representa la región que destina la mayor superficie para la siembra de este cultivo (1455 ha) (SIAP, 2023). Pese a que la col es atacada por una variedad de insectos pertenecientes al orden de los lepidópteros, la palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*) es una de las que genera mayores daños al cultivo, deteriorando el tejido foliar durante su etapa larvaria y posteriormente los brotes tiernos, afectando el producto final (García, et al., 2012), aunado a ello, la presencia de huevos, larvas y pupas de este insecto representan un factor limitante para la exportación del cultivo (INIFAP, 2013).

En este como en otros cultivos las plagas como *P. xylostella* afectan el rendimiento, con frecuencia para reducir su impacto, en la gran mayoría de los casos se utilizan productos químico-sintéticos en altas dosis, que se aplican de forma inadecuada (Santiago-Lastra & Perales-Rivera, 2007). En este mismo sentido, factores que contribuyen a obstaculizar el control de este insecto plaga son: su alta tasa reproductiva y su resistencia confirmada a un número considerable de insecticidas y a otros métodos de control alternativos como *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (González-Fuentes, et al., 2023).

Desde hace un par de décadas se discute acerca de los efectos nocivos de la aplicación de insecticidas al ambiente, a la salud humana y en organismos benéficos (EPA, 2008, FAO, 2012, PAN, 2014). Debido a lo antes expuesto es necesario desarrollar alternativas para el manejo de insectos plaga que tengan un menor impacto en el ambiente como puede ser el jabón potásico, (también conocido como potasa o jabón de potasio) ataca las membranas celulares de los tejidos externos de los insectos, afectando su permeabilidad externa (ECOLOGIKA, 2018). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos concentraciones de jabón potásico en la mortalidad de larvas de *P. xylostella*, en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de jabón potásico. En un recipiente de vidrio de 100 ml de capacidad, se vertieron 20 ml de agua caliente (60°C aproximadamente), a continuación, se procedió a incorporar lentamente hidróxido de potasio al agua, y se agitó lentamente hasta disolverse, esta mezcla se dejó reposar hasta que alcanzara la temperatura ambiente. A continuación, 120 ml de aceite de girasol, se calentaron a baño maría, el siguiente paso fue incorporar lentamente el hidróxido de potasio al aceite y se procedió a agitar lentamente y siempre en el mismo sentido, para evitar que la mezcla se cortara, al finalizar de mezclar, se colocó al recipiente que contenía esta mezcla film plástico y se le realizó un orificio al centro a través del cual se introdujo una licuadora de mano, la mezcla se agitó durante 3 minutos a la velocidad mínima y se dejó descansar durante 10 min (este proceso se repitió 3 veces), al final de este proceso la mezcla se deja reposar durante 12 horas, como resultado se obtuvo una pasta con la cual se obtuvieron los tratamientos a ambas concentraciones.

Bioensayo. Discos de hojas de col se cortaron a un tamaño de 6 cm de diámetro, los cuales se sumergieron durante 10 s en las concentraciones evaluadas y posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente sobre papel filtro, una vez secos este material se colocó al interior de cajas Petri de 9 cm revestidas con papel absorbente humedecido con agua destilada previamente. A continuación, se colocaron 10 larvas de 3er instar por caja Petri. cada concentración contó con 5 repeticiones. Adicionalmente se incluyó un testigo en el que se aplicó agua destilada. En ambos casos, se evaluó mortalidad a las 24 y 48 h posteriores a la exposición al tratamiento, se observó ausencia de movimiento corporal de las larvas al ser estimuladas con un alfiler entomológico durante 15 s (Iannacone & Lamas 2003).

Análisis estadístico. La variable mortalidad se analizó mediante un ANOVA de una vía, seguido de un análisis de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el apoyo del software estadístico Statgraphics Centurion XVI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mortalidad de larvas de tercer estadio de 3er estadio de *P. xylostella* registrada a las 24 h no fue significativamente diferente entre los individuos tratados con ambas concentraciones de jabón potásico, sin embargo, luego de 48 h de exposición el tratamiento a base de jabón potásico al 20% alcanzó 76% de mortalidad, siendo estadísticamente diferente del testigo y del tratamiento a base de jabón potásico al 5% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de mortalidad de larvas de tercer instar de *P. xylostella* tratadas con jabón potásico.

Tratamiento	% Mortalidad por ingestión	
	24h	48h
Control	0.0 $\pm$ 0.0 a	4.0 $\pm$ 4.0 a
Jabón 5%	24.0 $\pm$ 4.0 b	52.0 $\pm$ 4.9 b
Jabón 20%	36.0 $\pm$ 7.4 b	76.0 $\pm$ 4.0 c
Estadísticos	F= 14.0, gl= 2, p= 0.00	F= 72.0, gl= 2, p= 0.00

Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren significativamente ($P < 0.05$; ANOVA, Tukey).

El presente, representa el primer estudio que aborda el efecto del jabón potásico preparado de forma artesanal sobre *P. xylostella*, si bien, el jabón potásico comercial (Hydralene®) ha mostrado efectividad para controlar otras plagas como tripsy arañita roja a una menor concentración 2% en combinación con extracto de ajo (Renap100®) (Castresana et al., 2019), nuestros resultados sugieren que nuestro tratamiento puede ser igualmente efectivo aun cuando no se aplique en combinación con algún extracto vegetal.

CONCLUSIÓN

Después de 48 h de exposición, el mayor porcentaje de mortalidad de larvas de *P. xylostella* (76%) se registró en el tratamiento a base de jabón potásico al 20%, con base en este resultado, la aplicación de este tratamiento puede representar una alternativa para el control de larvas de la palomilla dorso diamante en el cultivo de la col.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su apoyo al primer autor con una estancia postdoctoral en el postgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

REFERENCIAS

- Castresana, J., Rosenbaum, J., & Rosenbaum, J. (2019). Transición del manejo de plagas convencional hacia el agroecológico mediante la transferencia de técnicas de control integrado de plagas en tomate bajo cubierta en Concordia - Provincia de Entre Ríos, Argentina. *IDESIA (Chile)*, 37(3), 17–27.
- Ecologika. (2018). *Manual de insecticidas, fungicidas y fortificantes ecológicos*. (s.e.).
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (2008). *Pesticide fact sheet: Spirotetramat*. 74 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2012). *Specifications and evaluations for agricultural pesticides: Thiamethoxam*. 34 p.
- González-Fuentes, F., Narváez-Niño, S., Rodríguez-Chinchilla, C., Vargas-Martínez, A., & González-Herrera, A. (2001). *Trampeo masivo de Plutella xylostella: una alternativa ambiental y económicamente beneficiosa para su control en Costa Rica*. *Revis Bionatura* 2023; 8 (1) 6. Manag Sci.

-
- García, C. M., Giraldo, V. H., & Ochoa, A. (2012). Ciclo de vida de *Metamasius dimidiatipennis* (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio. *Agronomía Tropical*, 62(1–4), 69–75.
- Iannacone, J., & Lamas, G. (2003). Efectos toxicológicos de extractos de *Schinus molle* y *Lantana camara* sobre *Chrysoperla externa*, *Trichogramma pintoi* y *Copidosoma koehleri*. *Agricultura Técnica*, 63, 347–360.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2013). *Producción de brócoli en el bajío*. Campo Experimental Bajío. Celaya, México.
- PAN (Pesticide Action Network International). (2014). *PAN International List of Highly Hazardous Pesticides*. http://www.pan-germany.org/gbr/project_work/highly_hazardous_pesticides.html
- Santiago-Lastra, J. A., & Perales-Rivera, H. R. (2007). Producción campesina con alto uso de insumos industriales: El cultivo de repollo (*Brassica oleracea* var. *Capitana*) en los Altos de Chiapas. *Ra Ximhai*, 3, 481–507.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). *Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo*. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion/

Obtención de biopigmentos asociados a *Arthrospira maxima* y su potencial benéfico en agricultura

Karen D. Atenea Priego-Delgado¹, Juan Carlos Camacho-Chab^{1*}, Manuel Jesús Chan-Bacab¹, Otto Raúl Ortega-Gutierrez², Benjamín Otto Ortega-Morales¹, Radames del Jesús Álvarez-Zapata¹, Rodrigo Enrique Tun-Che¹, Emy Guadalupe Huchin-Poot³

¹Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México,

²Universidad Marista de Mérida, Mérida, Yucatán, México, ³Tecnológico Superior de Hopelchén. Campeche-Hopelchén. *Autor para correspondencia: juanccam@uacam.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 18/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

El uso de cianobacterias, como células íntegras, ha cobrado relevancia por su potencial efecto benéfico en la agricultura. Por otra parte, es limitado el conocimiento de la influencia de extractos celulares cianobacterianos o biomoléculas sobre el crecimiento vegetal, a pesar de que los carotenoides y ficobiliproteínas pueden ejercer una actividad antioxidante, fortaleciendo el desarrollo inicial de plántulas, pudiendo el cultivo del maíz criollo representar una fuente de bioestimulantes. El objetivo de este estudio fue analizar de manera preliminar el contenido de carotenoides y ficobiliproteínas presentes en la cianobacteria *Arthrospira maxima*, una cianobacteria filamentosa fácilmente propagable. Se realizó un cultivo experimental con un medio artesanal de la cianobacteria sujeto a un fotoperiodo luz-oscuridad (8:16 horas), con temperatura controlada (30 ± 2 °C) y aireación constante. A partir de la biomasa seca (secado directo y liofilizado) se sometió a extracción de carotenoides por la técnica de maceración empleando etanol, acetato de etilo y hexano; se realizó una segunda extracción para la obtención de las ficobiliproteínas por baño ultrasónico y se centrifugó a 6,000 rpm durante 15 minutos para recuperar el sobrenadante. Una vez obtenidas las fracciones se realizó la caracterización cualitativa de pigmentos carotenoides mediante cromatografía de capa fina y se evaluó la actividad antioxidante. Se observó una extracción diferencial en función del tipo de secado. Este estudio subraya la necesidad de desarrollar protocolos de extracción específicos con el fin de evaluar su potencial como bioestimulantes en sistemas agrícolas tradicionales para aumentar el crecimiento y rendimiento en diversos cultivos como los maíces criollos.

Palabras clave: Bioestimulante, carotenoides, ficobilinas, cianobacteria

ABSTRACT

The use of cyanobacteria, as whole cells, has gained relevance due to their potential beneficial effects in agriculture. Furthermore, knowledge of the influence of cyanobacterial cell extracts or biomolecules on plant growth is limited, although carotenoids and phycobiliproteins can exert antioxidant activity, strengthening the initial development of seedlings. Criollo maize cultivation may be benefited from cyanobacterial extracts as a source of biostimulants. The objective of this study was to preliminarily analyze the carotenoid and phycobiliprotein content of the cyanobacterium *Arthrospira maxima*, an easily propagated filamentous cyanobacterium. An experimental culture of the cyanobacterium was carried out using a homemade medium subjected to a light-dark photoperiod (8:16 hours), with a controlled temperature (30 ± 2 °C) and constant aeration. The dried biomass (direct drying and freeze-drying) was subjected to carotenoid extraction by the maceration technique using ethanol, ethyl acetate, and hexane. A second extraction was performed to obtain phycobiliproteins using an ultrasonic bath, followed by centrifugation at 6,000 rpm for 15 minutes to recover the supernatant. Once the fractions were obtained, the carotenoid pigments were qualitatively characterized by thin-layer chromatography, and antioxidant activity was evaluated. Differential extraction yield was observed depending on the type of drying. This study highlights the need to develop specific extraction protocols to evaluate their potential as biostimulants in traditional agricultural systems to increase growth and yield in various crops such as native corn.

Key words: Biofertilizers, biostimulants, carotenoids, phycobilins, cyanobacteria.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cianobacterias ha generado un creciente interés en su aplicación en suelos agrícolas como un potente biofertilizante que se deriva del aporte del alto contenido de micro y macronutrientes, compuestos bioactivos y fitohormonas que generan efectos bioquímicos benéficos en el ecosistema del suelo derivados de las interacciones entre los cultivos y el microbioma del suelo (Marks et al., 2019). Adicionalmente, las cianobacterias son microorganismos con gran capacidad para recuperar nutrientes para sus procesos bioquímicos, lo que les permite crecer y asimilar fósforo y nitrógeno en ambientes con pocos nutrientes con altas tasas de absorción específica. La aplicación de cianobacterias y microalgas como biofertilizantes induce mejoras en el crecimiento de los cultivos y en los rendimientos de producción a través de la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno que genera efectos de mineralización, movilización de nutrientes orgánicos e inorgánicos y la producción de diferentes metabolitos secundarios con propiedades benéficas, como hormonas de crecimiento, polisacáridos, compuestos antimicrobianos y muchos otros (Renuka et al., 2018). Algunos estudios han reportado que estos microorganismos también pueden considerarse agentes de biocontrol o biopesticidas derivados del potencial para controlar o inhibir el crecimiento de patógenos, como hongos, bacterias y nematodos, a través de la producción de compuestos biocidas, como el ácido benzoico y enzimas maculosas o hidrolíticas (Osorio-Reyes et al., 2023). La cianobacteria *Arthrospira maxima*, conocida comúnmente como “Spirulina” y caracterizada por ser filamentosa, ha cobrado gran relevancia debido a su alto contenido nutricional y a la presencia de metabolitos secundarios con propiedades bioactivas. Al igual que el resto de estos microorganismos fotosintéticos, *A. maxima* puede ser cultivada en condiciones controladas y posee una notable capacidad a ambientes extremos. Adicionalmente, esta cianobacteria ha demostrado ser una buena fuente de compuestos bioactivos de interés para las industrias: alimentaria, cosmética, biomédica, nutracéutica y farmacéutica. Dentro de su composición, *A. maxima* contiene proteínas de alta calidad, ácidos grasos esenciales, polisacáridos, vitaminas, pigmentos como ficocianina, clorofila y carotenoides, así como compuestos fenólicos. Muchos de estos metabolitos secundarios han demostrado poseer actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y potencial terapéutico frente a enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Marjanović et al., 2024).

Por otra parte, México es considerado como uno de los últimos reservorios genéticos de maíz para la humanidad debido a las constantes selecciones divergentes de los agricultores rurales quienes diversificaron el cultivo en muchas variedades locales para satisfacer sus necesidades agronómicas y culturales (Pressoir & Berthaud, 2004). En los últimos años, las variedades de maíces criollos se han visto afectadas por el establecimiento de monocultivos de semillas mejoradas y por el desinterés de las nuevas generaciones en el cultivo de estos, lo que favorece la desaparición de las semillas criollas, ya que los productores buscan la mejor solución y lo que les brinde “mejores beneficios” o “mayor producción” optando por las semillas transnacionales y sus paquetes tecnológicos que involucran el uso intensivo de agroquímicos (Huchin-Poot et al., 2024). En este sentido, la adopción de paquetes tecnológicos por los agricultores rurales de maíces criollos no es bien vista pues para ellos no representan buenas prácticas de cultivo.

Las estrategias basadas en cianobacterias han mostrado resultados prometedores en el cultivo de maíz, evidenciando incrementos significativos en rendimientos y mejoras en parámetros de crecimiento como la biomasa, la fotosíntesis y la eficiencia en el uso del agua (Marjanović et al., 2024). Además, su uso contribuye a la sostenibilidad del suelo al reducir la dependencia de fertilizantes químicos, lo que genera un impacto positivo en la biodiversidad del microambiente (Hussain et al., 2020). A pesar de las potencialidades de las cianobacterias, la adopción de estas tecnologías en el cultivo de maíces criollos aún enfrenta barreras, incluyendo la falta de conocimiento sobre su manejo y la necesidad de protocolos específicos para cada contexto agroecológico (Riegler et al., 2021). Por lo tanto, es esencial promover investigaciones que no solo evalúen la efectividad de las cianobacterias como

biostimulantes y biofertilizantes, sino que también generen lineamientos claros de aplicación adaptados a las realidades locales. Es por ello que el presente trabajo de investigación tuvo como propósito evaluar de manera preliminar los compuestos bioactivos de *Arthrospira maxima*, particularmente sus pigmentos fotosintéticos, destacando su potencial como bioestimulante natural capaz de mejorar el desarrollo de especies vegetales, entre ellas la preservación de variedades locales de maíz y así contribuir a una agricultura más sostenible independiente de agroquímicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cultivo de *Arthrospira maxima*. La cianobacteria *Arthrospira maxima* de la colección de cultivos microbianos del Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología (CIMAB), fue mantenida en matraces con 500 mL de medio de cultivo comercial a base de sales, donde se establecieron condiciones estáticas de 30 ± 2 °C de temperatura, pH de 9.0, fotoperiodo de 8/16 h (luz-oscuridad) y aireación de 8 hrs por día durante 10 días. Posteriormente, se realizó un escalamiento, en las mismas condiciones, a 5 L por duplicado, manteniéndose en crecimiento durante 20 días (Blanco-Vieites et al., 2023).

Recuperación de biomasa de *A. maxima*. Una vez que transcurrieron los 20 días de crecimiento (fin de fase estacionaria) se procedió a la recuperación de la biomasa mediante filtración al vacío con ayuda de un embudo de porcelana y una malla de monofilamento de nailon. Posteriormente, se distribuyó en papel encerado para llevar a cabo el proceso de deshidratación o secado en un horno a una temperatura de 60 °C durante 5 horas. Al finalizar el tiempo de secado, el peso de la biomasa fue determinada y se almacenó en contenedores estériles para su manipulación.

Extracción y caracterización preliminar de pigmentos carotenoides. El proceso de extracción de los carotenoides se llevó a cabo utilizando la técnica de maceración. Para este procedimiento se empleó la biomasa seca y se dividió en tres partes para emplear 3 diferentes solventes. Enseguida se procedió a triturar manualmente empleando un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino el cual fue almacenado en matraces Erlenmeyer de 125 mL. La caracterización preliminar se llevó a cabo mediante la técnica de cromatografía de capa fina. Para ello, se empleó una placa de sílica gel como fase estacionaria, sobre la cual se aplicaron tres muestras correspondientes a las fracciones obtenidas con diferentes solventes: etanol, acetato de etilo y hexano. El sistema de elución utilizado fue una mezcla de solventes en proporción 8:2:2:2 (v/v), conformado por hexano, acetona, acetato de etilo y alcohol isopropílico. Una vez cargadas las muestras en la línea de base, la placa cromatográfica fue colocada dentro de una “cámara de desarrollo” (vaso de precipitado con tapa), previamente saturada con el sistema de elución. Durante el proceso, se observó la migración diferencial de los compuestos sobre la placa, lo que permitió su separación en función de sus afinidades con las fases móvil y estacionaria. Las bandas obtenidas se registraron visualmente para su posterior análisis cualitativo y comparación con las reportadas en la literatura (Meléndez-Martínez et al., 2007; Miki et al., 1986; Park et al., 2018).

Evaluación de la actividad antioxidante de la fracción de carotenoides. Se evaluó la capacidad antioxidante de carotenoides en tres muestras a través del ensayo de capacidad antioxidante del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) (Ordoñez-Torres, 2019). Se colocaron 100 µL de cada muestra en tres viales diferentes, previamente rotulados; posteriormente, a estos viales se les agregaron 3.9 mL de una solución de DPPH al 0.004% en metanol. La capacidad antioxidante se expresó como el porcentaje de la actividad de captación del radical DPPH (SC%) de la siguiente manera:

$$SC\% = ([A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}] / A_{\text{control}}) \times 100\%$$

Donde:

A_{control} = absorbancia del control (solución de DPPH sin muestra).

A_{muestra} = absorbancia de la muestra (solución de DPPH con muestra).

Se preparó un control negativo (metanol) y como controles positivos se utilizaron ácido ascórbico (1 mg/mL) y un extracto de suplemento alimenticio de espirulina (Pronat®) (5 mg/mL).

Extracción de ficobiliproteínas. El análisis de contenido de ficobiliproteínas se realizó, por triplicado, en muestras de *A. maxima* frescas (pellets), secadas al horno y por liofilización, tomando como control una muestra comercial. Inicialmente, las muestras fueron resuspendidas en buffer acetatos (0.1 M, pH 6) en una relación al 2% en muestras secas y 5 % en muestras frescas (Kovaleski, 2024). Seguidamente, las muestras fueron sometidas a baño ultrasónico por 30 minutos y, posteriormente, se centrifugó a 6,000 rpm durante 15 minutos para recuperar el sobrenadante. Por último, se obtuvo el espectro de absorción UV de los extractos entre 190 y 1100 nm (Evolution 201, Thermo Scientific).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cultivo *A. maxima*. Durante los días de crecimiento se controlaron los parámetros ya descritos, y se observó la producción de biomasa por el color verde intenso que presentó el cultivo. Adicionalmente, se monitoreó la morfología de los tricomas en microscopía óptica tomando en cuenta la forma “espiral” septada. Se identificó el color verdeazulado de los tricomas, así como la cantidad de espiras o espirales (de 5-9 espiras). También se observó su característico movimiento activo que se origina de uno de los extremos en forma lenta y se orienta hacia todo el cuerpo del tricoma (Figura 1).

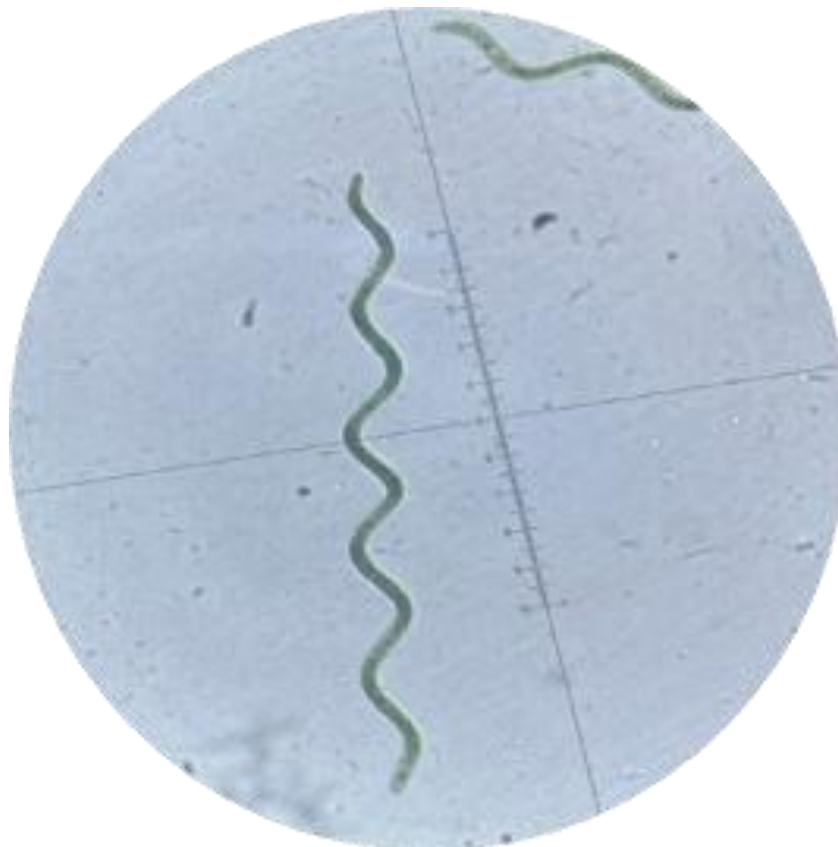
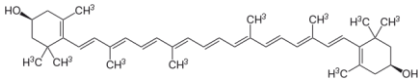
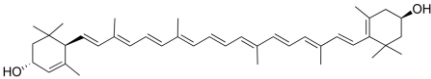
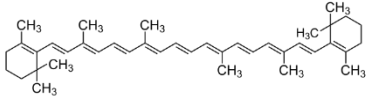


Figura 1. Tricoma de *A. maxima* a 40x en microscopio óptico.

Caracterización preliminar de carotenoides mediante cromatografía de capa fina. Los resultados de la caracterización mediante cromatografía de capa fina empleando tres diferentes solventes demuestran lo descrito en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis cualitativo de la cromatografía de capa fina de las fracciones extraídas de la biomasa de *A. máxima*.

Fracción	Descripción	Carotenoides asociados reportados en la literatura
Etanol	Se distingue una banda de coloración amarilla tenue cerca de la base de la placa, lo que sugiere la presencia de compuestos más polares que presentan poca movilidad con el sistema de elución utilizado. Este comportamiento se debe al uso de etanol pues es un compuesto polar que extrae pigmentos solubles en agua como algunas xantofilas o compuestos fenólicos.	Xantofilas Estructura molecular de zeaxantina  (Báez, 2007; Maoka, 2020; Vachali et al., 2014)
Acetato de etilo	Presentó bandas más intensas y definidas de color amarillo, que subieron un poco más en la placa que las del extracto etanólico. Esto sugiere que contiene compuestos de polaridad intermedia como pudieran ser algunos carotenoides como luteína. La buena separación indica que esta fracción podría tener mayor variedad de compuestos y que a su vez, el uso del acetato de etilo es adecuado al momento de realizar extracciones de pigmentos en <i>A. maxima</i> .	Estructura molecular de luteína  (Maoka, 2020; Moreno Garrido & Rodríguez Doderó, 2002; Vats, 2017)00/00/0000 00:00:00 a. m.

Hexano	Mostró una banda ligeramente amarilla-naranja y difusa en la parte alta de la placa, lo que indica compuestos no polares, como el β -caroteno.	Carotenos Estructura molecular del β -caroteno.
		
		(Báez, 2007; Maoka, 2020; Meléndez-Martínez et al., 2007)

De manera general, se observó que la separación obtenida indica que los carotenoides y compuestos derivados presentan diferente afinidad según la polaridad del disolvente utilizado para la extracción. La presencia de bandas amarillas en todas las fracciones indica que se extrajeron pigmentos carotenoides en distintas proporciones y purezas. En el caso de la fracción etanólica, se extrajeron compuestos más polares; en la fracción acetato de etilo, al presentar una polaridad intermedia, permitió la extracción de compuestos polares y no polares en mayor cantidad.

Contenido de ficobiliproteínas. Para realizar la comparación de contenido de ficobiliproteínas en muestras secas, se realizó la liofilización de otra porción de biomasa de *A. maxima*, determinando que el peso seco solo representa un 7.4% del peso fresco. La biomasa secada por horno presentó similitud en su apariencia en el color y textura en comparación con la muestra control (pulverizada y cribada), mientras que la muestra liofilizada presentó una tonalidad más opaca, con una textura granulada. Al comparar los extractos, se puede observar diferencias en las tonalidades, presentando un tono verde transparente la muestra fresca, un azul intenso la muestra horneada, similar al todo control, y tono azul oscuro la muestra liofilizada (Figura 2).

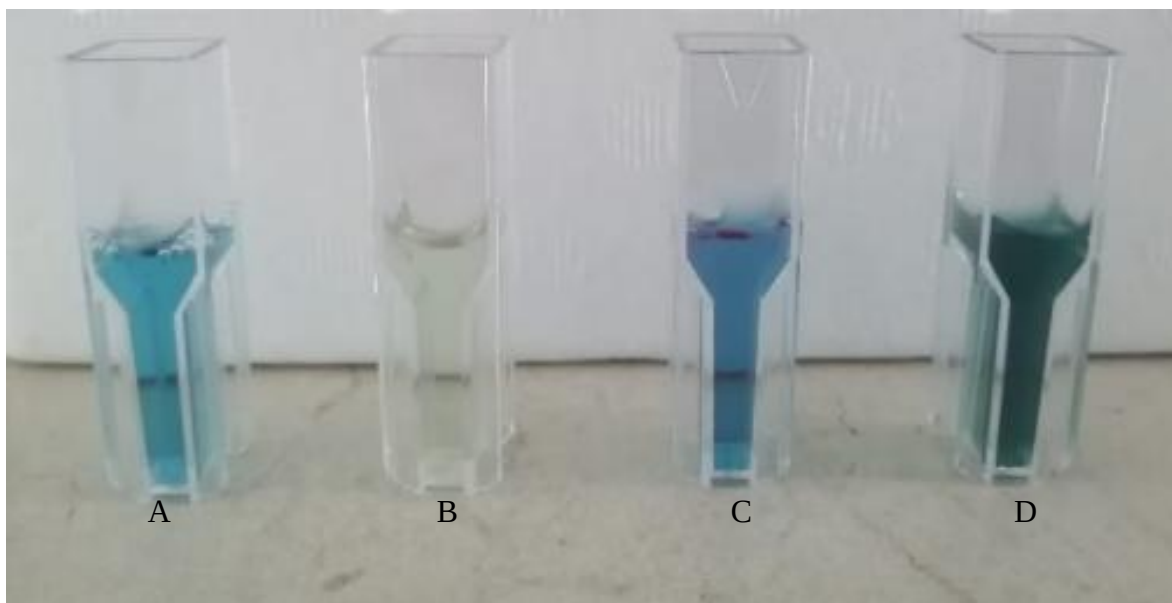


Figura 2. Extractos ficobiliprotéicos de las diferentes muestras de *A. maxima*. A) *A. maxima*. B) *A. maxima* fresca. C) *A. maxima* horneada. D) *A. maxima* liofilizada.

Metabolitos de *A. maxima* y su potencial benéfico en maíces criollos. Los carotenoides de *A. maxima* pueden aumentar la estabilidad de las membranas celulares y reducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) durante la fotosíntesis. Esto se traduce en un aumento de la fotosíntesis, lo que contribuiría a un crecimiento más vigoroso (Vangenechten et al., 2025). Por otro lado, las ficobiliproteínas han demostrado ser eficaces para mejorar la captación de luz, facilitando una mayor producción de energía (Di Sario et al., 2025). De tal manera que estos tipos de metabolitos pueden promover la activación de las defensas naturales (metabolitos y fitohormonas) en plantas como maíces criollos, cuyos productores de comunidades rurales que se dedican al cultivo y rescate de variedades de maíz criollo no están de acuerdo en el uso de fertilizantes químicos para sus cultivos. Tomando en cuenta que el cultivo de *A. maxima* puede ser realizado de manera artesanal para consumo humano, representaría una alternativa benéfica igual como bioestimulante en el cultivo de maíces criollos.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos de este trabajo preliminar evidencian que *A. maxima*, gracias a su alto contenido de carotenoides y ficobiliproteínas, puede promover un crecimiento vigoroso de las plantas al mejorar la fotosíntesis y la captación de nutrientes. La caracterización de estos metabolitos ha demostrado que los carotenoides contribuyen a la estabilidad de las membranas celulares y a la reducción de especies reactivas de oxígeno, mientras que las ficobiliproteínas facilitan una mayor producción de energía a través de una mejor absorción de luz. Además, el uso de *A. maxima* como bioestimulante se alinea con las prácticas de cultivo sostenibles, favoreciendo la preservación de variedades locales de maíz y reduciendo la dependencia de insumos químicos. La investigación también pone de manifiesto la necesidad de desarrollar protocolos específicos y brindar capacitación a los agricultores sobre el manejo de cianobacterias, lo que permitirá maximizar los beneficios de estos biofertilizantes en el contexto de cultivos tradicionales de maíz criollo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto “Rescate, revalorización y conservación de maíz criollo para fortalecer la seguridad alimentaria en las comunidades mayas de la región de Los Chenes, Campeche- Referencia PEE-2025-G-543” gracias al apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

REFERENCIAS

- Báez, J. E. (2007). Generadores de Colores Naturales: Carotenos y Xantofilas. *Revista Enlace Químico*, Universidad Autónoma de Guanajuato, 1(7), 234-239.
- Blanco-Vieites, M., Casado, V., Battez, A. H., & Rodríguez, E. (2023). Culturing *Arthrospira maxima* in mining wastewater: Pilot-scale culturing and biomass valorisation into C-phyococyanin and crude lipid extract. *Environmental Technology & Innovation*, 29.
- Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T., & Pizzio, G. A. (2025). Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), 11–29.
- Huchin-Poot, E. G., Uicab-Brito, L. A., & Pantí-González, D. A. (2024). *El maíz criollo: Tesoro natural para generaciones futuras en el sureste de México*. ResearchGate, 80–85.
- Hussain, S., Mohamed, A. A., Alamri, M. S., Ibraheem, M. A., Qasem, A. A. A., Shahzad, S. A., & Ababtain, I. A. (2020). Use of Gum Cordia (*Cordia myxa*) as a Natural Starch Modifier; Effect on Pasting, Thermal, Textural, and Rheological Properties of Corn Starch. *Foods*, 9(7), 909.
- Kovaleski, A. P. (2024). The potential for an increasing threat of unseasonal temperature cycles to dormant plants. *New Phytologist*, 244(2), 377–383.
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1–16.
- Marjanović, B., Benković, M., Jurina, T., Sokač Cvetnić, T., Valinger, D., Gajdoš Kljusurić, J., & Jurinjak Tušek, A. (2024). Bioactive Compounds from *Spirulina* spp.—Nutritional Value, Extraction, and Application in Food Industry. *Separations*, 11(9), 9.

- Marks, E. A. N., Montero, O., & Rad, C. (2019). The biostimulating effects of viable microalgal cells applied to a calcareous soil: Increases in bacterial biomass, phosphorus scavenging, and precipitation of carbonates. *Science of The Total Environment*, 692, 784–790.
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., & Heredia, F. J. (2007). Pigmentos carotenoides: Consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), 109–117.
- Miki, W., Yamaguchi, K., & Konosu, S. (1986). Carotenoid Composition of *Spirulina maxima*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 52(7), 1225–1227.
- Moreno Garrido, I., & Rodríguez Doderó, M. C. (2002). Optimización de variables para la mejora de la separación y la sensibilidad en un análisis por cromatografía en capa fina: Aplicación al estudio del perfil pigmentario de algas marinas. *Anales de Química de la RSEQ*, 3, 34–39.
- Ordoñez-Torres, A. C. (2019). *Evaluación de la capacidad antioxidante de carotenoides y exopolisacáridos por Scenedesmus dimorphus (Turpin) Kützinger 1834*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Campeche, México.
- Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., Castañeda-Antonio, M. D., Coronado-Apodaca, K. G., Gomes Araújo, R., Sosa-Hernández, J. E., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., Parra-Saldivar, R., & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. *Marine Drugs*, 21(2), 93.
- Park, W. S., Kim, H.-J., Li, M., Lim, D. H., Kim, J., Kwak, S.-S., Kang, C.-M., Ferruzzi, M. G., & Ahn, M.-J. (2018). Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin, in *Spirulina* Powder and Their Antioxidant Activities. *Molecules*, 23(8), 20–65.
- Pressoir, G., & Berthaud, J. (2004). Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity*, 92(2), 95–101.
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: Current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36(4), 1255–1273.
- Riegler, S., Servi, L., Scarpin, M. R., Godoy Herz, M. A., Kubaczka, M. G., Venhuizen, P., Meyer, C., Brunkard, J. O., Kalyna, M., Barta, A., & Petrillo, E. (2021). Light regulates alternative splicing outcomes via the TOR kinase pathway. *Cell Reports*, 36(10), 109–676.
- Vachali, P. P., Besch, B. M., & Bernstein, P. S. (2014). Carotenoids and Age-Related Macular Degeneration. En V. R. Preedy (Ed.), *Handbook of Nutrition, Diet and the Eye* (pp. 77–84). Academic Press.
- Vangenechten, B., De Coninck, B., & Ceusters, J. (2025). How to improve the potential of microalgal biostimulants for abiotic stress mitigation in plants? *Frontiers in Plant Science*, 16.
- Vats, S. (2017). Methods for Extractions of Value-Added Nutraceuticals From Lignocellulosic Wastes and Their Health Application. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Ingredients Extraction by Physicochemical Methods in Food* (pp. 1–64). Academic Press.

Potencial de producción de biogás de subproductos de la industria de bioetanol a base de maíz inoculados con purines de cerdo

Francisco Badin^{1*}, María José Galván¹, Analía Becker¹, Diego Acevedo²

¹Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB, CONICET), Universidad Nacional de Villa María, Villa María, Córdoba, Argentina, ²Instituto de Investigaciones en Tecnologías Energéticas y Materiales Avanzados (IITEMA), Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. *Autor para la correspondencia: franbadin@hotmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 20/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

La producción de biogás en Argentina posee un alto potencial, impulsado por la disponibilidad y diversidad de materias primas distribuidas en distintas regiones del país. En particular, la región pampeana en la provincia de Córdoba, con un marcado perfil agropecuario y agroindustrial, genera una variedad de residuos y subproductos susceptibles de ser valorizados mediante digestión anaeróbica. En este contexto, el presente estudio evaluó el potencial de producción de biogás (PPB) de tres subproductos derivados de la industria del bioetanol a base de maíz: vinaza fina, jarabe de maíz y residuo de cribado de maíz. Los ensayos se realizaron en condiciones de monodigestión en sistema batch, utilizando purines de cerdo como inóculo. Para cada sustrato se aplicaron distintas relaciones entre sólidos volátiles del sustrato y el inóculo (0.25, 0.5, 0.75 y 1). Los resultados mostraron que los tres subproductos presentan un PPB significativo, destacándose la vinaza fina y el residuo de cribado por sus mayores rendimientos. Asimismo, se evidenció que la eficiencia del proceso depende de la relación de sólidos volátiles utilizada, encontrándose un valor óptimo específico para cada subproducto. Estos resultados subrayan el valor energético de estos residuos y la importancia de optimizar las condiciones operativas para su aprovechamiento. Se propone profundizar en estudios orientados a la codigestión entre estos sustratos, con el fin de maximizar la eficiencia del proceso y promover una gestión sustentable de los residuos agroindustriales.

Palabras clave: Biogás, subproductos, agroindustria.

ABSTRACT

Biogas production in Argentina has a high potential, driven by the availability and diversity of raw materials distributed in different regions of the country. In particular, the Pampas region in the province of Córdoba, with a marked agricultural and agroindustrial profile, generates a variety of wastes and by-products that can be valorized by anaerobic digestion. In this context, the present study evaluated the biogas production potential (BPP) of three by-products derived from the corn-based bioethanol industry: fine stillage, corn syrup and sieving residue. The tests were carried out under batch system monodigestion conditions, using pig slurry as inoculum. For each substrate, different ratios of volatile solids of the substrate to the inoculum were applied (0.25, 0.5, 0.75 and 1). The results showed that the three by-products presented a significant PPB, with the fine stillage and the sieving residue standing out for their higher yields. It was also shown that the efficiency of the process depends on the ratio of volatile solids used, and a specific optimum value was found for each by-product. These results underline the energetic value of these wastes and the importance of optimizing the operating conditions for their utilization. It is proposed to deepen studies oriented to the co-digestion between these substrates, to maximize the efficiency of the process and promote a more efficient management of the waste.

Key words: Biogas, by-products, agroindustry.

INTRODUCCIÓN

Argentina cuenta con gran cantidad de recursos biomásicos distribuidos por todo el país, que constituyen una fuente de energía confiable, ecológica y renovable. La bioenergía se puede utilizar

con diversos fines, ya sea calefacción, para la industria o el transporte. Actualmente, representa cerca del 9% de la energía primaria de la matriz energética mundial. Entre los principales biocombustibles producidos por Argentina destacan el biodiésel de aceite de soja y bioetanol de maíz y caña de azúcar. Su participación en la oferta interna de energías secundarias se mantuvo prácticamente constante durante los últimos años, mostrando una caída en 2020 por la pandemia; cada uno representa el 0,6%. Se cuenta con 19 plantas de bioetanol; más del 70% se realiza con caña de azúcar y el resto con maíz. En el año 2018 la capacidad instalada era de 950.000tn/año. En el noroeste del país se encuentran las plantas que utilizan caña de azúcar, y el resto en la región pampeana (MAGyP, 2020). Córdoba es la provincia de mayor producción, con casi el 40% del producto, siendo ACA-Bio Cooperativa LTDA la más importante, seguida por Promaíz S.A. Ambas utilizan maíz como materia prima (Bolsa de Comercio de Rosario, 2020).

La industria del bioetanol de maíz presenta dos problemas de importancia como lo son: el destino de las grandes cantidades de subproductos y la gran demanda de energía para el procesamiento de subproductos. Los métodos tradicionales de procesamiento de subproductos consisten principalmente en la evaporación y el secado de las aguas residuales de la destilería, por lo que consumen mucha energía, lo que empeora el ya modesto índice de balance energético neto del etanol de maíz. Se ha demostrado que los subproductos del bioetanol son degradables mediante digestión anaeróbica (DA) y, por lo tanto, representa una posible alternativa de procesamiento para los subproductos del bioetanol. El biogás resultante se puede utilizar in situ, mejorando el equilibrio energético de la producción de etanol. Es por lo antes expuesto que la digestión anaerobia de los residuos de destilería de etanol de maíz se ha convertido en un proceso de interés en los últimos años, como consecuencia de la rápida expansión de la industria del bioetanol de maíz (Gyenge et al., 2014).

En este trabajo se busca marcar un antecedente en la investigación de la aplicación de los subproductos de dicha industria en la producción de biogás. De la misma se utilizarán vinaza fina de maíz (VM), jarabe de maíz (JM) y residuo de cribado de maíz (RCM). Cada uno de estos subproductos son obtenidos en el proceso de producción de bioetanol y se evaluarán en mono digestión con purines de cerdo como inóculo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los subproductos para utilizar como sustratos del trabajo se obtuvieron por parte de una industria local de producción de bioetanol a base de maíz, la cual es la mayor productora del país. El purín de cerdo fue proporcionado por un establecimiento porcino de la zona. Inicialmente se realizó una caracterización fisicoquímica de los 3 sustratos a utilizar en el trabajo (Vinaza Fina de Maíz, Jarabe de Maíz, Residuo de Cribado de Maíz) y del inóculo ensayado (purín de cerdo) para conocer las propiedades de los mismos y de esta manera poder realizar las digestiones de manera óptima para establecer relaciones entre ellas. Se midieron sólidos totales y sólidos volátiles, pH, carbono orgánico total, nitrógeno total kjedahl y proteína. Cada uno de los métodos llevados a cabo para la caracterización se realizó bajo metodologías APHA y AOAC.

Una vez caracterizados los sustratos e inóculo, se ensayaron monodigestiones a diferentes relaciones entre sustratos e inóculo (RSI) en base a sus sólidos volátiles, conformando las siguientes relaciones: 0,25, 0,5, 0,75 y 1. Las primeras dos relaciones son las recomendadas por diferentes autores, mientras que las dos restantes se incorporaron para evaluar los límites de sobrecarga del sistema por exceso de alimentación para generación de biogás para cada sustrato. Las relaciones RSI se calcularon como indica la Ecuación (1). Metodológicamente, se incorporó una carga fija de 200 g de inóculo en todas las mezclas, y se modificó la cantidad de sustrato según la relación correspondiente a cada ensayo.

$$RSI = \frac{gSustrato.\%STSustrato.\%SVSustrato}{gInóculo.\%STInóculo.\%SVInóculo} \quad (1)$$

La producción de biogás para evaluar el potencial de producción de biogás (PPB) de cada sustrato se realizó por triplicado en batch mediante desplazamiento volumétrico, realizando adaptaciones a las metodologías propuestas por diferentes autores referentes en la temática (Angelidaki et al., 2009) (Holliger et al, 2016). Las adaptaciones realizadas fueron implementadas exitosamente en estudios previos para otros sustratos en el grupo de investigación dentro del cual se realiza este trabajo. El ensayo realizado consistió en 3 frascos con sus correspondientes conexiones mediante mangueras herméticas flexibles con las uniones completamente selladas para evitar pérdidas de gas (Figura 1). El primero de los frascos, contiene cada una de las mezclas sustrato/inóculo a evaluar, ubicadas dentro de una incubadora a temperatura y agitación constante (37 °C y 100 rpm). El segundo contiene la solución a desplazar por el biogás generado en el anterior. Por último, se encuentra el recipiente donde se receptiona el volumen del líquido desplazado por el biogás, y sirve de indicador de la medida de gas generado por los sustratos en digestión. Cada uno de los ensayos para cada relación se controló para registrar las medidas del volumen desplazado de manera periódica durante 44 días y además se incorporó un triplicado de blanco (200 g de inóculo sin agregado de sustrato) y un triplicado para el control que consta de purines de cerdo y celulosa microcristalina.

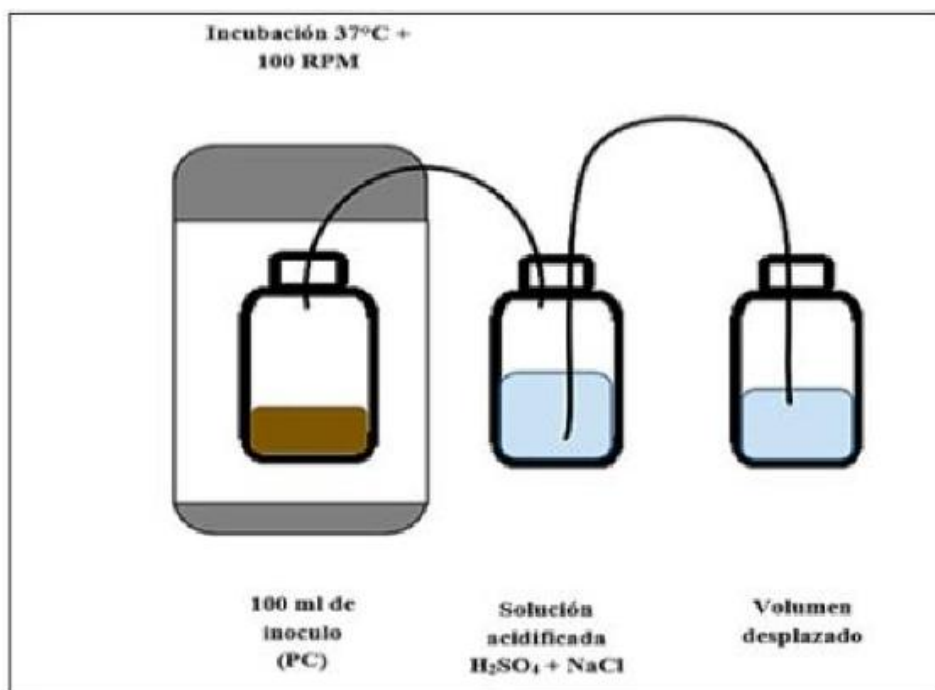


Figura 1: Dispositivo implementado para el ensayo de desplazamiento volumétrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en el Cuadro 1 se puede observar la caracterización fisicoquímica realizada a los 3 sustratos (RCM, VM y JM) y al inóculo (I), la misma fue un aspecto clave para llevar a cabo los ensayos de monodigestión en los que se centra este trabajo. Cada uno de los ensayos realizados para cada sustrato y relación de SV se midió de manera periódica por medio del líquido desplazado hacia el tercer frasco. Al volumen desplazado, obtenido en cada ensayo expresados en ml, se le descontó lo obtenido en el triplicado del blanco para que el resultado final considere únicamente la producción de biogás por la alimentación suministrada y no la producción remanente de la carga del inóculo (el

cual se desgacificó previamente) (Angelidaki et al., 2009; Filer et al., 2019). Además, se corrigió el resultado a condiciones normales de presión y temperatura (CNPYT), según (Strömberg et al., 2014).

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica de sustratos e inóculo.

	pH	ST %	SV %	COT %	N %	Relación C/N	Proteína %
RCM	4,23	87,3	97,61	56,62	1,47	38,39	9,21
VM	3,95	5,97	87,34	50,66	3,12	16,2	19,55
JM	3,82	26,07	88	51,04	2,84	17,95	17,7
I	7,78	4,4	68,45	42,68	2,14	19,94	13,39

Para calcular el PPB se consideró el desplazamiento corregido a CNPYT en base a los SV iniciales de la muestra analizada, obteniendo los PPB que se observan en el Cuadro 2 en LBiogás/KgSV.

Cuadro 2. Potencial de producción de biogás (LBiogás/KgSV) de VM, JM y RCM.

Relaciones S/I	Sustrato	PPB	Mín	Máx
0,25	Vinaza de Maíz (VM)	129,84 ± 24,86	104,98	154,70
0,50		204,37 ± 5,51	198,86	209,88
0,75		100,07 ± 10,43	88,14	107,42
1,00		668,54 ± 5,52	663,01	674,06
0,25	Jarabe de Maíz (JM)	76,34 ± 10,91	65,43	87,24
0,50		131,31 ± 24,52	106,79	155,83
0,75		51,76 ± 2,72	49,04	54,48
1,00		71,78 ± 11,04	60,74	82,82
0,25	Residuo de Cribado de Maíz (RCM)	243,33 ± 2,74	240,60	246,07
0,50		181,84 ± 4,09	177,75	185,93
0,75		125,41 ± 8,18	117,23	133,58
1,00		0,00	0,00	0,00

Se puede observar, que los diferentes sustratos presentaron un PPB distinto para cada relación probada. La relación 1 de la vinaza fina de maíz presentó una mayor producción ($668,5 \pm 5,54$ Lbiogás/kgSV) en comparación a las demás que estuvieron entre 100 y 200 Lbiogás/kgSV, logrando una diferencia sumamente marcada. Cabe destacar que, si bien las demás relaciones de vinaza presentaron producciones inferiores a las mencionadas por algunos autores (Alkan et al., 2011), este comportamiento puede deberse a que en los ensayos llevados a cabo no se realizó readaptación del sustrato ni se incorporaron micronutrientes al sistema para optimizar el mismo como lo hicieron los autores mencionados. Además, Alkan et al., (2011) hallaron la mayor producción en la relación de 0,5, aspecto que se diferencia a lo hallado en este trabajo donde la relación óptima fue de 1, mientras que la relación de 0,5 se encuentra en segundo lugar en cuanto a producción. Esta diferencia hallada con la bibliografía puede estar relacionada al uso de inóculos diferentes. En este caso, se utilizaron purines de cerdo desgasificados y los autores mencionados aprovecharon inóculos ya adaptados, provenientes de biodigestores en funcionamiento (no se menciona con que fueron alimentados los digestores).

Para el caso de RCM y JM no se hallaron antecedentes de digestión anaerobia por parte de otros autores para contrastar. El RCM se encontró limitado ante la relación de 1, demostrando una sobrecarga del sistema como sugieren otros estudios (Tanimu et al., 2014), mientras que los dos sustratos restantes presentaron PPB variables, pero con producción para todas las alimentaciones utilizadas. De los sustratos ensayados el que presentó mayor potencial para la producción de biogás para las relaciones de 0,25 y 0,75 fue el RCM mientras que para la relación de 0,5 y 1 fue VM. Se puede observar como la producción de biogás se fue reduciendo a medida que la RSI de alimentación aumentaba en el caso del RCM, mientras que para los dos sustratos restantes la producción no presentó una tendencia marcada a diferentes relaciones, esto se puede observar de manera más clara en la Figura 1.

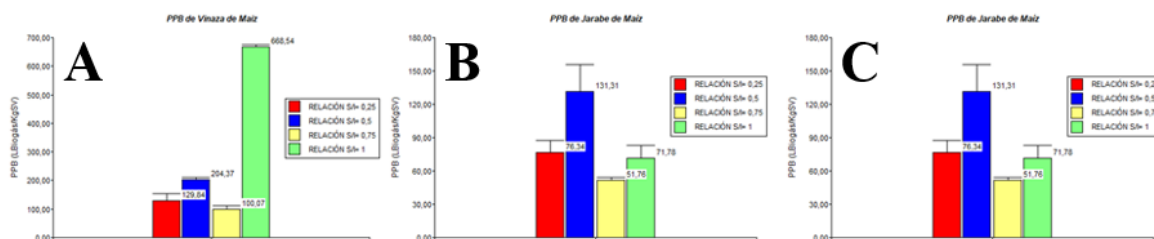


Figura 1. Potencial de producción de biogás (LBiogás/KgSV). A) VM, B) JM y C) RCM.

Otros autores (Bres et al., 2022) exponen que las RSI utilizadas deben estar entre 0,25 y 1 como se utilizó en este trabajo, siendo la menor de ellas utilizada para sustratos desconocidos para evitar sobrecargas, aspecto marcado anteriormente. La normativa alemana (V.D.I. 2009) determina que la relación óptima es de 0,5; que está en concordancia con la obtenida en los ensayos (un mayor PPB para JM y una producción considerable para VM y RCM). A excepción de la vinaza en la relación de 1, los resultados demostraron que las relaciones de 0,25 y 0,5 generan la mayor producción de biogás para cada sustrato, mostrando una tendencia de mayores producciones cuanto menores son las RSI de alimentación.

Para el caso de la vinaza fina de maíz, las relaciones utilizadas presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí en cuanto a su PPB, con un orden ascendente en producción de la siguiente manera 0,75, 0,25, 0,5 y 1. Para el residuo de cribado de maíz también se hallaron diferencias estadísticamente significativas para cada relación, con mayor producción de biogás a medida que se redujo la alimentación como se mencionó anteriormente, destacando que a la mayor

alimentación probada (RSI de 1) se produjo la inhibición del sistema, probablemente por sobrecarga como se hizo mención anteriormente. En cambio, el jarabe de maíz se diferenció de los dos sustratos mencionados ya que solo se hallaron diferencias estadísticamente significativas para la relación de 0,5 (la óptima para dicho sustrato). En el Cuadro 3 se puede observar lo descrito en cuanto a las diferencias estadísticas entre relaciones para cada sustrato. Cabe destacar que, si bien cada sustrato presentó a diferente RSI el óptimo de producción en monodigestión, la relación de 0,75 no fue óptima para ninguno de ellos. Este aspecto, sumado a que prácticamente fue la que menor producción presentó en todos los casos, marca un aspecto a considerar para las codigestiones que se realizarán. En base a esos resultados la RSI de 0,75 no será incluida en el diseño de mezcla que se realizará para evaluar la codigestión de los sustratos.

Cuadro 3. Diferencias estadísticas entre diferentes RSI para cada sustrato ensayado.

Sustratos	Relación RSI	PPB*	R ²
Vinaza de maíz	0,25	129,84 ± 24,86 ^c	1
	0,5	204,37 ± 5,51 ^b	1
	0,75	100,07 ± 10,43 ^d	1
	1	668,54 ± 5,52 ^a	1
Jarabe de maíz	0,25	76,34 ± 10,91 ^b	0,86
	0,5	131,31 ± 24,52 ^a	0,86
	0,75	51,76 ± 2,72 ^b	0,86
	1	71,78 ± 11,04 ^b	0,86
Residuo de cribado de maíz	0,25	243,33 ± 2,74 ^a	1
	0,5	181,84 ± 4,09 ^b	1
	0,75	125,41 ± 8,18 ^c	1
	1	0,00 ^d	1

* Letras diferentes expresan diferencias estadísticamente significativas.

Al momento de comparar los PPB obtenidos por los sustratos para cada RSI utilizada, se observó que los 3 subproductos utilizados presentaron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de las relaciones, a excepción de la RSI 0,5. Para esta relación no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre VM y RCM, aunque si existen diferencias de ambos con respecto a JM. Además, el PPB fue menor para este último sustrato en comparación con los dos sustratos restantes. Como se mencionó anteriormente, para el caso de la relación de 0,25, RCM fue quién presentó un mayor PPB, seguido por VM y en tercer lugar JM. La misma situación se obtuvo para la relación de 0,75. A diferencia de estas últimas dos relaciones, la RSI de 1 presentó un mayor PPB para VM, seguido por JM y por último (y sin producción) el RCM. Lo mencionado con respecto al ANOVA de cada RSI para los sustratos se puede observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Diferencias estadísticas entre sustratos para cada RSI.

RSI	Sustratos	PPB	R ²
0,25	Vinaza de maíz	129,84 ± 24,86 ^b	0,97
	Jarabe de maíz	76,34 ± 10,91 ^c	
	Residuo de cribado de maíz	243,33 ± 2,74 ^a	
0,5	Vinaza de maíz	204,37 ± 5,51 ^a	0,87
	Jarabe de maíz	131,31 ± 24,52 ^b	
	Residuo de cribado de maíz	181,84 ± 4,09 ^a	
0,75	Vinaza de maíz	100,07 ± 10,43 ^b	0,96
	Jarabe de maíz	51,76 ± 2,72 ^c	
	Residuo de cribado de maíz	125,41 ± 8,18 ^a	
1	Vinaza de maíz	668,54 ± 5,52 ^a	1
	Jarabe de maíz	71,78 ± 11,04 ^b	
	Residuo de cribado de maíz	0,00 ^c	

Otro aspecto analizado en los ensayos de PPB fue la curva de producción de biogás acumulado a lo largo de los 44 días medidos. Cada uno de los rendimientos acumulados que se observan en los Gráficos 4 al 7, se pueden comparar con la curva de producción típica sugerida por otros autores (Koch et al., 2019) (Figura 2). Los autores mencionados evidencian cuál debe ser la curva ideal de la producción de biogás con relación al tiempo (línea continua) y, por el contrario, cual supone un uso inapropiado de la relación RSI (línea punteada).

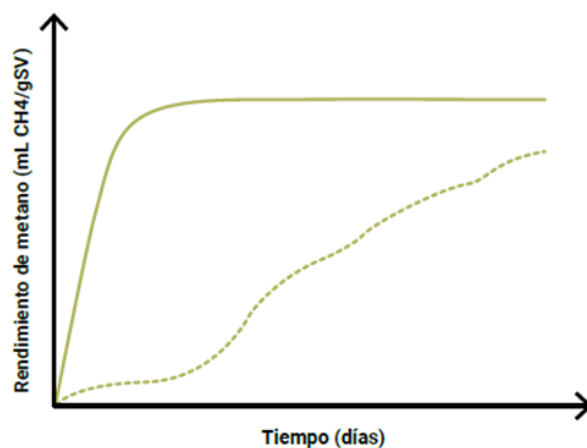


Figura 2. Producción acumulada - Curva esperada vs uso inapropiado de relación RSI (Koch et al., 2019).

La Figura 3A representa la producción acumulada de biogás para la RSI de 0,25, el perfil obtenido se lo puede asociar con la curva de la Figura 2 para el caso donde la relación entre sustrato e inóculo no es la adecuada, si bien se obtuvo producción para los 3 sustratos, no es óptima. El perfil cambia al observar la producción al utilizar la RSI de 0,5 (Figura 3B), que se asemeja a la curva de producción óptima. Si bien la relación de RSI=0,5 para su optimización debe ser ajustada, es la relación de alimentación cuyo perfil presenta una tendencia que se aproxima más al óptimo mencionado. Caso contrario ocurre para la relación de 1 (Figura 3C), que se observa sumamente diferente a la curva deseada. Finalmente, en el caso de la RSI de 0,75 (Figura 3D), si bien su curva inicialmente tiende al perfil óptimo, rápidamente se corta la producción de biogás (entre los días 11 y 17), marcando una inhibición del sistema, posiblemente por exceso de alimentación.

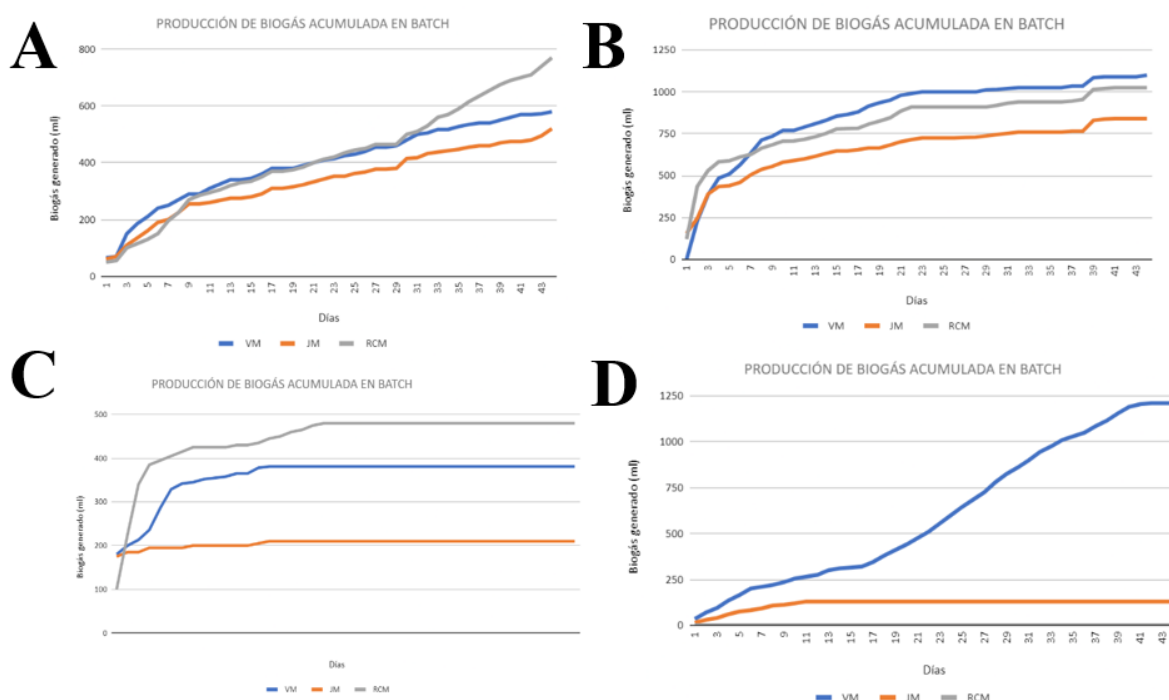


Figura 3. Producción de biogás (ml) acumulado - RSI 0,25, 0,5, 0,75 y 1.

El ensayo realizado empleando una RSI de 0,25 se siguió hasta el día 73 ya que continuaba produciendo biogás. Como se puede observar en el Gráfico 8 se obtuvieron valores de producción de biogás considerablemente más elevados en comparación a los mismos sustratos con producción a 44 días. Para el caso de la VM se alcanzaron valores que equivalen a un PPB de 522 LBiogás/KgSV, para JM se llegó a los 455 LBiogás/KgSV y para el caso del RCM, el cual se mantuvo con una producción mayor que los demás sustratos, se obtuvo un PPB de 680 LBiogás/KgSV. Los PPB obtenidos a los 73 días resultan interesantes en comparación con los obtenidos a los 44 días. Sin embargo, no se realizó un análisis comparativo, ya que en la práctica este valor no es aplicable. Durante el escalado para la producción de biogás, no es práctico esperar tantos días; se espera que la producción ocurra en un período de tiempo más corto. La extensión del ensayo en días se puede observar en la Figura 4, donde el gran salto en la producción ocurrió de manera posterior a los 40 días, mientras que a esa cantidad días para las demás RSI ya no había desplazamientos.

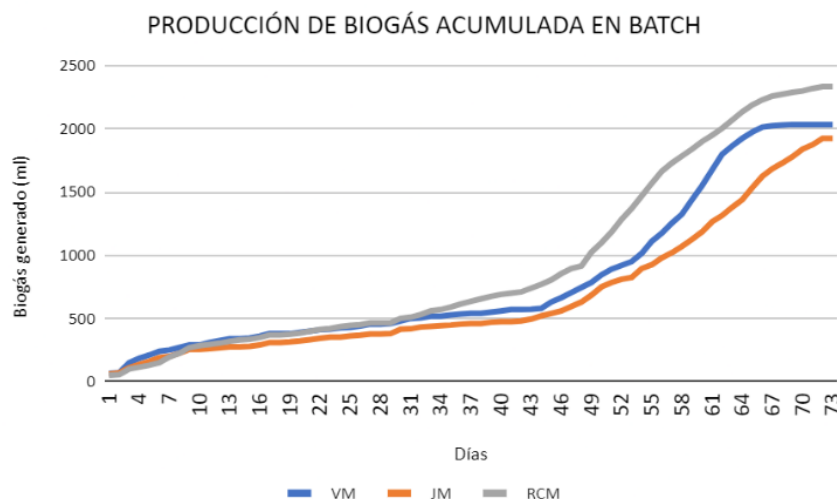


Figura 4. Producción de biogás (ml) acumulado - RSI 0,25 a 73 días

CONCLUSIÓN

Los resultados demostraron que la vinaza fina y el residuo de cribado de maíz son los sustratos con mayor producción de biogás. Las diferencias que se encontraron entre cada una de las relaciones de SV destacan la importancia de su correcta preparación y elección. En este caso se destacó para todos los sustratos la relación de 0,25, mientras que la relación de 1 únicamente en el caso aislado de VM obtuvo una producción mayor. En el presente trabajo, cada sustrato se incorporó a las monodigestiones sin sufrir pretratamientos, es decir que de la misma manera que se tomaron de la industria se utilizaron, con las características y propiedades fisicoquímicas descriptas al comiendo. Esta alimentación en crudo sugiere que los pH iniciales de los sustratos como así también la relación C/N de las mezclas puede influir en el PPB alcanzado para cada uno de los casos. Estos resultados marcan un punto de inicio de esta investigación que continúa evaluando diferentes pretratamientos para los sustratos, como así también para el inóculo. Estos tratamientos para realizar buscarán optimizar los rendimientos alcanzados en este trabajo para lograr mayores producciones de biogás en tiempos más cortos. Una vez realizados los pretratamientos se buscará combinar los sustratos en codigestion para evaluar si existe sinergia entre ellos, con el mismo fin de incrementar rendimientos, al mismo tiempo que se aprovechan los diferentes subproductos.

AGRADECIMIENTOS

A la UNVM y al IMITAB, ya que la realización de la investigación fue posible gracias a la disponibilidad de las instalaciones y equipamientos que poseen. A CONICET por financiar la beca doctoral, motivo por el cual, en un momento crítico para la ciencia argentina, estos estudios aún pudieron realizarse de manera óptima. A todo el grupo de investigación, sin el trabajo en conjunto, en equipo, nada es posible.

REFERENCIAS

Alkan-Ozkaynak, A., & Karthikeyan, K. G. (2011). Anaerobic digestion of thin stillage for energy recovery and water reuse in corn-ethanol plants. *Bioresource Technology*, 102, 9891–9896.

- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., & van Lier, J. B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 59(5), 927–934.
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2020). Bolsa de Comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es> (consultado 10/09/2023)
- Bres, P., Beily, M. E., & Crespo, D. (2022). *Ensayo potencial bioquímico metanogénico*. INTA Ediciones.
- Filer, J., Ding, H. H., & Chang, S. (2019). Biochemical methane potential (BMP) assay method for anaerobic digestion research. *Water*, 11(5), 921.
- Gyenge, L., Ráduly, B., Crognale, S., et al. (2014). Cultivating conditions optimization of the anaerobic digestion of corn ethanol distillery residuals using response surface methodology. *Central European Journal of Chemistry*, 12, 868–876.
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., et al. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74, 2515–2522.
- Koch, K., Hafner, S. D., Weinrich, S., & Astals, S. (2019). Identification of Critical Problems in Biochemical Methane Potential (BMP) Tests From Methane Production Curves. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 1–8.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). (2020). *Observatorio bioeconomía*. Buenos Aires. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/ (consultado 10/09/2023)
- Secretaría de Energía de la República Argentina. (2016). *Balance Energético Nacional 2015, Documento Metodológico*. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia> (consultado 10/09/2023)
- Strömberg, S., Nistor, M., & Liu, J. (2014). Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potential (BMP) tests. *Waste Management*, 34, 1939–1948.
- Tanimu, M. I., Ghazi, T. I. M., Harun, M. R., & Idris, A. (2014). Effect of Feed Loading on Biogas Methane Production in Batch Mesophilic Anaerobic Digesters Treating Food Waste. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 5(1).
- V.D.I. (2006). VDI 4630. *Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests*. ICS 13.030.30; 27.190.

Una alternativa sostenible para la agricultura: *Beauveria brongniartii* cepa BbrNop-p5 frente a *Tenebrio molitor*

Ricardo Juárez-Vázquez^{1*}, Evert Villanueva-Sánchez², Jaime Alfredo Urzúa-Gutiérrez³, Clemente Villanueva-Verduzco⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola, Texcoco, México, ²Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, ³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola, Texcoco, México, ⁴Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Texcoco, México. *Autor para la correspondencia: jvr2910@hotmail.com

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 05/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

En México las plagas representan un enorme desafío, afectando tanto la productividad, calidad y la economía del sector agrícola. Estrategias que integran prácticas culturales, biológicas y químicas son fundamentales para un manejo sostenible de plagas. Además, la investigación continua y la adaptación de nuevas técnicas de control son esenciales para afrontar esta problemática. Por otro lado, el comúnmente llamado gusano de la harina *Tenebrio molitor*, es un insecto modelo de gran importancia en diversos campos de investigación además ofrece un sistema de cría sencillo y controlable para estudios experimentales, lo que lo destacó como candidato para probar la patogenicidad de la cepa nativa BbrNop-p5 de *Beauveria brongniartii* aislada de suelos asociados al cultivo de nopal verdura. Los resultados mostraron que la cepa nativa BbrNop-p5 de *B. brongniartii* al menos a una dosis de 1x10⁷ conidios/mL es capaz de causar más del 80% de mortalidad de larvas de *Tenebrio*. Los resultados de la investigación sugieren que la búsqueda de asilamientos nativos de hongos entomopatógenos son prometedores para ser empleados en el manejo de plagas entomológicas al menos en la misma región de su recolección.

Palabras clave: *Beauveria brongniartii*, *Tenebrio molitor*, hongos entomopatógenos.

ABSTRACT

In Mexico, pests represent an enormous challenge, affecting both the productivity, quality, and economy of the agricultural sector. Strategies that integrate cultural, biological and chemical practices are essential for sustainable pest management. Furthermore, constant research and the adaptation of new control techniques are essential to address this problem. On the other hand, the commonly called mealworm, *Tenebrio molitor*, is a model insect of great importance in various fields of research, it also offers a simple and controllable breeding system for experimental studies, which made it a candidate to test the pathogenicity of the native strain BbrNop-p5 of *Beauveria brongniartii* isolated from soils associated with the cultivation of prickly pear vegetable. The results showed that the native strain BbrNop-p5 of *B. brongniartii* at least at a dose of 1x10⁷ conidia/mL can cause more than 80% mortality of *Tenebrio* larvae. The results of the research suggest that the search for native isolates of entomopathogenic fungi is promising to be used in the management of entomological pests at least in the same region of their collection.

Key words: *Beauveria brongniartii*, *Tenebrio molitor*, entomopathogenic fungi.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la agricultura surge la noción de las plagas y enfermedades agrícolas, misma que inicia una búsqueda constante de soluciones para combatir estos problemas, una preocupación que persiste en la actualidad. En la década de 1930 y 1940, se introducen los primeros insecticidas sintéticos como resultado de investigaciones militares enfocadas en el desarrollo de armas químicas probadas en insectos. Actualmente estos compuestos son empleados en diversas áreas como ganadería, salud pública, industria, hogar y agricultura, siendo la agricultura el área que consume un importante porcentaje de la producción mundial. La formulación de plaguicidas ha evolucionado con el tiempo para ser cada vez más específicos, menos dañinos al ambiente y a los aplicadores, sin

embargo, las especies que consideramos plaga también han evolucionado, en la actualidad tenemos biotipos muy tolerantes y resistentes a la exposición a plaguicidas por el uso indiscriminado de los mismos. Casi a la par de los insecticidas químicos se desarrolla una alternativa al manejo de plagas y enfermedades denominada control biológico, el cual consiste en usar bacterias, hongos, virus y otros microorganismos que atacan insectos para su manejo. El estudio y uso del control biológico, más específico los entomopatógenos, han tomado relevancia en la agricultura en México desde principio de la década de los 90 según Arredondo & Gonzales (2020), pasando de tener 4 especies registradas a cerca de 60 en la actualidad. Este crecimiento en uso de agentes de control biológico a nivel mundial viene de las necesidades del mercado por consumir alimentos producidos sin productos químicos, el uso de entomopatógenos cubre parte de este nuevo sistema de producción de alimentos en donde buscamos la implementación de productos que sean amigables con el ambiente, de bajo riesgo para los aplicadores, a bajos costos y sobre todo disminuir la aplicación de insecticidas químicos.

México tiene una gran dependencia a los granos básicos que posee una balanza comercial negativa, el manejo errado de plagas de granos y la introducción de nuevas plagas al país podrían llevar a pérdidas devastadoras como lo menciona SENASICA (2023), también la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), menciona que las afectaciones de plagas en granos almacenados van más allá de la cuestión económica. La importancia de los granos almacenados, especialmente maíz y frijol va de la mano con siglos de enriquecimiento de diversidad genética que posee el país; actualmente los granos básicos son considerados alimentos indispensables para garantizar la seguridad alimentaria del país.

El control de *Tenebrio* se reduce a 2 opciones, una de ellas el control biológico con el uso de agentes entomopatógenos, y según Agrologica (2024) el control químico previo a la introducción del grano a los almacenes mediante pulverización con metil pirimifos, una vez está el grano en el almacén, se pulveriza mediante atomización o en espolvoreo a base de Piretrinas o para fumigación se utiliza fosfuro de hidrógeno. Traugott (2005), nos habla de los agentes de control fúngico que se presentan como una alternativa prometedora a los plaguicidas sintéticos, los hongos entomopatógenos han demostrado su gran potencia en el control de plagas en condiciones de invernadero. Se cree que *Beauveria brongniartii* (Saccardo) posee un rango de huéspedes estrecho, se ha reportado que su huésped principal es el escarabajo *Melolontha melolontha* L. (Coleoptera: Scarabaeidae).

Estudiar el efecto de la cepa nativa *B. brongniartii* BbrNop-p5 como agente entomopatógeno en larvas de *T. molitor* por medio de un bioensayo en laboratorio es el objetivo principal de este estudio y se cree que la cepa nativa BbrNop-p5 asociada a suelos de cultivo de nopal verdura presenta actividad entomopatógena en larvas de *Tenebrio*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cepa nativa BbrNop-p5 de *Beauveria brongniartii* utilizada en el ensayo fue proporcionada por el cepario a cargo de la Dra. Evert Villanueva Sánchez Investigadora por México SEHICITI adscrita al Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF) en la Universidad Autónoma Chapingo, la cepa en cuestión se encuentra asociada a suelos empleados en el cultivo de nopal verdura en Otumba, Estado de México, México, obtenida por medio de la técnica del insecto trampa. La cepa se encontraba preservada en glicerol al 0.03% en tubos de crio preservación dentro de un ultracongelador del LANISAF a una temperatura de -80 °C. La cepa preservada se activó en cajas Petri estériles de plástico (90 x 15 mm) en medio Agar Dextrosa Sabouraud (ADS) y Quitina (1g/L ADS), las cuales se mantuvieron a condiciones ambientales y se realizó su purificación mediante la técnica de cultivo monospórico.

La determinación de la concentración de esporas de la cepa nativa se realizó a partir de las cajas Petri sembradas con el hongo y mantenidas a condiciones ambientales por 27 días hasta el llenado de la caja, se tomó el contenido de 8 cajas Petri y se preparó una suspensión con el crecimiento del hongo

y Tween 80 al 0.03%, a la cual se denominó suspensión madre. De la suspensión madre obtenida se realizó un conteo de conidios para estimar la concentración con ayuda de una cámara de Neubauer (Lipa & Slynski, 1973).

Se utilizaron larva [EV2.1]s de *T. molitor* de los primeros instares (L2 y L3), que se obtuvieron de la cría establecida en el Laboratorio de Patología de Insectos perteneciente al Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Las larvas (L2 y L3) fueron seleccionadas individualmente de acuerdo con su tamaño, $9\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, y se mantuvieron bajo las mismas condiciones ambientales ($27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, H.R. $65\% \pm 10\%$) hasta el establecimiento del bioensayo. Se depositaron las larvas en un envase tupper de plástico transparente de 500 ml con tapa, estos se llenaban a 1/10 de su capacidad con salvado de trigo y harina de maíz (relación 1:1), todo previamente esterilizado en una autoclave a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 20 psi durante 20 minutos. Además, se colocaron trozos de papa y zanahoria desinfectados con cloro al 0.1% para la alimentación de las larvas.

El experimento se estableció dos veces en el tiempo, se llevó a cabo en placas de cultivo de tejidos de 12 cavidades BIOLOGIX a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cada una de las cavidades de la placa fue cubierta con discos de papel filtro y se agregó 250 μL de agua destilada estéril diariamente sobre el disco de papel para mantener la humedad suficiente para el desarrollo del entomopatógeno. La unidad experimental constó de una placa de cultivo de 12 pozos BIOLOGIX, 1 disco de papel filtro y 1 larva de *Tenebrio molitor* en cada pozo y la concentración de conidios del hongo dependiendo del tratamiento. Se utilizaron 3 concentraciones de conidios suspendidos en tween 80 al 0.03% (1x10⁶, 1x10⁶, 1x10⁶) y 1 testigo de tween 80 al 0.03%, y se realizaron atomizaciones individuales en cada una de las cavidades de las placas de cultivo de 12 pozos BIOLOGIX. Para cada tratamiento se hicieron 3 repeticiones y se midió la mortalidad cada 24 horas a partir del establecimiento del experimento, hasta los 20 días posteriores al mismo. El experimento se realizó empleando un diseño completamente al azar donde todos los tratamientos se realizaron el mismo día. Se empleó un análisis de varianza (ANOVA), en el cual se comparó la mortalidad promedio de los tratamientos. Para comprobar cuál fue el mejor tratamiento se realizó una prueba de comparación de medias para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$). El análisis se realizó mediante el software SAS® Viya® for Learners.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la mortalidad de las larvas de *Tenebrio* expuestas a diferentes concentraciones de *B. brongniartii* mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados, con un valor de significancia de $p=0.0001$, indicador de que los efectos observados no se deben al azar. Dichas diferencias estadísticas se presentaron al comparar los tratamientos T1, T2 y T3 con el tratamiento de control T4. Los tratamientos T1 y T2 mostraron los niveles más altos de mortalidad de larvas resultando en 100% y 100% para T1 y 81% y 89% para T2, respectivamente en ambas repeticiones del experimento. Por otra parte, el tratamiento T3 mostro una eficacia intermedia con 53% y 56%, lo que indicó que el hongo entomopatógeno tuvo efecto sobre la mortalidad, aunque sea tan contundente en comparación al tratamiento T1 y T2. Finalmente, el tratamiento T4, una solución de Tween 80 al 0.03% (sin presencia de conidios) presentó un nulo efecto en la mortalidad de larvas con porcentajes de 3% y 0%, lo que da indicios de que la mortalidad observada en el resto de los tratamientos se debe a *B. brongniartii* y no a otros factores como el ambiente o el manejo.

En el testigo, se presentó una muerte en una de las repeticiones, Damborsky (1999) (Cuadro 2) menciona que de manera natural el número de supervivientes de una población de *Tenebrio* decrece en sus primeros meses de vida, tiempo que corresponde a la fase de huevo y a los primeros estadios larvales, por lo que los decesos situados en el testigo se sugieren podrían ser atribuidos a esa parte de la población que perece en estadios jóvenes. Es importante mencionar que las muertes en el testigo

no presentaron la misma sintomatología que el resto de los tratamientos con diferentes concentraciones de conidios de la cepa nativa de *B. brongniartii*, es decir, las muertes del tratamiento T4 no presentaron rigidez post mortem y esporulación en ningún momento del experimento. La prueba de Tukey mostró 3 grupos de barras estadísticamente diferentes, de las cuales se destacaron el grupo de medias cubiertas por la barra azul, dicha barra incluye a los tratamientos T1 y T2 que no muestran diferencias significativas entre sí a una confiabilidad del 95%. Así mismo los tratamientos T1 y T2 son superiores en comparación a los tratamientos T3 y T4 (véase Figura 1c y 1d).

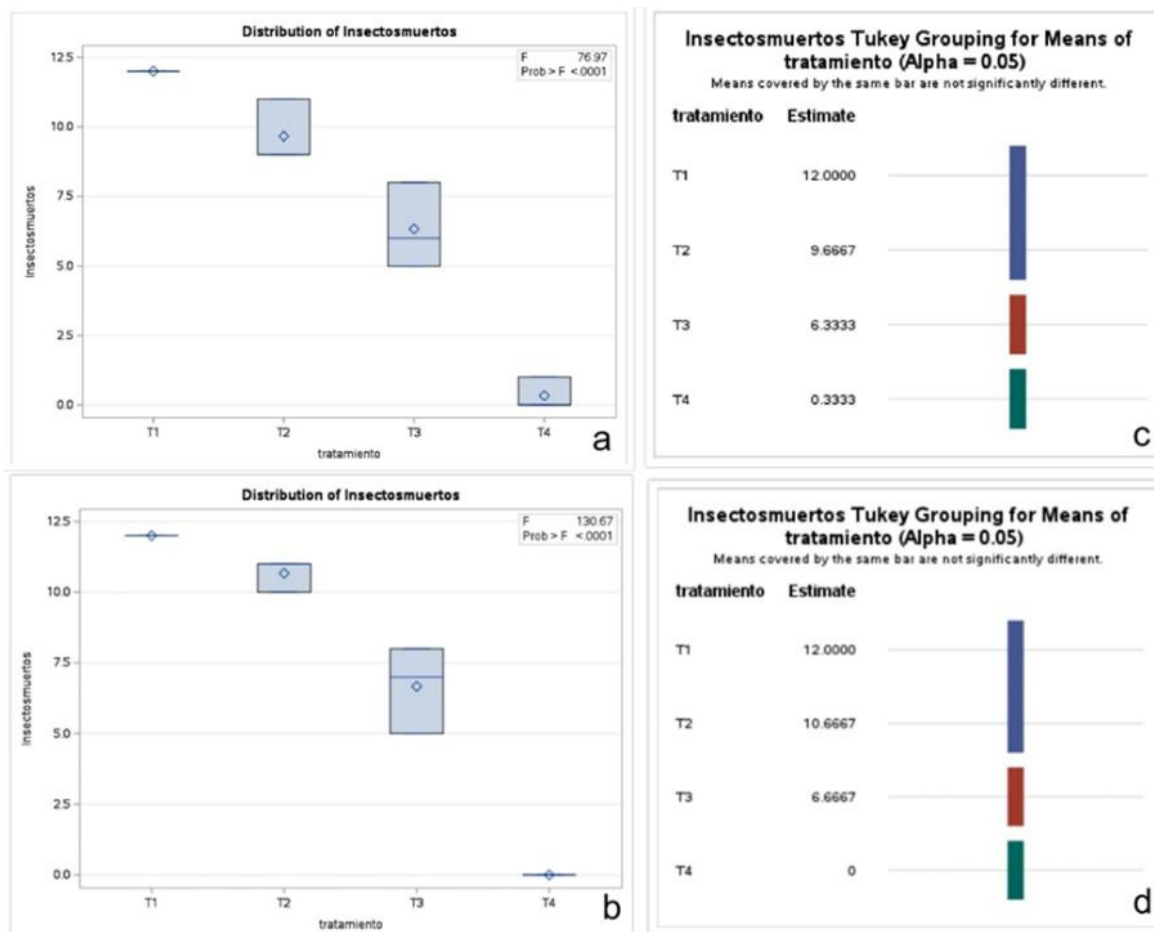


Figura 1. Resultados del análisis ANOVA y Test de TUKEY: a) Distribución de las medias de insectos muertos por tratamiento de la primera repetición verdadera, c) Test de Tukey para las medias de insectos muertos de la primera repetición verdadera, b) Distribución de las medias de insectos muertos segunda repetición verdadera, d) Test de Tukey para las medias de insectos muertos de la segunda repetición verdadera.

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los que reporta FÄTU (2018) en otro coleóptero, quien menciona a *B. brongniartii* como el enemigo natural más importante de *M. melolontha*, reportando mortalidades de 100%, 89% y 68% con 3 cepas nativas a una dosis de 1×10^7 conidios/mL después de 59 días de incubación. Las larvas de *Tenebrio* expuestas a los tratamientos T1 y T2 comenzaron a morir al 4° día de incubación. A los 3 días post mortem las larvas mostraron rigidez corporal y se empezó a observar esporulación en aberturas naturales, 3 semanas post mortem se detectaron algunos casos evidentes de esporulación como en la figura 2 y 3.

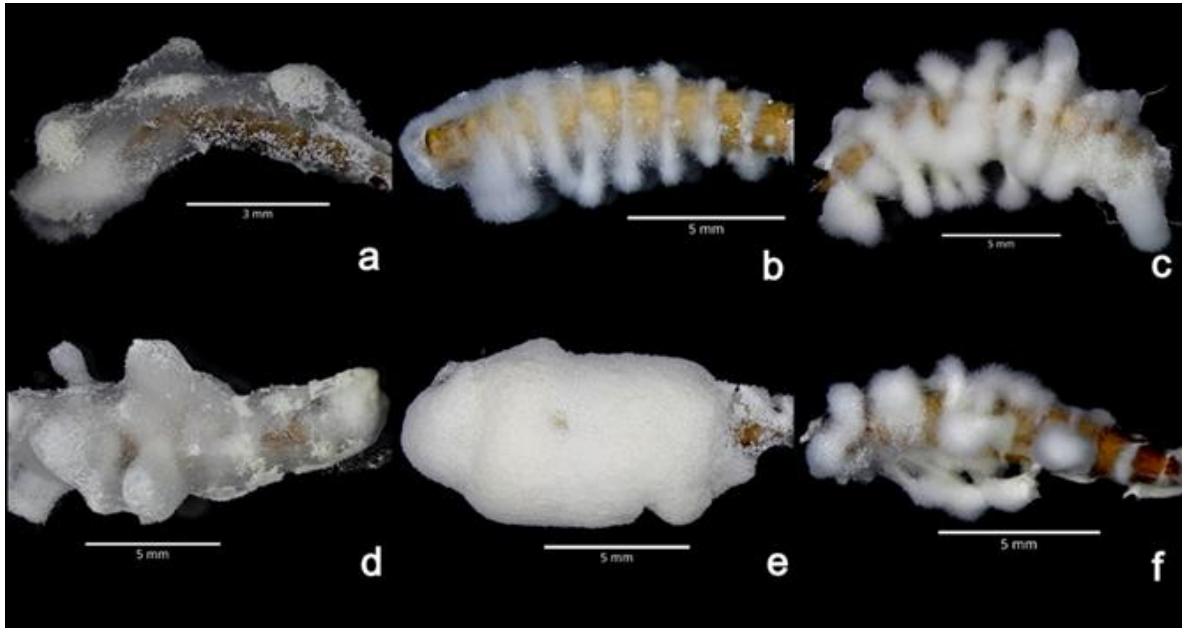


Figura 2. Larvas de *Tenebrio molitor* después de 20 días de la aplicación de los tratamientos en la primera repetición verdadera: a) y d) Larvas de tratamiento T1, b) y e) Larvas de tratamiento T2, c) y f) Larvas de tratamiento T3.



Figura 3. Larvas de *Tenebrio molitor* después de 20 días de la aplicación de los tratamientos en la segunda repetición verdadera: a) Larva de tratamiento T1, b) Larva de tratamiento T3, c) Larva de tratamiento T3.

Es importante mencionar que un control exitoso con entomopatógenos depende de muchas variables entre las cuales destacan según Keller (2000), el tiempo de aplicación, tratamientos aplicados con maquinaria o equipo mal calibrado, suelos demasiado secos, campos con mucha pendiente o empedrados. Kessler (2003) menciona la importancia del estudio de la influencia de los factores bióticos y abióticos, en general los tratamientos con *B. brongniartii* son exitosos, pero en ocasiones fracasan por la aplicación tardía durante el otoño, la aplicación en suelos arenosos o después de una manipulación inadecuada de la maquinaria. Los factores edáficos y climáticos también están implicados en el éxito o fracaso de los tratamientos, los patrones de crecimiento están determinados por las características del suelo, como los cambios de temperatura y humedad del suelo, la textura del suelo, su pH, la disponibilidad de nutrientes y las interacciones con el resto de los organismos en el suelo.

Tafoya et al. (2004) realizaron un análisis de tres cepas de *Beauveria bassiana* contra adultos del picudo del nopal (*Metamasius spinolae*) en condiciones de laboratorio, los resultados indican el posible uso de *B. bassiana* como agente de control biológico contra esta plaga insectil, siendo las hembras las que presentaron mayor susceptibilidad al hongo en comparación a los machos, la cepa Bb88 causó significativamente una mayor mortalidad (82%) en hembras. La cepa BbrNop-p5 mostró resultados muy prometedores y similares (80% de mortalidad a una concentración de 1×10^7 conidios mL⁻¹) en larvas de *Tenebrio*, por lo que replicar el experimento en *M. spinolae* podría exhibir una herramienta para el manejo de este picudo. Las investigaciones asociadas a la interacción entre *B. brongniartii* y *T. molitor* bajo condiciones de laboratorio y en México, la mayoría de la información disponible proviene de investigaciones antiguas o realizadas en otros países, por lo que seguir esta línea de investigación resultaría en el aporte de información relevante.

CONCLUSIÓN

Los resultados de la investigación sugieren que la búsqueda de aislamientos nativos de hongos entomopatógenos son prometedores para ser empleados como herramientas viables y eficaces en el manejo de plagas entomológicas al menos en la misma región de donde fueron aislados. El ensayo demostró que la cepa nativa BbrNop-p5 de *B. brongniartii* aplicada a una concentración mínima de 1×10^7 es capaz de causar más de 80% de mortalidad en larvas del modelo *T. molitor*, este nivel de mortalidad posiciona a la cepa como un candidato prometedor para su desarrollo en programas de manejo integrado de plagas. Los hongos entomopatógenos han demostrado ser excelentes en el control de insectos, sin embargo, es fundamental realizar estudios adicionales que evalúen su especificidad y seguridad ecológica para evitar efectos adversos contra insectos benéficos, como enemigos naturales de plagas. Para investigaciones futuras, se sugiere evaluar la efectividad de esta cepa sobre *M. melolonta*, *M. spinolae* u otro tipo de insectos plaga presentes en el cultivo de nopal verdura, ya que los resultados con larvas del insecto modelo *Tenebrio* fueron positivos, se espera que esta cepa mantenga un buen desempeño frente a otros insectos de interés económico en México.

AGRADECIMIENTOS

A Dra. Evert Villanueva Sánchez Investigadora por México SECIHTI adscrita al LANISAF-UACH por sus aportaciones en la elaboración del presente proyecto.

REFERENCIAS

- Agrológica. (2024). *Tenebrio molitor*. <https://www.agrolologica.es/informacion-plaga/gusano-harina-escarabajo-molinero-tenebrio-molitor/#:~:text=Qu%C3%ADmico,se%20utiliza%20fosfuro%20de%20hidr%C3%B3geno>
- Arredondo, H. C., & Gonzales, J. (2020). El comercio del control biológico en México. En *Fundamento y práctica del Control Biológico de plagas y enfermedades* (1.a ed., Vol. 1, pp. 599–629). H. C. Arredondo, F. Tamayo y L. A. Rodríguez (Eds.). ISBN 978-607-715-398-6.

- Damborsky, Miryam, Tatiana-Bar, P.-Sandrigo-Ybran, & Oscherov, Elena. (1999). *Ciclo de Vida de Tenebrio molitor (Coleoptera, Tenebrionidae) en Condiciones Experimentales*. UNNE, 6.
- FĂTU, A. C., Dinu, M. M., & Andrei, A. M. (2018). Susceptibility of some melolonthine scarab species to entomopathogenic fungus *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.). *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, 22.
- Keller, S. (2000). Use of *Beauveria brongniartii* in Switzerland and its acceptance by farmers. *Use of Beauveria brongniartii in Switzerland and its acceptance by farmers*, 23(8), 67–71.
- Keller, S., Kessler, P., & Schweizer, C. (2003). Distribución de hongos patógenos del suelo en Suiza con especial referencia a *Beauveria brongniartii* y *Metarhizium anisopliae*. *BioControl*, 48, 307–319.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019, 18 enero). *Granos básicos: alimentación, agricultura y comercio*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/granos-basicos-alimentacion-agricultura-y-comercio>
- SENASICA. (2023). *Proyección del impacto económico sobre granos básicos ante el riesgo de introducción de gorgojo khapra (Trogoderma granarium) como una amenaza a la seguridad alimentaria*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2023/julio/Impactoecon%C3%B3micosobregranosb%C3%A1sicosylaseguridadalimentariadeintroducirseorgojokhapraenM%C3%A9xico_a362c572-4f11-4109-b625-1c98d2836694.pdf
- Tafoya, F., Zuñiga-Delgadillo, M., Alatorre, R., Cibrian-Tovar, J., & Stanley, D. (2004). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) against the cactus weevil, *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *Florida Entomologist*, 533–536.
- Traugott, M., Weissteiner, S., & Strasser, H. (2005). Efectos del hongo entomopatógeno *Beauveria brongniartii* sobre el depredador no objetivo *Poecilus versicolor* (Coleoptera: Carabidae). *Control Biológico*, 33(1), 107–112.

Hongos fitopatógenos asociados a adultos de *Bradysia* sp. en cultivo de fresa en Maravatío, Michoacán, México

Karla Aimé Tinoco-Calderón¹, Dulce Rosario Carlos-Santos¹, Alfonso Luna-Cruz^{2,*}

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas. Morelia, Michoacán, México.

²Investigador por México. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Investigador por México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, México. *Autor para la correspondencia: alfonso.luna@umich.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 05/12/25; Publicado en línea: 31/12/25

RESUMEN

Las moscas del mantillo (*Bradysia* sp.) son insectos comunes en suelos agrícolas ricos en materia orgánica, y aunque los adultos no dañan directamente a las plantas, pueden desempeñar un papel importante en la diseminación de enfermedades. En este trabajo se estudió la presencia de hongos fitopatógenos asociados a adultos de *Bradysia* sp. colectados en cultivos de fresa en el municipio de Maravatío, Michoacán. A partir de muestras de suelo donde se detectó la presencia de larvas, se obtuvo la fase adulta del insecto y se realizaron aislamientos microbiológicos en diferentes medios de cultivo para favorecer el crecimiento de hongos. Los resultados mostraron la presencia de hongos pertenecientes a los géneros *Cladosporium* y *Fusarium*, los cuales son conocidos por su importancia agrícola y su capacidad para causar enfermedades en plantas. Estos hallazgos refuerzan la idea de que *Bradysia* sp. puede actuar como un vector de hongos fitopatógenos, representando un riesgo indirecto para los cultivos. El estudio destaca la importancia de considerar el manejo de estos insectos no solo por el daño que causan sus larvas, sino también por su papel en la dispersión de patógenos en sistemas agrícolas.

Palabras clave: *Bradysia* sp., hongos fitopatógenos, mosca del mantillo, fresa.

ABSTRACT

Fungus gnat (*Bradysia* sp.) are common insects in agricultural soils rich in organic matter. Although adult insects do not directly cause damage to plants, they can play a crucial role in the spread of plant diseases. In this study, the presence of plant-pathogenic fungi associated with adult *Bradysia* sp. collected from strawberry crops in the municipality of Maravatío, Michoacán, was investigated. Adult insects were obtained from soil samples in which larvae were detected, and microbiological isolations were performed using various culture media to promote fungal growth. The results revealed the presence of fungi belonging to the genera *Cladosporium* and *Fusarium*, which are well known for their agricultural relevance and their ability to cause plant diseases. These findings support the idea that *Bradysia* sp. can act as a vector of plant-pathogenic fungi, representing an indirect risk to crops. This study highlights the importance of managing these insects not only because of the damage caused by their larvae but also due to their role in the dispersal of pathogens in agricultural systems.

Key words: *Bradysia* sp., plant-pathogenic fungi, fungus gnat, strawberry.

INTRODUCCIÓN

Se ha reportado que las larvas de *Bradysia* sp. se alimentan de materia orgánica en descomposición, pero bajo ciertas condiciones pueden alimentarse de materia vegetal disponible en el suelo (Cibrián et al., 2008), específicamente, causan daños a las raíces de las plantas provocando clorosis, falta de turgencia y en casos graves la muerte (Braun et al., 2009). El adulto no posee mandíbulas masticadoras como la larva, es un insecto chupador y se posa en las plantas para obtener el néctar disponible, a pesar de no tener un efecto negativo per se, el problema ocurre cuando en su trayectoria diseminan esporas de hongos que son un problema para las plantas. Por lo que en este estudio se buscó conocer las asociaciones entre los adultos de *Bradysia* sp. como vectores y los hongos

fitopatógenos nativos asociados. Es una mosca de 1 a 6 mm de largo (Mohrig & Menzel, 2009), color negro o pardo, con alas grises translúcidas; su nombre común es mosca del mantillo, mosquito fungoso o fungus gnat (Figura 1). Es holometábolo y su ciclo de vida oscila entre 25 y 30 días (Wilkinson & Daugherty, 1970). Las larvas son vermiformes, translúcidas con una cápsula cefálica de color negro, se alimentan de materia orgánica en descomposición y son herbívoras oportunistas (Marín-Cruz et al., 2015).



Figura 1. Imagen ilustrativa donde se observa a dos moscas del mantillo; una hembra del lado izquierdo y un macho del lado derecho. Fuente: Proporcionada por Cristina Avelino-Ramírez.

Los adultos de *Bradysia* sp. son insectos chupadores, no representan amenaza directa a las plantas, sin embargo, sí son una amenaza indirecta ya que son responsables de dispersar esporas de hongos fitopatógenos (Marín-Cruz et al., 2015), siendo los géneros reportados *Pythium*, *Verticillium*, *Fusarium* y *Botrytis* (James et al., 1995). Estos hongos son capaces de enfermar a las plantas; la enfermedad se considera una alteración negativa a la planta, una parte o a un producto de ella (Agrios, 2005). En el caso de *Pythium*, *Fusarium* y *Botrytis* son necrótrofos; estos producen y segregan toxinas capaces de provocar la muerte de las células de la planta hospedera y se alimentan de los nutrientes que estas contienen (Ormeño, 2024). En cambio, *Verticillium* es un hongo que es atraído por los exudados de la raíz, entra a través de la corteza y a medida que coloniza también obstruye el xilema causando marchitez generalizado (Hiemstra, 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron muestras de suelo de la rizosfera de fresa var. Valiant (Figura 2) de dos predios distintos con presencia de *Bradysia* sp. en la localidad de Tungareo, Maravatío, Michoacán. Las muestras de suelo se homogenizaron y de cada una se colocaron 250 g en frascos de plástico desechables de un litro de capacidad; la tapa de cada frasco se perforó con una circunferencia de tres centímetros de

diámetro y cerró con un tapón de gasa y algodón para evitar que las moscas escaparan. Se humedeció cuando se requería con 10 mL de agua destilada. Tras un periodo de incubación de 15 días, los adultos emergidos se colectaron con ayuda de un aspirador bucal entomológico y se transfirieron a frascos con sustrato estéril compuesto por peat moss, agrolita y vermiculita. Los insectos se mantuvieron bajo estas condiciones y se alimentaron con tiras de papa cruda previamente desinfectadas, con el objetivo de reducir riesgos de contaminación.



Figura 2. Fotografías ilustrativas de la variedad de fresa Valiant.

Se capturaron adultos de *Bradysia* sp. y se colocó una mosca inmóvil por cada tubo Eppendorf con 1.0 mL de agua destilada estéril, se homogenizó en vórtex por 30 segundos, este procedimiento se realizó por triplicado y se repitió en dos ocasiones en los medios de cultivo por lo que se fue agregando con una micropipeta en 0.2 mL por cada uno con ayuda de un asa triangular expandiendo la solución, en total se realizaron 15 placas, nueve de las muestras de laboratorio (interno) y seis de las moscas obtenidas fuera del laboratorio. Los medios utilizados fueron: agar nutritivo, agar papa dextrosa (PDA) y agar Sabouraud. Para la purificación de hongos, primero se dejó crecer el aislado en agar nutritivo hasta observar el crecimiento de hifas, se sustrajo un bocado con un sacabocados estéril y se colocó en el centro de una caja de Petri con los diferentes medios mencionados anteriormente, se repitió el procedimiento hasta observar el crecimiento fúngico libre de contaminación bacteriana. Se observó el crecimiento de las hifas en el microscopio, con ayuda de una aguja estéril, se tomó la hifa que se encontró más alejada al bocado, se transfirió a una caja de Petri PDA, se incubó durante 48 h. Esto dependió de cada hongo y su capacidad de crecimiento. Al final se realizó tinción con el colorante azul lactofenol, para su observación microscópica e identificación taxonómica

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las colectas de suelo de fresa del municipio de Maravatío Michoacán, resultaron ser positivas para la presencia de larvas de *Bradysia* sp., las cuales se incubaron hasta la fase adulta, se capturaron y se realizó el procedimiento descrito para realizar la inoculación en placas de agar nutritivo, Sabouraud

y PDA (Figura 3) resultando diversas colonias de bacterias y hongos, cabe mencionar que se realizó el mismo procedimiento de moscas de *Bradysia* sp. del pie de cría del laboratorio de Manejo de Plagas del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

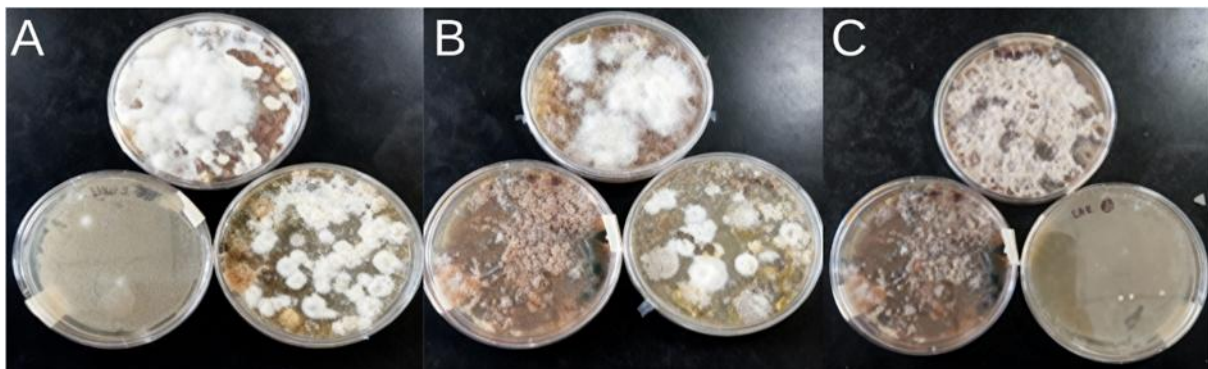


Figura 3. Desarrollo de colonias bacterianas y fúngicas provenientes de muestras de *Bradysia* sp.

A) Var. Valiant muestra 3; B) Var. Valiant muestra 4; C) Cría de laboratorio.

Se realizó la resiembra de colonias aisladas, las cuales se purificaron a través de varios pases en medio PDAY se identificaron tres especies de hongos correspondientes a *Cladosporium* sp. (Figura 3A), *Fusarium* sp. (Figura 3B) y *Fusarium* sp. (Figura 3C). Por sus características macroscópicas y microscópicas. Los cuales provenían de las muestras Valiant 3, Valiant 4 y cría de laboratorio, respectivamente.

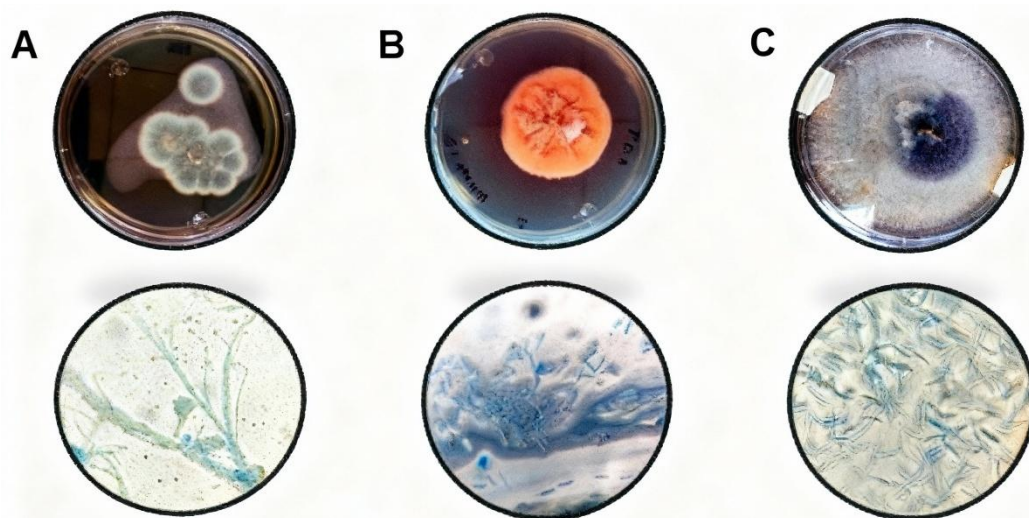


Figura 4. Identificación de aislados de acuerdo con su morfología macroscópica y microscópica. A) *Cladosporium* sp. (Valiant muestra 3). Donde se observaron colonias aterciopeladas, pulverulentas, color verde azulado. Hifas septadas, finas y hialinas, conidios unicelulares, cilíndricos. B) *Fusarium* sp. (Valiant muestra 4) La colonia presenta coloración naranja rojizo, textura aterciopelada y macroconidios en forma de media luna. C) *Fusarium* sp. (Cría de laboratorio) Colonia algodonosa y lanosa con coloración púrpura en el centro, micelio blanco e hifas hialinas y finas, macroconidios en forma de media luna.

Los resultados de este estudio demuestran la capacidad del adulto de la mosca del mantillo para propagar esporas infectivas en plantas sanas. La incidencia de *Fusarium* sp. en la variedad Valiant y la cría de laboratorio confirma los resultados obtenidos por El-Hamalawi y Stangellini (2005), donde su estudio demuestra que las moscas del suelo son atraídas por *Fusarium avenaceum* y son capaces de diseminar los conidios, de igual manera, confirma los hallazgos realizados por Gillespie & Menzies (1993) donde la mosca parece contribuir a la diseminación de *Fusarium oxysporum*. Así mismo, este estudio coincide con los hallazgos obtenidos por Park y col. (2018) quienes analizaron la carga fúngica de *Bradysia agrestis* y encontraron a *Cladosporium* teniendo un 13% de abundancia siendo este de los más abundantes en la carga del insecto.

CONCLUSIÓN

Este estudio muestra que, aunque las moscas del mantillo (*Bradysia* sp.) no dañan directamente a las plantas en su etapa adulta, sí pueden representar un problema al transportar hongos capaces de provocar enfermedades en los cultivos. La presencia de géneros como *Cladosporium* y *Fusarium* en los adultos analizados pone en evidencia que estos insectos pueden contribuir a la dispersión de patógenos en los sistemas agrícolas. Por ello, resulta importante prestar atención a su manejo, no solo para reducir el daño causado por las larvas en el suelo, sino también para disminuir el riesgo de propagación de enfermedades. Comprender este tipo de interacciones ayuda a mejorar las estrategias de protección de los cultivos y a promover una agricultura más sana y sostenible. Se espera en futuros estudios profundizar en el área molecular para poder determinar la especie de los hongos mencionados.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI) del estado de Michoacán, por el financiamiento a través del proyecto PICIR22-042-C.

REFERENCIAS

- Agrios, G. N. (2005). Plant Pathology. Elsevier Academic Press.
- Braun, S.E., Sanderson, J.P. Nelson, E.B., Daughtrey M.L. y Wraight. S.P. (2009). Fungus gnat feeding and mechanical wounding inhibit *Pythium aphanidermatum* infection of geranium seedlings. *Phytopathology* 99(12):1421-1428.
- Cibrián-Tovar, D., D.S. García y M.B. Don Juan. (2008). Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en ger-moplasma y planta producida en viveros. Comisión Nacional Forestal.
- Gillespie D.R., Menzies J.G. (1993). Fungus gnats vector *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici*. *Ann. Appl. Biol.* 123:539-544.
- El-Hamalawi Z.A., Stangellini M.E. (2005) Disease development on lisianthus following aerial transmission of *Fusarium avenaceum* by adult shore flies, fungus gnats, and moth flies. *Plant Dis.* 89:619-623.
- Hiemstra, J.A. (1995) *Verticillium Wilt of Fraxinus excelsior*. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- James, R.L., Dumroese, R.K., y Wenny, D.L. (1995). *Botrytis cinerea* carried by adult fungus gnats (Diptera: Sciaridae) in container nurseries. *Tree Planters Notes* 46:48-53.
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., Cadena-Meneses, J.A., Huerta, H., Rodríguez-Yam, G. y Cruz-Rodríguez, J.A. (2015). Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Madera y Bosques*. 21(1):113-128.
- Mohrig, W. y Menzel, F. (2009). Sciaridae (Black fungus gnats). In: B.V. Brown, A. Borkent, J. M. Cumming, D. M. Wood, N. E. Woodley y M. A. Zumbado, eds. *Manual of Central American Diptera Vol 1. Monograph Publishing Program*. Canada: National Research Council of Canada. p:279-292.
- Ormeño-Villajos, S. (2024). Introducción a los hongos fitopatógenos. Ormeño.
- Park, J.M., You, Y.H., Back, C.G., Kim, H.H., Ghim, S.Y. y Park, J.H. (2018). Fungal load in *Bradysia agrestis*, a phytopathogen-transmitting insect vector. *Symbiosis*. 74, 145-158.

Wilkinson, J.D. y Daugherty, D.M. (1970). The biology and immature stages of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciariidae). *Annals of the Entomological Society of America* 63(3):656-660.

ISSN
2954 - 4092