

Revista
Ciencias Agronómicas
Aplicadas y Biotecnología
ISSN 2954-4092

Año 4, Vol. 4

Editores

Carlos Granados-Echegoyen
Baldomero H. Zárate-Nicolás

2024





2024
Ciencias Agronómicas
Aplicadas y Biotecnología
Año 4, Vol. 4

“Sembrando conocimiento, cosechando desarrollo”

Editores
Carlos Granados-Echegoyen
Baldomero H. Zárate-Nicolás



Cuerpo Editorial

Editores

Carlos Granados-Echegoyen

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

Baldomero H. Zárate-Nicolás

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

Comité Editorial

Yolanda Donají Ortiz-Hernández. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR), Oaxaca, México. yortiz@ipn.mx

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

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

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

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

Fulgencio Alatorre-Cobos. CONAHCYT-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

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

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

Ana Guadalupe Ramírez-May. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, México. ramirez.ana@colpos.mx

Ricarda Ventura-Valenzuela. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, México. ventura.ricarda@colpos.mx

María Del Carmen Rivera-Cruz. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, México. mariari@colpos.mx

Nancy Alonso-Hernández. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR), Oaxaca, México. alonsoh_nancy@hotmail.com

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

Lisbeth 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

Evelyn Artavia-Salazar. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. evelyn.artavia@ucr.ac.cr

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

Magdalena González-Alejandro. 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. cmolina@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 • +52 (55) 107 5629
infosomucaab@gmail.com • <https://somucaabac.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: Sergio Fabricio Cahuich Castillo / scahuichc2200@alumno.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 junio 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

CONTENIDO

1	Efecto de nanopartículas de selenio en el metabolismo secundario de <i>Calendula officinalis</i> y <i>Catharanthus roseus</i>	14
	Daniela Alejandra Pérez-Fregoso, Elba Montserrat Alcázar-Valle, Ilenia Janeth Corzo-Jiménez, Soledad García-Morales*	
2	Conocimiento y uso tradicional del Cuajilote (<i>Parmentiera aculeata</i> Kunth) en la Villa de Zaachila, Oaxaca, México	22
	Omar San-Germán-Jiménez*, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Baldomero Hortencio Zárate-Nicolás	
3	Palmicultores del estado de Campeche: productividad y perfil socioeconómico	29
	Ricardo Isaac Márquez*, María Esther Ayala Arcipreste, Ileana Mercedes Canepa Pérez	
4	Rendimiento, biomasa y distribución de cultivos de girasol	34
	José Alberto Salvador Escalante-Estrada*, Ma. Teresa Rodríguez-González, Yolanda Isabel Escalante-Estrada, Cid Aguilar-Carpio	
5	Análisis nutrimental de tallarines elaborados con harina de plátano macho y banano mezcladas con chaya	39
	Miriam Sánchez-de Dios*, Juan Carlos Aguilar-Arpaiz, José Alfredo Jiménez-Juárez, Carolina Vázquez-Hernández, Josafat Alberto Hernández-Becerra, Gerónimo Arámbula-Villa	
6	<i>Acanthoscelides obtectus</i> (Say) Coleoptera: Chrysomelidae: Un problema mundial	45
	Susana Martínez-Martínez*, Maribel Rivero-Borja, Aracely Urrieta-Martínez	
7	Viabilidad de conidios de <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metschnikoff) Sorokin después de secado por aspersión como método de preservación	53
	Lucía Araceli Manzanarez-Jiménez*, Cipriano García-Gutiérrez, Cesar Marcial Escobedo-Bonilla, Antonio Luna-González, Ninfa Rosas-García, Mayahauel Ortega-Avilés	
8	Retos y oportunidades de la economía creativa a partir de la caracterización: Caso de una sociedad cooperativa de artesanías textiles en Oaxaca, México	58
	Giselle Carolina Lescas-Montes, Juana Yolanda López-Cruz*, Gema Lugo-Espinosa, Juan Regino-Maldonado	
9	Capacidad antioxidante de geopropóleos de <i>Melipona beecheii</i> de Yucatán	66
	Roger Enrique Silveira-Chin, Francisco Ortiz-Salazar, Esaú Ruiz-Sánchez, Guadalupe López-Puc, Ángeles Sánchez-Contreras*	
10	Bacterias aisladas de larvas de <i>Plutella xylostella</i> (palomilla dorso de diamante) con potencial bioinsecticida	78
	Susana Martínez-Martínez*, Raquel Alatorre-Rosas	
11	La luz incidente y el déficit hídrico afectan el rendimiento y concentración de metabolitos secundarios de <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i>	85
	Luz del Carmen Lagunes-Espinoza*, Dario de la Cruz-Ricardez	
12	Efecto de malatión, spinosad y spinetoram sobre la mortalidad de <i>Trichopria drosophilae</i> (Hymenoptera: Diapriidae), principal parasitoide de <i>Drosophila suzukii</i> (Diptera: Drosophilidae)	91
	José Manuel Gutiérrez-Campos, Ricardo Torres-Cabrera, Jaime González-Cabrera*, Jorge Antonio Sánchez-González, Yadira Contreras-Bermudez	
13	Bioprospección de <i>Pleurotus djamor</i> con actividad antihelmíntica sobre huevos de <i>Haemonchus contortus</i>: inconvenientes de las fracciones no polares	98
	Ana Graciela Cauich-Olan, Karen Aremy Zapata-Escalante, Jesús Antonio Pineda-Alegría, Carlos Alfredo Sandoval-Castro, Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta, Liliana Aguilar-Marcelino, José Sánchez-Vázquez, María Gabriela Mancilla-Montelongo*	

14	Determinación colorimétrica de alimentos en diferentes dispositivos como prueba de viabilidad y precisión	104
	Jorge Miguel Martínez-González, Lorenzo Jarquín-Enríquez, Hugo Jiménez-Islas, Iván Zavala del Ángel, Norma Leticia Flores-Martínez*	
15	Crianza de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en la región Nororiental del Estado de Puebla, México	113
	Julietta del Carmen Villalobos-Espinosa*, Jesus Daniel Chino-Rojas, Violeta Colón-Vega, Mayra Nicolás-García, Eréndira Ávila-Sánchez, Luis Omar Colombo-Mendoza	
16	Uso de <i>Glomus intraradices</i> para el crecimiento de frijol Azufrado Higuera en etapa vegetativa en riego y sequía	121
	Celia Selene Romero-Félix*, Cesar Alejandro Sánchez-Inzunza, Jesús del Rosario Ruelas-Islas, Blanca Elvira López-Valenzuela, Salomón Buelna-Tarin, Víctor Gabriel Almada-Ruiz	
17	Las harinas de insectos, como alternativa en la inclusión de dietas para el cultivo de tilapia	126
	Tamara Aquino-Aguilar, Yolanda Donají Ortiz-Hernández*, Teodulfo Aquino-Bolaños, María Elena Tavera-Cortés	
18	Estrategia de ahorro mediante huertos familiares en comunidades rurales de la Chinantla, Oaxaca, México	133
	Marco Aurelio Acevedo-Ortiz*, Gema Lugo-Espinosa, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Fernando Elí Ortiz-Hernández	
19	Competencia de <i>Trichoderma asperelloides</i> vs hongos fitopatógenos foliares en diferentes sustratos orgánicos	139
	Ángel R. Ceballos-Chávez, Blanca E. López-Valenzuela*, Glenda J. Lizárraga-Sánchez, Everardo López-Bautista, Fernando Alberto Valenzuela- Escoboza, Quintin A. Ayala Armenta, Javier A. Garza-Hernández y Alejandro Márquez Lujan	
20	Estudio de caracterización morfológica de especies de calabaza en la Sierra Mixe, Oaxaca, México	145
	Hazael Obed Ramírez-Maces*, Sara González-Bautista, José Abimael Campos-Ruiz, Flavio Aragón-Cuevas, Carlos Granados-Echegoyen	
21	Tasa de absorción nutrimental y distribución en frijol común variedad Reyna	153
	Jesús del Rosario Ruelas-Islas*, Cándido Mendoza-Pérez Hernán Celaya-Michel, Celia S. Romero-Félix, Blanca E. López-Valenzuela	
22	Patogenicidad de aislamientos identificados en el complejo de especies de <i>Fusarium oxysporum</i> a <i>Capsicum</i> sp.	161
	Carmen Medina-Mendoza*, Ernestina Valadez-Moctezuma	
23	Impacto en el contenido de lípidos en microalgas marinas (<i>Nannochloropsis</i> sp.) cultivadas en agua residual acuícola sometidas a estrés osmótico	168
	Regina M. González-Balderas, Ruby Valdez-Ojeda*, Febe Estefany Be-Pech, Carlos Rosas-Vázquez, Cristina Carrillo-Yam, Iveth Gabriela Palomino Albarrán	
24	El cultivo de café y buenas prácticas agrícolas en la Sierra Norte de Oaxaca, México	177
	Mayra Atalí Terán-Ramírez, Juana Yolanda López-Cruz*, Gema Lugo-Espinosa	
25	El control biológico del chapulín en cultivos básicos, una breve revisión	185
	Keyla Cruz-García, Yolanda Donají Ortiz-Hernández*, Teodulfo Aquino-Bolaños	
26	Microencapsulación de extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i> con probióticos y su actividad funcional	192
	José Mercado-Monroy*, Reyna Nallely Falfán-Cortés*, Javier Castro Rosas*	
27	Efecto <i>in vitro</i> de nanopartículas de selenio (SeNPs) en el crecimiento de hortalizas	202
	Leví Alberto González-López*, Soledad García-Morales, Joaquín A. Qui-Zapata	
28	Sistemas agroforestales del Programa Sembrando Vida en el Municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca	216
	Cynthia Cruz Carrasco*, Juana Yolanda López Cruz	

29	Observación de los principales polinizadores de <i>Zinnia elegans</i> Jacobi 1793 (Asteraceae, Heliantheae), a nivel de campo	223
	Álvaro Zuriel Bailón-Ortiz*, Yolanda Donají Ortiz-Hernández	
30	Efecto antifúngico <i>in vitro</i> de microbiota bacteriana de vegetales sobre <i>Fusarium</i> spp. como alternativa para reducir el uso de fungicidas químicos	230
	Etna Mendoza-Buenrostro, Esmeralda Rangel-Vargas, Carlos Alberto Gómez- Aldapa, Rene Velazquez-Jimenez, Javier Castro-Rosas*	
31	Utilización de residuos agroindustriales oleosos para la producción de hongos entomopatógenos: <i>Metarhizium robertsii</i>	238
	Karla Angelica Hernández-Apichoto, Isaac Aramis Romero-Pérez, Lizbeth G. Rojas-Gutiérrez, Alejandro Ángel-Cuapio*	
32	Inclusión de garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>) en snaks extruidós de maíz	244
	Antonio Luis García-Cordero*, Eva María Santos, Mirandeli Bautista, José Antonio Rodríguez, Fernando Díaz-Sánchez	
33	Las mujeres en la producción del mezcal artesanal y en la conservación de agaves silvestres en el huerto familiar	249
	Gema Lugo Espinosa*, Teodulfo Aquino-Bolaños, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz	
34	Suplementación foliar de nosodes sobre las características agronómicas, físicas, fitoquímicas y fitopatológicas de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.: un estudio pre y post-cosecha	258
	Beatriz Quiroz-González*, Luicita Lagunez-Rivera, Sabino Honorio Martínez-Tomás, Carlos Granados-Echegoyen, Rafael Pérez-Pacheco, Israel Dionicio-y de Jesús	
35	Efecto de <i>Glomus intraradices</i> como agente simbiótico bioestimulante en el cultivo del tomate en variedades criollo y pony F2	268
	Indira Carolina Mejía Cruz*, Angie Rachell Zambrana Gutiérrez	
36	Impacto de la fertilización biológica en el rendimiento del maíz nativo Vandeño	281
	Cid Aguilar-Carpio* Yessica Flor Cervantes-Adame, José Alberto Salvador Escalante-Estrada, Adriana Pérez-Ramírez	
37	Elongación de raíz y producción de biomasa de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en estrés hídrico, Campeche, México	287
	Antonio Villalobos-González, Mónica Beatriz López-Hernández*, Yaritza Yolanda Quintal-Vargas, Enrique Arcocha-Gómez, Nancy Alonso-Hernández, Carlos Alejandro Granados Echegoyen	
38	Condición edáfica y conservación de árboles longevos: el caso del Árbol del Tule (<i>Taxodium mucronatum</i>) en Oaxaca, México	292
	Beatriz Quiroz-González, Israel Dionicio-y de Jesús, Carlos Granados-Echegoyen, Alfonso Vásquez-López, Sabino Honorio Martínez-Tomás, Baldomero, Zarate-Nicolás*	
39	Hongos asociados al Árbol del Tule (<i>Taxodium mucronatum</i>), árbol emblemático y patrimonio cultural de la humanidad	302
	Alfonso Vásquez-López*, Beatriz Quiroz-González, Carlos Granados-Echegoyen	

Efecto de nanopartículas de selenio en el metabolismo secundario de *Calendula officinalis* y *Catharanthus roseus*

Daniela Alejandra Pérez-Fregoso¹, Elba Montserrat Alcázar-Valle², Ilenia Janeth Corzo-Jiménez², Soledad García-Morales^{3,*}

Resumen. Las nanopartículas de selenio (SeNPs) representan una alternativa prometedora para estimular la síntesis y acumulación de agentes bioactivos en plantas de interés ornamental y medicinal. El objetivo del estudio fue determinar el impacto de diferentes concentraciones (0, 10, 20, 50 y 100 μM) de SeNPs en la producción de metabolitos secundarios en flores de *Calendula officinalis* y en tallos y hojas de *Catharanthus roseus*. Se evaluaron el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, saponinas, alcaloides y la actividad antioxidante. En *C. officinalis*, no se encontraron efectos significativos en la producción de compuestos fenólicos en comparación con el grupo control (0 μM). Sin embargo, se observó una mayor concentración de flavonoides con 20 μM de SeNPs. También se obtuvo un mayor contenido de saponinas con 20 μM y una máxima actividad antioxidante con 10 μM . Por otro lado, en *C. roseus*, se identificó un mayor contenido de compuestos fenólicos con 100 y 50 μM ; sin diferencias significativas en la cuantificación de flavonoides. Se registró un mayor contenido de saponinas y alcaloides con 50 μM , y se observaron variaciones significativas en la actividad antioxidante, mostrando una tendencia a que una mayor concentración de SeNPs se asocie con una mayor actividad antioxidante. Este estudio destaca la influencia positiva de las SeNPs en la producción de metabolitos secundarios, subrayando su potencial como herramienta en la producción agrícola y medicinal.

Palabras clave: Compuestos Fenólicos, Flavonoides, Saponinas, Alcaloides, Actividad Antioxidante.

Abstract. Selenium nanoparticles (SeNPs) represent a promising alternative to stimulate the synthesis and accumulation of bioactive agents in plants of ornamental and medicinal interest. The objective of the study was to determine the impact of different concentrations (0, 10, 20, 50 and 100 μM) of SeNPs on the production of secondary metabolites in flowers of *Calendula officinalis* and in stems and leaves of *Catharanthus roseus*. The content of total phenolic compounds, flavonoids, saponins, alkaloids and antioxidant activity were evaluated. In *C. officinalis*, no significant effects were found in the production of phenolic compounds compared to the control group (0 μM). However, a higher concentration of flavonoids was observed with 20 μM SeNPs. A higher content of saponins was also obtained with 20 μM and a maximum antioxidant activity with 10 μM . On the other hand, in *C. roseus*, a higher content of phenolic compounds was identified with 100 and 50 μM ; without significant differences in the quantification of flavonoids. A higher content of saponins and alkaloids was recorded with 50 μM , and significant variations in antioxidant activity were observed, showing a tendency for a higher concentration of SeNPs to be associated with higher antioxidant activity. This study highlights the positive influence of SeNPs on the production of secondary metabolites, underlining their potential as a tool in agricultural and medicinal production.

Keywords: Phenolic Compounds, Flavonoids, Saponins, Alkaloids, Antioxidant Activity.

¹Universidad de Guadalajara. CUCBA, Las Agujas, Zapopan, México.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

³CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

*Autor para correspondencia: smorales@ciatej.mx

1. Introducción

En la actualidad, los bioestimulantes han surgido como una de las estrategias prometedoras y eficaces para mejorar el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos agrícolas, así como para contrarrestar algunos de los problemas causados por el uso inadecuado de pesticidas (Jia et al., 2023). El selenio (Se) está catalogado como elemento benéfico para el crecimiento y el desarrollo de las plantas, ya que, a bajas concentraciones, contribuye a su metabolismo e interviene en reducir el estrés biótico y abiótico (Garza-García et al., 2023). El Se en forma de nanopartículas (NPs) es más seguro y menos tóxico para su uso en la agricultura, en comparación con otras fuentes inorgánicas de Se (Jia et al., 2023).

Reportes previos indican que las SeNPs pueden actuar como bioestimulantes para mejorar el crecimiento y productividad de plantas ornamentales y medicinales (Garza-García et al., 2023), que pueden ser utilizadas como una estrategia para la biofortificación de los cultivos con Se o inhibir el crecimiento de microorganismos fitopatógenos causante de enfermedades en los cultivos (Quiterio-Gutiérrez et al., 2019). Uno de los mecanismos de acción del Se para mejorar la calidad de las plantas es activando el sistema antioxidante, incluyendo el contenido metabolitos secundarios (MS) con actividad antioxidante (Jia et al., 2023; Garza-García et al., 2023). La aplicación de SeNPs ha favorecido la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, así como un aumento en la capacidad antioxidante, en cultivos como el pimiento (*Capsicum annum* L.) (Li et al., 2020a), el trigo (*Triticum aestivum* L.) (Zhou et al., 2021) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Quiterio-Gutiérrez et al., 2019).

Calendula officinalis L. (caléndula) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia Asteraceae con alto valor económico y medicinal. Esta especie se emplea en diversos sectores industriales por su compleja composición química como terpenos, compuestos fenólicos, glicósidos y alcaloides (Arora et al., 2013). Los MS de caléndula han demostrado capacidad antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante y antiviral (Ghanati & Bakhtiarian, 2014). A través de diferentes estudios, se ha comprobado que el uso de NPs en *C. officinalis* tiene efectos benéficos; por ejemplo, Ghanati & Bakhtiarian (2014) reportaron un aumento en el contenido de saponinas de hasta 177%, siendo un método sencillo y rentable para mejorar las propiedades medicinales de esta planta. Hernández-Díaz et al. (2021) demostraron que las SeNP, obtenidas de flores de caléndula, presentaron un efecto potenciador de la actividad antimicrobiana y antioxidante, siendo una alternativa para el control de patógenos clínicos.

Catharanthus roseus L. G. Don (vinca) es una planta tropical perenne de la familia Apocynaceae. Esta planta medicinal está constituida por más de 125 alcaloides indólicos; particularmente, las hojas y tallo de vinca son fuente de los alcaloides vinblastina y vincristina, caracterizados por sus propiedades antitumorales y son el principio activo de distintos fármacos quimioterapéuticos (Pan et al., 2016). La aplicación de NPs en plantas de vinca tuvo efectos bioestimulantes en el contenido de MS, como lo indicaron Fouad et al. (2021), quienes encontraron una alta acumulación de alcaloides en *C. roseus* tras la aplicación NPs. Resultados semejantes fueron encontrados por Paeizi et al. (2018) donde el tratamiento con NPs de plata mostró ser eficaz para promover la biosíntesis de alcaloides. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar el impacto de diferentes concentraciones de SeNPs en el contenido de metabolitos secundarios en los extractos metanólicos de flores de *C. officinalis* y de tallo y hoja de *C. roseus*.

2. Materiales y Métodos

Las plantas de caléndula y vinca se obtuvieron de acuerdo con lo reportado por Garza-García et al. (2023), ambas especies vegetales crecieron en condiciones de invernadero. Los tratamientos con las diferentes concentraciones (0, 10, 20, 50 o 100 μM) de SeNPs se aplicaron por aspersiones foliares semanales hasta el momento de la cosecha (10 semanas después del trasplante). Se tuvieron 12 plantas por tratamiento y al final de la cosecha se agruparon para tener un total de 4 réplicas biológicas (1 réplica consistió en el tejido de 3 plantas). Los extractos metanólicos se obtuvieron siguiendo lo descrito por Hernández-Díaz et al. (2021).

Para la evaluación de los metabolitos secundarios, se pesaron 0.5 g de cada extracto seco y se disolvió en 1 mL de metanol (MeOH) al 100% (0.5g/mL MeOH). Las muestras se almacenaron a 4°C durante todos los ensayos.

Contenido de compuestos fenólicos totales. Se realizó por el método espectrofotométrico Folin-Ciocalteu (F-C). El contenido de fenoles totales se expresó en equivalentes de ácido gálico por g de extracto seco (mg GAE/g). Se siguió la metodología reportada por Alcázar-Valle et al. (2020), a 50 μL de muestra se le añadió 3 mL de agua destilada. A continuación, se agregó 250 μL del reactivo F-C (2N) y 750 μL de carbonato de sodio al 7% (p/v). Las muestras fueron incubadas por 8 min a temperatura ambiente (TA). Posteriormente, se añadió 950 μL de agua destilada y se incubó en obscuridad por 2 h a TA. Se leyó la absorbancia a 765 nm (Infinite M200 Pro, Tecan, Männedorf, Switzerland).

Contenido de flavonoides. Se utilizó la reacción de cloruro de aluminio (AlCl_3) para la cuantificación espectrofotométrica de flavonoides, el cual se expresó en equivalentes de quercetina por g de extracto seco (mg QE/g). Se mezcló 50 μL de muestra, 700 μL de agua desionizada y 250 μL de AlCl_3 . La solución se mantuvo a TA por 30 min y se leyó la absorbancia a 410 nm (Alcázar-Valle et al., 2020).

Contenido de saponinas. Se siguió el método de vainillina-ácido sulfúrico (H_2SO_4). El contenido de saponinas totales se expresó en equivalentes de diosgenina por g de extracto seco (μg DI/g). Se agregó 1 mL de MeOH al 80% (v/v) a 0.5 mg de muestra. Se mezclaron 250 μL de muestra, 250 μL de vainillina al 8% (p/v) y 2.5 mL de H_2SO_4 al 72% (v/v). Posteriormente, la muestra se incubó a 60°C en baño María por 10 min, para después incubarse en hielo por 4 min (Hiai et al., 1976). Se tomó la lectura de la absorbancia a 544 nm.

Contenido de alcaloides. Se empleó el método de extracción alcaloidal líquido-líquido con cloroformo (CHCl_3). El contenido de alcaloides se expresó en equivalentes de vinblastina por g de extracto seco (μg VIN/g) (Paeizi et al., 2018). La muestra se disolvió en MeOH al 3% (1:3). El procedimiento consistió en dos etapas. En la primera etapa, la muestra se acidificó con ácido clorhídrico (HCl) 1N hasta tener un pH de 3.5 (± 0.1). La muestra se extrajo tres veces con CHCl_3 y se recuperó la fase acuosa en cada extracción. En la segunda etapa, se alcalinizó la fase acuosa con hidróxido de sodio (NaOH) 1N hasta alcanzar un pH de 8.5 (± 0.1). Se realizaron tres extracciones de la fase acuosa con CHCl_3 ; en cada extracción se recuperó la fase orgánica. Finalmente, la fase orgánica se evaporó y la muestra resultante se disolvió en 1 mL de MeOH grado HPLC. Se tomó la lectura de la absorbancia a 280 nm (Paeizi et al., 2018).

Determinación de actividad antioxidante. Se midió a partir del grado de decoloración, expresado como porcentaje de actividad de eliminación del radical ABTS⁺. Se mezcló 20 μL de

muestra con 180 μL del radical ABTS⁺. Los blancos de reacción se preparan con etanol; mientras que, la muestra control consistió en la combinación de 20 μL de agua desionizada y 180 μL del radical ABTS⁺. Se tomó la lectura de la absorbancia a 734 nm (Alcázar-Valle et al., 2020).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se efectuó mediante el software Statgraphics. Se realizó un ANOVA unifactorial seguido de la prueba de comparación de medias de Duncan con nivel de confianza de 95%.

3. Resultados y Discusión

Compuestos fenólicos totales. En los extractos metanólicos de flores de *C. officinalis* los tratamientos de SeNPs no tuvieron efectos significativos en la producción de compuestos fenólicos con respecto al testigo (0 μM). Mientras que, en los extractos de tallo y hoja de *C. roseus* se encontró un mayor contenido de fenoles totales con la aplicación de 100 μM de SeNPs y se observó una tendencia, que al incrementar la dosis de SeNPs aumentó el contenido de compuestos fenólicos (Figura 1). En otros cultivos también se ha reportado el efecto de las SeNPs en el contenido de fenoles totales, como es el caso del apio (*Apium graveolens* L.) donde la aplicación de 5 mg/L favoreció la acumulación de estos metabolitos secundarios (Li et al., 2020b).

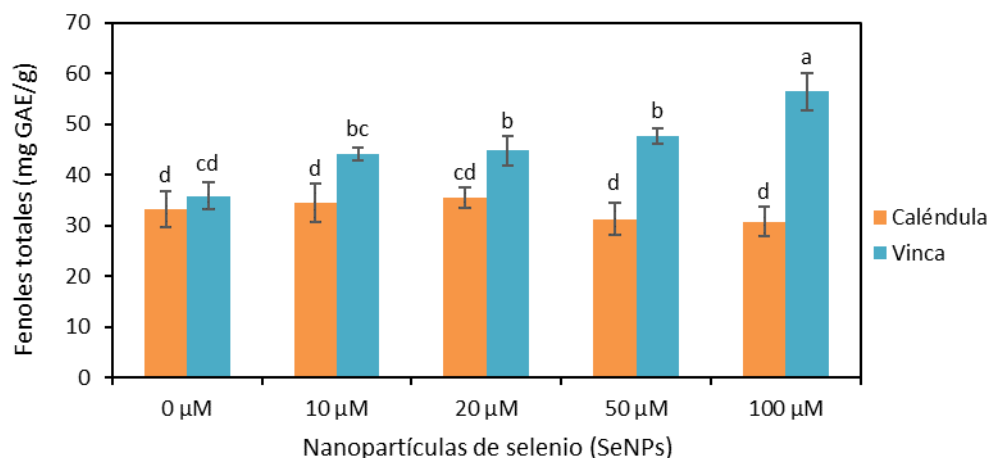


Figura 1. Contenido de compuestos fenólicos totales en extractos metanólicos de flores de caléndula y hoja y tallo de vinca. Las letras sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Flavonoides. En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con SeNPs y el testigo en flores de caléndula tampoco en tallo y hoja de vinca (Figura 2). En otro estudio realizado por Ghanati & Bakhtiaran (2014), se reportó que concentraciones superiores a 800 μM de NPs de plata disminuyeron el contenido de flavonoides en flores de caléndula. Por su parte, Li et al. (2020a) mostraron que la aplicación de SeNPs (20 mg/L) en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) aumentó la concentración de flavonoides en 80%.

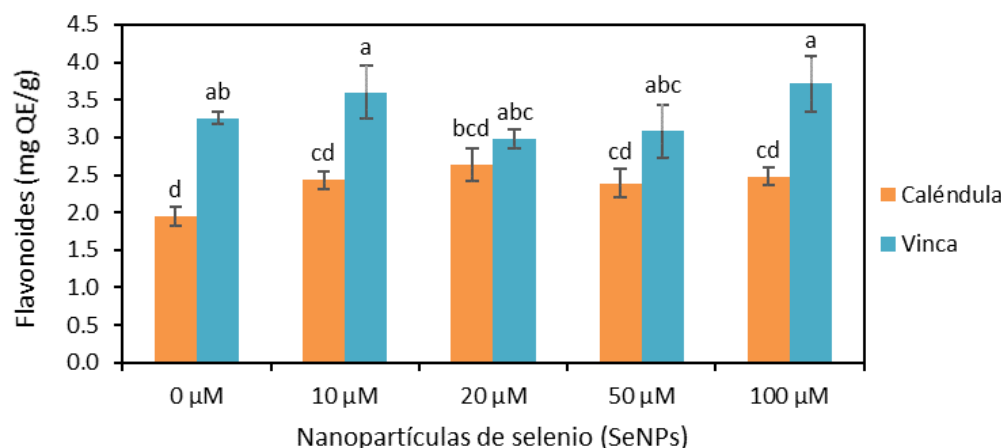


Figura 2. Contenido de flavonoides en extractos metanólicos de flores de caléndula y hoja y tallo de vinca. Las letras sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Saponinas. Con respecto al contenido de saponinas, el tratamiento con 20 μM de SeNPs provocó una mayor concentración de saponinas en flores de *C. officinalis* (Figura 3). Los resultados obtenidos por Ghanati & Bakhtiarian (2014), indicaron que la nanotecnología tiene efectos benéficos en la síntesis de metabolitos en caléndula, uno de ellos es el aumento en la producción de saponinas con la aplicación de NPs de plata (0.4 mM). En tallo y hoja de vinca, se registró un alto contenido de saponinas con 50 μM de SeNPs en relación con el testigo (Figura 3). En los extractos de vinca obtenidos del tratamiento con 20 μM de SeNPs no se detectó la presencia de saponinas, a pesar de que se repitió la cuantificación numerosas veces.

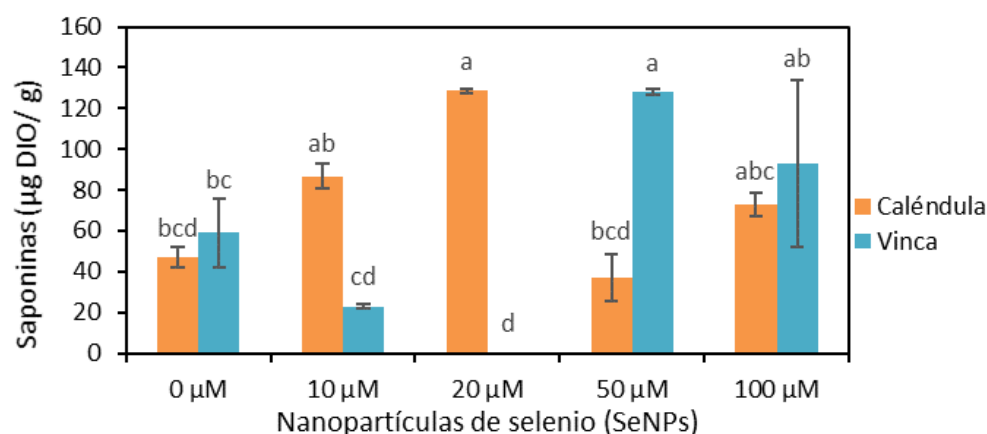


Figura 3. Contenido de saponinas en extractos metanólicos de flores de caléndula y hoja y tallo de vinca. Las letras sobre las barras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Alcaloides. La cuantificación de alcaloides se realizó únicamente en tallo y hojas de *C. roseus*. El tratamiento con 50 μM de SeNPs, resultó con el mayor contenido de alcaloides (Figura 4), aunque no se encontraron diferencias estadísticas con la aplicación de 100 μM . Fouad et al. (2021) reportaron que concentraciones superiores a 10 mg/L de NPs de plata favorecieron la acumulación de alcaloides en *C. roseus*. En otro estudio se evidenció que la aspersión de SeNPs (5 mg/L), en hojas de plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.), activó el metabolismo de alcaloides indólicos (Zhou et al., 2021).

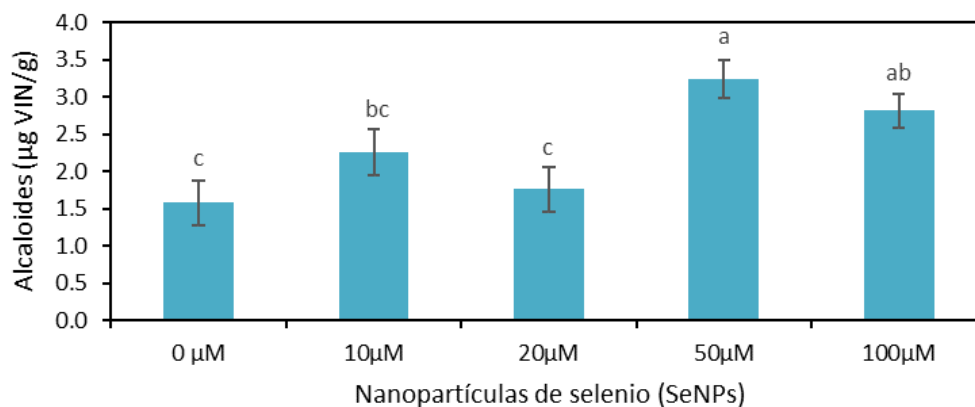


Figura 4. Contenido de alcaloides en extractos metanólicos de hoja y tallo de vinca. Las letras sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Actividad antioxidante. En flores de *C. officinalis* se encontró una mayor actividad antioxidante a una concentración de 10 μM de SeNPs, exponiendo una ligera reducción del sistema antioxidante en los tratamientos con mayor concentración de SeNPs (Figura 5). Ghanati & Bakhtiarian (2014) observaron que el extracto de *C. officinalis* tiene menor capacidad de eliminar los radicales libres tras el tratamiento de NPs de plata y metil jasmonato debido a la reducción en el contenido de antocianinas y flavonoides. En cuanto al tallo y hoja de *C. roseus* se identificó una tendencia donde a mayor concentración de SeNPs mayor actividad antioxidante, este comportamiento coincide con el efecto encontrado en el contenido de compuesto fenólicos totales (Figura 1). En hojas de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) también se reportó que la capacidad antioxidante aumentó consistentemente con la dosis de SeNPs y NPs de cobre (Quiterio-Gutiérrez et al., 2019).

La mayor actividad antioxidante se encontró en los extractos de vinca comparado con los de caléndula, lo cual coincide con un mayor contenido de compuestos fenólicos totales (Figura 1) y flavonoides (Figura 2), indicando que el efecto de SeNPs depende de la especie vegetal, del órgano de la planta y del tipo de metabolito secundario.

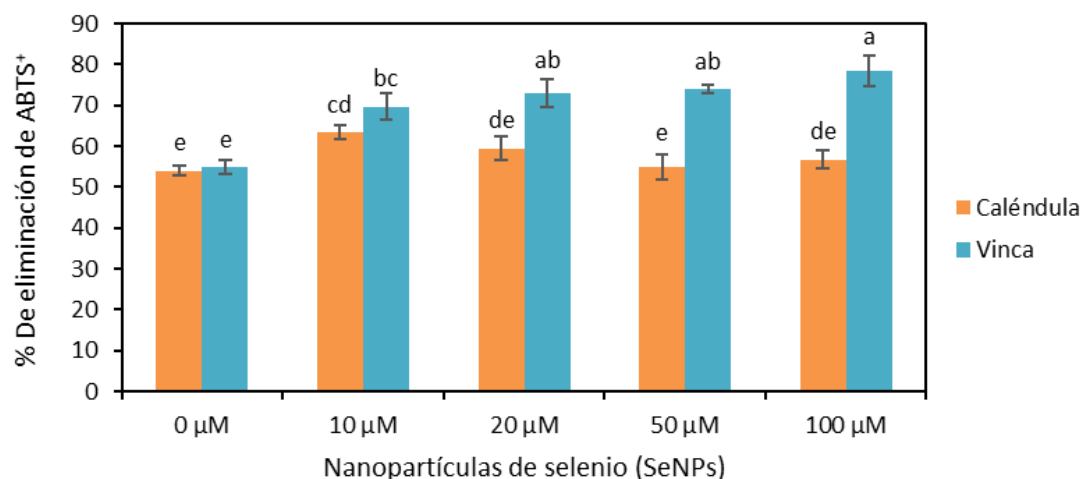


Figura 5. Contenido de compuestos antioxidantes en extractos metanólicos de flores de caléndula y hoja y tallo de vinca. Las plantas de ambas especies fueron asperjadas con diferentes concentraciones de SeNPs. Valores promedio $\pm$ desviación estándar. Las letras sobre las barras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

4. Conclusiones

En flores de *C. officinalis*, concentraciones bajas de SeNPs (10 y 20 μ M) favorecieron la acumulación de flavonoides y saponinas; además se indujo la actividad antioxidante. En tallo y hoja de *C. roseus*, las concentraciones altas de SeNPs (50 y 100 μ M) estimularon la síntesis de compuestos fenólicos, saponinas, alcaloides y la activación del sistema antioxidante. El efecto de las SeNPs en la producción de MS depende de la especie vegetal, del órgano de la planta y la concentración de las SeNPs. El presente estudio abre camino para el uso de las SeNPs como una alternativa sustentable que responde a la alta demanda de agentes bioactivos de plantas que son empleados en diversos sectores industriales.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología de Jalisco y al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECYTJAL) por el financiamiento del proyecto 9851-2022. Al laboratorio nacional PLANTECC por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Referencias Citadas

- Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, J. N. & García-Morales, S. (2020). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Antinutritional Content of Legumes: A Comparison between Four Phaseolus species. *Molecules*, 25(15): 1-21.
- Arora, D., Rani, A. & Sharma, A. (2013). A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus *Calendula*. *Pharmacognosy Review*, 7(14): 179-187.

- Fouad, A., Hegazy, A. E., Azab, E., Khojah, E. & Kapiel, T. (2021). Boosting of Antioxidants and Alkaloids in *Catharanthus roseus* Suspension Cultures Using Silver Nanoparticles with Expression of CrMPK3 and STR Genes. *Plants*, 10(10): 1-13.
- Garza-García, J. J. O., Hernández-Díaz, J. A., León-Morales, J. M., Velázquez-Juárez, G., Zamudio-Ojeda, A., Arratia-Quijada, J., Reyes-Maldonado, O. K., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2023). Selenium nanoparticles based on *Amphipterygium glaucum* extract with antibacterial, antioxidant, and plant biostimulant properties. *Journal of Nanobiotechnology*, 21(1): 1-19.
- Ghanati, F., & Bakhtiarian, S. (2014). Effect of Methyl Jasmonate and Silver Nanoparticles on Production of Secondary Metabolites by *Calendula officinalis* L (Asteraceae). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(11): 1783-1789.
- Hernández-Díaz, J. A., Garza-García, J. J., León-Morales, J. M., Zamudio-Ojeda, A., Arratia-Quijada, J., Velázquez-Juárez, G., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2021). Antibacterial activity of biosynthesized selenium nanoparticles using extracts of *Calendula officinalis* against potentially clinical bacterial strains. *Molecules*, 26(19): 1-19.
- Hiai, S., Oura, H. & Nakajima, T. (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29(2): 116-122.
- Jia, Y., Kang, L., Wu, Y., Zhou, C., Li, D., Li, J., & Pan, C. (2023). Review on pesticide abiotic stress over crop health and intervention by various biostimulants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(37): 13595-13611.
- Li, D., Zhou, C., Zhang, J., An, Q., Wu, Y., Li, J. Q., & Pan, C. (2020a). Nanoselenium foliar applications enhance the nutrient quality of pepper by activating the capsaicinoid synthetic pathway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(37): 9888-9895.
- Li, D., An, Q., Wu, Y., Li, J. Q., & Pan, C. (2020b). Foliar application of selenium nanoparticles on celery stimulates several nutrient component levels by regulating the α -linolenic acid pathway. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(28): 10502-10510.
- Paeizi, M., Karimi, F. & Razavi, K. (2018). Changes in medicinal alkaloids production and expression of related regulatory and biosynthetics genes in response to silver nitrate combined with methyl jasmonate in *Catharanthus roseus* in vitro propagated shoots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132: 623-632.
- Pan, Q., Mustafa, N. R., Tang, K., Choi, Y. H. & Verpoorte, R. (2016). Monoterpenoid indole alkaloids biosynthesis and its regulation in *Catharanthus roseus*: A literature review from genes to metabolites. *Phytochemistry Review*, 15: 221-250.
- Quiterio-Gutiérrez, T., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Hernández-Fuentes, A. D., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Cabrera-de la Fuente, M. & Juárez-Maldonado, A. (2019). The application of selenium and copper nanoparticles modifies the biochemical responses of tomato plants under stress by *Alternaria solani*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8): 1950.
- Zhou, C., Li, D., Shi, X., Zhang, J., An, Q., Wu, Y., Li, J.-Q. & Pan, C. (2021). Nanoselenium enhanced wheat resistance to aphids by regulating biosynthesis of DIMBOA and volatile components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(47): 14103-14114.

Conocimiento y uso tradicional del Cuajilote (*Parmentiera aculeata* Kunth) en la Villa de Zaachila, Oaxaca, México

Omar San Germán-Jiménez^{1,*}, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹, Baldomero Hortencio Zárate-Nicolás¹

Resumen. El cuajilote (*Parmentiera aculeata*, Kunth) es una planta cuyo uso se remonta a tiempos prehispánicos y es originaria de Mesoamérica. Ha servido como alimento en temporada seca, remedio medicinal, alimento forrajero para animales de corral, sombra y sitio de descanso para trabajadores del campo. Sin embargo, a pesar de todos estos usos, esta planta sigue siendo poco conocida y visible para la mayoría de las personas, lo que ha resultado en pocos estudios sobre su proceso de polinización, métodos de propagación y propiedades nutricionales y medicinales. A pesar de esto, en comunidades como la Villa de Zaachila, Oaxaca, aún se pueden encontrar árboles de cuajilote. Este estudio tuvo como objetivos documentar los usos y conocimientos que tiene la población de la Villa de Zaachila sobre el cuajilote e identificar las formas en que *P. aculeata* se propaga en la localidad. Para lograr estos objetivos, se entrevistó a pobladores de la Villa de Zaachila con conocimiento sobre el árbol del cuajilote. Los resultados indican que la mayoría de las personas que utilizan la planta son mujeres, con edades entre 48 y 91 años, quienes tienen las plantas en huertos familiares y en su mayoría se dedican al comercio de frutas y hortalizas en la localidad. Seguidamente, se inspeccionaron dos ejemplares de *P. aculeata* a diferentes horas del día, durante un periodo de tres días, y se recabaron datos fotográficos como evidencia. Los resultados obtenidos sugieren fuertemente que el responsable de la polinización de la flor del cuajilote puede ser un murciélago microquiróptero, probablemente de la familia Phyllostomidae.

Palabras clave: Bignoniaceae, Cuajilote, Conocimiento Tradicional, Polinización por Murciélagos.

Abstract. The cuajilote (*Parmentiera aculeata*, Kunth) is a plant whose use dates back to pre-Hispanic times and is native to Mesoamerica. It has served as a dry season food, medicinal remedy, fodder for barnyard animals, shade, and a resting place for farm workers. However, despite all these uses, this plant remains little known and visible to most people, which has resulted in few studies on its pollination process, propagation methods, and nutritional and medicinal properties. Despite this, in communities such as Villa de Zaachila, Oaxaca, cuajilote trees can still be found. The objectives of this study were to document the uses and knowledge that the population of Villa de Zaachila has about cuajilote and to identify the ways in which *P. aculeata* is propagated in the locality. To achieve these objectives, villagers from Villa de Zaachila with knowledge about the cuajilote tree were interviewed. The results indicate that most of the people who use the plant are women, between 48 and 91 years of age, who have the plants in home gardens and most of them are involved in the local fruit and vegetable trade. Next, two specimens of *P. aculeata* were inspected at different times of the day, during a period of three days, and photographic data were collected as evidence. The results obtained strongly suggest that a microchiropteran bat, probably of the family Phyllostomidae, may be responsible for the pollination of the quack flower.

Keywords: Bignonaceae, Cuajilote, Traditional Knowledge, Bat Pollination.

¹Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Unidad Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: ogermanj2300@alumno.ipn.mx

1. Introducción

El cuajilote (*Parmentiera aculeata*, Kunth) es una planta nativa de Mesoamérica, su nombre común deriva de los vocablos náhuatl “cuahuatl” árbol, y “xilote” xilote o jilote el vocablo completo significa “Xilote de árbol”, debido a la forma peculiar de sus frutos (Figura 1), y en la península de Yucatán lo llaman “pepino Kat”. La especie es nativa de Centroamérica (de México hasta Honduras), y ha sido naturalizada en el norte de Australia (Lim, 2012). Este autor describe al árbol del cuajilote como perennifolio de tamaño pequeño o mediano hasta 10 m, con tronco corto y grueso y corteza pálida, y la presencia de espinas en cada nudo.



Figura 1. Árbol y flores en diversas etapas de crecimiento del cuajilote. Fotografías: Omar San Germán Jiménez.

Las hojas constan de 3 a 5 folíolos con pecíolos largos y alados. Las flores son campanuladas, de verdosas a blancas verdosas, con líneas marrón púrpura, se encuentran solitarias o fasciculadas en los nudos de la madera vieja a lo largo de ramas y tronco o en las terminaciones de los folíolos. La corola es campanulada (en forma de trompeta) y algo curvada, de 5 a 6.5 cm de largo, los estambres son ligeramente extendidos con anteras glabras (Lim, 2012).

El fruto es subcilíndrico, indehiscente y estriado, a menudo ligeramente curvado, puntiagudo, de color amarillo verdoso a amarillo opaco y ceroso (Figura 2). El tiempo de desarrollo del cuajilote, de una flor a un fruto maduro es de cuarenta días aproximadamente. *P. aculeata* florea y fructifica la mayor parte del año, por lo que se pueden encontrar flores y frutos en diferentes estadios del desarrollo al mismo tiempo (Gentry, 1980; Lim, 2012).

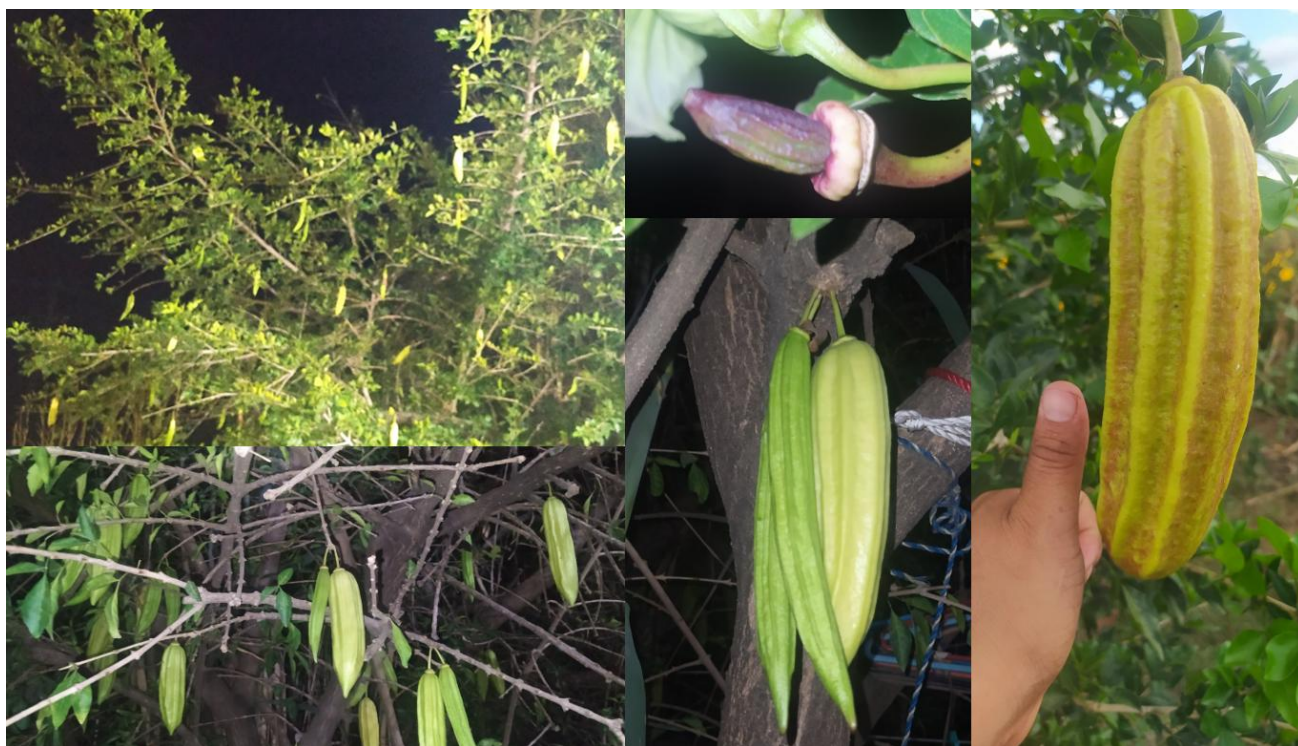


Figura 2. Árbol con frutas de cuajilote en diferentes etapas de su desarrollo. Fotografías: Omar San Germán Jiménez.

Parmentiera aculeata es una planta que suele estar presente en muchos sitios y sin embargo suele ser poco conspicua por las personas, las cuales; aunque tienen saberes acerca del aprovechamiento de la planta la llegan a utilizar muy poco. A causa de esta “poca visibilidad” o interés, datos importantes como su proceso de polinización y métodos para su propagación no han sido del todo dilucidados.

En los últimos años se han descubierto propiedades y principios activos tanto de las hojas como del fruto del cuajilote que son de interés farmacológico (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005; Morales-Sánchez et al., 2015; Santiago Ruiz et al., 2021), lo cual ha despertado el interés de percatarse del conocimiento local que se tiene sobre *P. aculeata* y en especial la forma en que se puede propagar, con base en lo anterior este trabajo tuvo como objetivos evidenciar los usos y saberes que cuenta la población de la Villa de Zaachila sobre el cuajilote e identificar las formas en que *P. aculeata* se propaga.

2. Materiales y Métodos

Utilizando un proceso de muestreo de bola de nieve, se efectuó una serie de entrevistas abiertas a 20 pobladores de la Villa de Zaachila, Oaxaca, con respecto al uso que se le da al árbol del cuajilote en dicha localidad. Los resultados de las entrevistas y las respuestas se agruparon en una tabla con la cual se generaron diversos gráficos para mostrar la información recopilada.

Asimismo, se realizó la observación del agente polinizador de *P. aculeata* inspeccionando la superficie interna y externa de las flores de dos individuos jóvenes de árbol del cuajilote en busca de

huellas, residuos o rastros de polen que hubiera dejado el o los agentes polinizadores, las inspecciones se realizaron en diferentes horas del día (8 am a 9am, 3pm a 4pm y 7pm a 8pm) por tres días. Se utilizó una cámara réflex marca Canon® modelo “EOS Rebel T7” y un dispositivo celular modelo “Redmi note 8” marca Xiaomi® para los registros fotográficos. La revisión de literatura se realizó utilizando bases de datos accesadas vía la biblioteca virtual del Instituto Politécnico Nacional.

3. Resultados y Discusión

Entrevistas. Los pobladores entrevistados fueron adultos de 48 a 91 años, y la mayoría son mujeres que se dedican al comercio de frutas y hortalizas (incluyendo el fruto de *P. aculeata*), en el mercado de la población y en el día de plaza (jueves). Los resultados de las entrevistas realizadas se presentan en la Tabla 1.

Con relación a los nombres locales y/o de origen indígena apareció el nombre de “chote” como un sinónimo al cuajilote y solamente un entrevistado utilizó el término “cuaxilote” el cual sigue siendo otra variante del nombre original de “cuajilote” de origen náhuatl. Los entrevistados refirieron utilizar al cuajilote como alimento y también de forma medicinal, sobre todo para tratar la tos seca, sin embargo; se encontraron que también existen usos como cercas vivas para delimitación de terrenos, como alimentación de ganado (porcino, ovino y bovino) y en usos ceremoniales como parte de la ofrenda que se realiza en celebraciones como el día de los muertos en el mes de noviembre (Figura 3). El cien por ciento de los entrevistados respondió afirmativamente saber cómo se propaga la planta, en que lugares la pueden encontrar y reconocen que existen más personas que podrían poseer conocimientos acerca de *P. aculeata* en la comunidad.

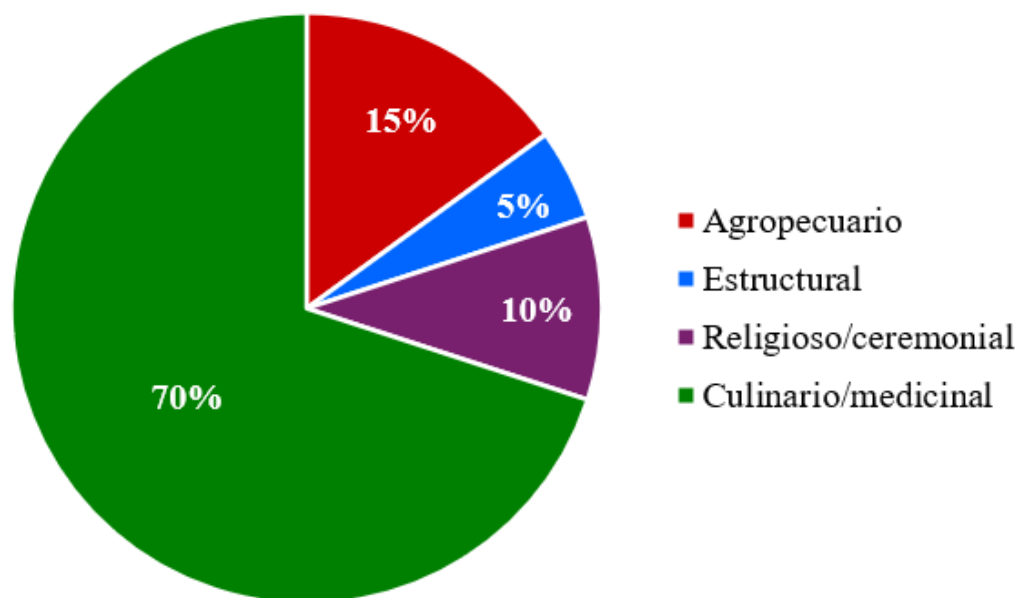


Figura 3. Porcentajes de utilización en diferentes ámbitos de *P. aculeata* en la Villa de Zaachila, Oaxaca, México.

Tabla 1. Respuestas de las 20 entrevistas realizadas a habitantes de la Villa de Zaachila sobre su conocimiento de *P. aculeata*.

#	Pregunta	Respuesta					
1	Edad	Promedio (Años) 66.15					
2	Sexo	Femenino 14	Masculino 6				
3	Tiempo de permanencia en la localidad	Promedio (Años) 58					
4	Trabajo/profesión	Comerciante 13	Agricultor 3	Obrero 2			
5	Desde hace que tiempo conoce la planta y/o el fruto del cuajilote	Promedio (Años) 62.35					
6	Con que otros nombres conoce al fruto y/o a la planta	Cuajilote 16	Chote 3	Cuaxilote 1			
7	Que usos le da a la planta y/o al fruto?	Culinario 20	Medicinal 20	Agropecuaria 3	Estructural 1	Religioso Ceremonial 2	
8	Conoce como se propaga la planta	20					
9	Sabe en qué lugares se encuentra la planta (crece)	20					
10	Sabe de otras personas que conocen y/o utilizan la planta y/o el fruto	20					
11	Cuántas personas conoce (promedio)	7					

Floración. En la inspección de las flores en los dos individuos de *P. aculeata* durante los tres días de observación no reveló algún indicio del agente polinizador. No obstante, si se pudo observar la presencia de insectos himenópteros (Formicidae, Apidae), hemípteros (Pentatomidae) y coleópteros (Cerambycidae) en las ramas y los foliolos, también se observaron murciélagos microquirópteros no identificados (probablemente familia Phyllostomidae) sobrevolando los árboles en el horario de inspección de las 19:00 a 20:00 h. La revisión de literatura reveló que varias especies de la familia Bignonaceae del nuevo mundo han evolucionado de una polinización realizada por insectos a una por murciélagos (Damaiyani, 2021) y que sus flores se han adaptado física y fisiológicamente para permitir la entrada a sus nectarios a murciélagos microquirópteros (Abrol, 2012; Gentry, 1980) y que estas mismas emiten aromas a partir de compuestos alifáticos e isoprenoides los cuales también se han

identificado como comunes en otras flores polinizadas por murciélagos. En la Figura 4, se muestra la secuencia de crecimiento de la flor del cuajilote, la cual lleva en promedio de 4 a 5 días.



Figura 4. Secuencia del desarrollo del botón floral hasta la senescencia de la flor del cuajilote. Fotografía por Omar San Germán Jiménez

De acuerdo con Gentry (1980), se han observado visitas de abejas trigonas y colibríes a las corolas de flores no abiertas lo que supone que no actúan como polinizadores si no como “ladrones de néctar”, también se han observado visitas de polillas nocturnas (Gentry, 1974), sin embargo; las polillas no hacen contacto con las anteras lo que sugiere que solo sean visitas esporádicas, en contraste, se ha identificado por lo menos una especie de microquiróptero (*Glossophaga soricina*) que se alimenta del néctar y que hace contacto con las anteras y el estigma de las flores de dos especies del género *Crescentia* (Gentry, 1974; Ragsac et al., 2021; González-Gutiérrez et al., 2022), el cual es un género muy cercano al género *Parmentiera*. No obstante, los intentos por fotografiar a los quirópteros al vuelo o alimentándose de la flor fueron infructuosos debido a la rapidez de estos y a la poca iluminación propia del lugar y horario.

4. Conclusiones

El cuajilote se encuentra en huertos familiares orgánicos, donde se producen productos muy sanos (libres de agroquímicos). Estos huertos brindan recursos bióticos que son utilizados por las familias ya que el cuajilote representa un recurso forestal, que les proporciona sombra donde descansan después de sus labores en campo y lo utilizan para delimitar sus propiedades. Los frutos les proporcionan un ingreso extra por su venta y también los utilizan para remedios caseros. Asimismo, los frutos son fuente de alimento durante la época seca para los animales de corral (ovinos, porcinos y bovinos). Sin embargo; es necesario realizar investigaciones tanto de la planta, flores y frutos para determinar su potencial como materia prima para la elaboración de otros subproductos comestibles, medicinales entre otros. Por otro lado, se recomienda extender el tiempo de las inspecciones de las flores a horarios nocturnos e instalar cámaras trampa para realizar la plena identificación del agente polinizador.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) CIIDIR Oaxaca por el apoyo brindado; así como al CONAHCYT por la beca proporcionada al primer autor para estudios de posgrado y al SNI-CONAHCYT por el apoyo brindado a los profesores del IPN.

Referencias Citadas

- Abrol, D. P. (2012). *Pollination Biology*. Springer Netherlands. 823p.
- Andrade-Cetto, A., & Heinrich, M. (2005). Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 325–348.
- Damaiyani, J. (2021). Floral biology and breeding system of endangered species: *Parmentiera cereifera* Seem. (Bignoniaceae). *Berkala Penelitian Hayati*, 26(2), 85–91.
- Gentry, A. H. (1974). Coevolutionary Patterns in Central American Bignoniaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 61(3), 728.
- Gentry, A. H. (1980). Bignoniaceae: Part I (Crescentieae and Tourrettieae). *Flora Neotropica*, 25(1), 1–130.
- González-Gutiérrez, K., Castaño, J. H., Pérez-Torres, J., y Mosquera-Mosquera, H. R. (2022). Structure and roles in pollination networks between phyllostomid bats and flowers: A systematic review for the Americas. *Mammalian Biology*, 102(1), 21–49.
- Lim, T. K. (2012). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 1, Fruits*. Springer Netherlands.
- Morales-Sánchez, V., Osuna-Fernández, H.-R., Brechú-Franco, A., Laguna-Hernández, G., & Vargas-Solís, R. (2015). Assessment of the antiurolithiatic effect of *Parmentiera aculeata* fruit on Wistar rat. *Botanical Sciences*, 93(2), 293–298.
- Ragsac, A. C., Grose, S. O., & Olmstead, R. G. (2021). Phylogeny and Systematics of Crescentieae (Bignoniaceae), a Neotropical Clade of Cauliflorous and Bat-Pollinated Trees. *Systematic Botany*, 46(1), 218–228.
- Santiago Ruiz, C., Nuricumbo Lievano, V. N., Chapa Barrios, M. G., Vela Gutiérrez, G., Velázquez López, A. A., Santiago Ruiz, C., Nuricumbo Lievano, V. N., Chapa Barrios, M. G., Vela Gutiérrez, G., & Velázquez López, A. A. (2021). Antimicrobial Activity, Phenolic and Antioxidant Content of Extracts from Cuajilote (*Parmentiera aculeata* Kunth) Fruits at Different Degrees of Ripening. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 65(2), 161–169.

Palmicultores del estado de Campeche: productividad y perfil socioeconómico

Ricardo Isaac-Márquez^{1,*}, María Esther Ayala-Arcipreste¹, Ileana Mercedes Canepa-Pérez¹

Resumen. La palma de aceite es el cultivo de plantación más valioso económicamente en el trópico, y su rápida expansión ha generado controversia a nivel mundial. En México, el 85% de la producción nacional proviene de plantaciones de pequeños productores, principalmente campesinos de comunidades ejidales. El gobierno del estado de Campeche considera que la palma de aceite es un cultivo estratégico para el desarrollo rural debido a su capacidad para crear empleos bien remunerados y mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las comunidades rurales. En los últimos años, este cultivo ha crecido en Campeche con un enfoque social, bajo un modelo de plantaciones campesinas a pequeña escala, con el objetivo de convertir al estado en el principal productor de aceite de palma de México. El objetivo de este trabajo fue describir las características socioeconómicas de los pequeños productores de palma de aceite en Campeche y sus prácticas productivas. Se aplicó una encuesta a una muestra representativa de los productores miembros de la Unión de Palmicultores del Milenio (n= 137), la principal organización de cultivadores de palma de aceite en Campeche. Los resultados indican que las plantaciones campesinas han mejorado las condiciones de vida de los palmicultores mediante la generación de ingresos económicos y empleos. Sin embargo, no han sido un factor significativo para el desarrollo económico y social de las comunidades. Los campesinos enfrentan limitaciones para realizar un manejo adecuado de la palma de aceite y carecen de recursos para cubrir los costos de mantenimiento de las plantaciones y para expandir el cultivo. Por esta razón, las plantaciones campesinas tienen una baja intensidad de manejo, caracterizada por su escasa tecnificación y reducida productividad.

Palabras clave: Palma de aceite, Campesinos, Desarrollo Rural.

Abstract. Oil palm is the most economically valuable plantation crop in the tropics, and its rapid expansion has generated controversy worldwide. In Mexico, 85% of national production comes from smallholder plantations, mainly farmers in ejido communities. The government of the state of Campeche considers oil palm to be a strategic crop for rural development because of its capacity to create well-paid jobs and improve the living conditions of the inhabitants of rural communities. In recent years, this crop has grown in Campeche with a social approach, under a model of small-scale peasant plantations, with the objective of turning the state into the main producer of palm oil in Mexico. The objective of this work was to describe the socioeconomic characteristics of small-scale oil palm growers in Campeche and their production practices. A survey was applied to a representative sample of grower members of the Unión de Palmicultores del Milenio (n= 137), the main organization of oil palm growers in Campeche. The results indicate that peasant plantations have improved the living conditions of palm growers by generating income and employment. However, they have not been a significant factor in the economic and social development of the communities. Farmers face limitations in the adequate management of oil palm and lack the resources to cover the costs of plantation maintenance and to expand the crop. For this reason, peasant plantations have a low management intensity, characterized by low technology and low productivity.

Keywords: Oil Palm, Peasants, Rural Development.

¹Universidad Autónoma de Campeche, CEDESU, Campeche, Campeche, México.

*Autor para correspondencia: ricisaac@uacam.mx

1. Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es el cultivo de plantación con mayor valor económico del trópico (Henderson & Osborne, 2000). El aceite que se extrae de sus frutos es la fuente de aceite vegetal más importante del mundo en cuanto a producción, consumo y comercio (Meijaard et al. 2018). La palma de aceite es un cultivo agroindustrial dirigido a mercados de consumo masivo y tiene un alto potencial para obtener de ellos un importante valor agregado, tanto en la industria alimentaria como en la producción de oleoquímicos, combustibles y energía (SAGARPA, 2017). El cultivo de la palma de aceite es de largo plazo y exigente en términos de inversión, planeación, organización y competencias de trabajo (Palmelit, 2019).

México sobresale como uno de los países donde más rápido ha crecido la superficie sembrada de palma de aceite en términos relativos (Vijay et al., 2016). Durante los últimos cinco años, la superficie de palma de aceite se ha incrementado a una tasa entre 5 a 7% anual (aproximadamente 5 mil hectáreas/año) (SIAP, 2022). A pesar de ello, su aportación al mercado mundial de aceite de palma es incipiente. En 2019 la superficie sembrada del país alcanzó 108 690 ha, de las cuales 85 530 se encuentran en producción, con una productividad promedio de 13.9 ton de Racimos de Fruta Fresca (RFF) por hectárea (SIAP, 2022). El país produce solamente 61% del aceite de palma que demanda el consumo interno, y el resto se satisface con importaciones provenientes de Guatemala (40%), Costa Rica (24%) y Colombia (13%) principalmente (SAGARPA, 2017).

El estado de Campeche se ha convertido en la última década en una de las regiones palmeras más importantes del país. El gobierno del estado ha identificado a la palma de aceite como un cultivo estratégico para el desarrollo rural por su capacidad para generar empleos bien remunerados y mejorar las condiciones de vida de los pobladores de las comunidades rurales. Este cultivo ha crecido en Campeche en los últimos años con un enfoque social bajo un modelo de plantaciones campesinas a pequeña escala, con el cual se pretende convertir a la entidad en el principal productor de aceite de palma de México. Sin embargo, no hay estudios específicos sobre la manera como se ha desarrollado el cultivo en Campeche. El objetivo del trabajo es describir las características socioeconómicas de los pequeños productores de palma de aceite de Campeche, así como sus prácticas productivas.

2. Materiales y Métodos

Para realizar la caracterización socioeconómica y productiva de los palmicultores del estado de Campeche se aplicó una encuesta a los productores socios de la Unión de Palmicultores del Milenio (UPM), que es la principal organización de cultivadores de palma de aceite en la entidad. La encuesta abarca información socioeconómica de los productores y de la unidad familiar, uso del suelo de las parcelas campesinas, aspectos técnicos y de productividad de las plantaciones de palma de aceite, infraestructura y organización para producción, beneficios del cultivo entre otros. A partir de un listado proporcionado por la organización campesina, y tomando como unidad de muestreo a las Sociedades de Producción Rural (SPR) que integran la UPM, se calculó una muestra representativa de 30 SPR, las cuales fueron seleccionadas al azar, y se entrevistó a todos los productores miembros de cada una de ellas. Se encuestaron a un total de 137 palmicultores de 11 comunidades ejidales de los municipios de Carmen, Candelaria, Champotón y Escárcega.

3. Resultados y Discusión

La edad promedio de los productores de palma de aceite del sector social es de 56.7 años, con un rango de entre 28 a 92 años. Para menos de la mitad (43%), la palmicultura es su principal actividad productiva en función del tiempo dedicado, y para cerca de la tercera parte (31%) representa su actividad secundaria. Solamente una minoría (5%) se dedican exclusivamente a la palmicultura. Del total de productores cuya actividad principal es la palmicultura, 41% se dedica como actividad secundaria a los cultivos anuales y 36% a la ganadería. Para poco más de la tercera parte (38%), la venta de racimos de fruta fresca (RFF) es la principal fuente de ingreso económico para la unidad familiar, con un ingreso mensual promedio equivalente a 34.8 jornales (un jornal=150 pesos).

En la Figura 1 se muestra la mediana de la cobertura y uso de suelo de la unidad de producción agropecuaria de los palmicultores. El principal uso del suelo es la ganadería (54%) y la palma de aceite (44%), mientras que los cultivos anuales (maíz) ocupan una superficie marginal (2%). La edad promedio de las plantaciones es de 11 años. La mayoría de la superficie plantada (90%) se encuentra en producción.

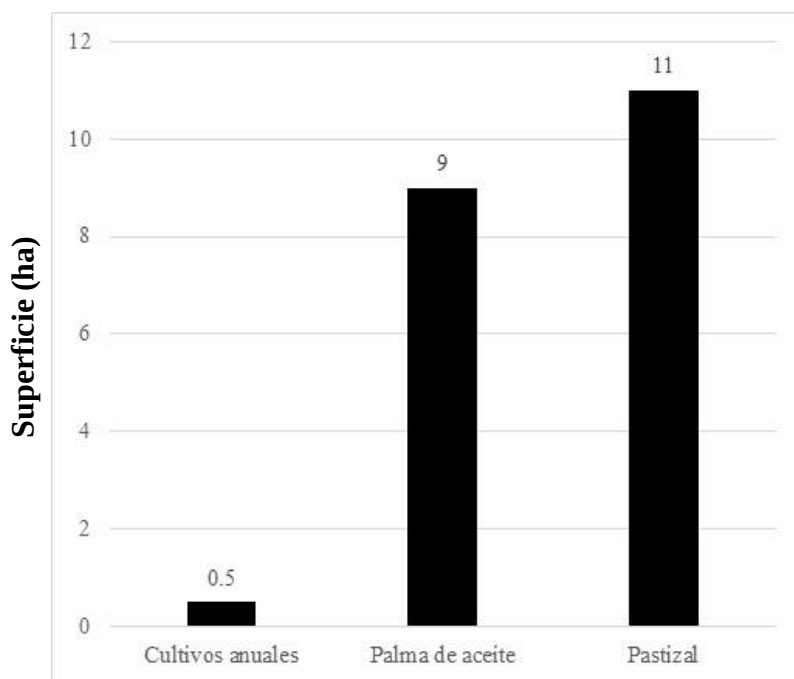


Figura 1. Superficie mediana (hectáreas) de uso y cobertura de suelo de la unidad de producción agropecuaria de los palmicultores.

La mayor parte de la superficie de las plantaciones (52%) se sembraron en áreas de pastos dedicadas con anterioridad a la ganadería extensiva. El valor agregado que le otorga la palma de aceite a la tierra es significativo. De acuerdo con los productores una hectárea de palma de aceite tiene un valor en el mercado de casi el doble en comparación con una superficie similar cubierta de pastos. La reconversión productiva al cultivo de palma de aceite se ha realizado sin contar con respaldo técnico formal. Una

tercera parte de los palmicultores (30%) indica que nunca ha recibido asesoría técnica por parte de alguna institución. El resto de los productores menciona haber recibido al menos una asesoría en la forma de charlas en campo o visita a parcelas demostrativas, y cerca de la mitad, además, en la manera de cursos o pláticas teóricas

Los palmicultores realizan un manejo de baja intensidad de sus plantaciones. El principal insumo utilizado es fertilizante, que poco menos de la mitad (43%) de los palmicultores aplicó el año previo a sus plantaciones. La cantidad aplicada de fertilizantes está muy por debajo de la recomendación técnica de la UPM. Poco más de la mitad (62%) realiza el control de las malezas (chapeo) de sus plantaciones y una cuarta parte (25%) lleva a cabo las podas de las palmas. Una quinta parte (20%) no realizó la cosecha de los frutos en el año previo. La infraestructura y el equipo que tienen los palmicultores es también limitado. La tercera parte (30%) carece de cuchillo malayo y cerca de la mitad (43%) no tiene caminos para sacar cosechas, y la mayor parte de los caminos existentes no tienen condiciones adecuadas para trasladar la cosecha en época de lluvias, cuando se alcanza los picos de producción de las plantaciones.

Dado el bajo uso de insumos, el principal rubro de inversión lo constituye la limpieza de las plantaciones con 35% de los costos. Le siguen en importancia la cosecha de frutos y su traslado, con 22% y 20% de los costos respectivamente. Se estima que los productores invirtieron en promedio en el manejo de las plantaciones el año previo, el equivalente a 36.05 jornales por hectárea. La mano de obra constituye 76% del total de inversión realizada por los palmicultores para el mantenimiento y manejo de las plantaciones (27.4 jornales/ha). El tipo de mano de obra utilizada en las plantaciones fue mayormente de la propia unidad familiar (60%), y el resto (40%) fue mano de obra contratada (jornaleo). De tal forma, que la mano de obra familiar representa 45.6% de la inversión total por hectárea realizada por palmicultores.

La productividad promedio, considerando aquellos palmicultores que tuvieron cosecha el año previo, es de siete toneladas de RFF por hectárea, muy por debajo de la media nacional (13.5 ton/ha). No obstante, el ingreso económico obtenido de las plantaciones es 70% mayor a lo generado en la ganadería extensiva y más del doble de lo obtenido por los cultivos básicos, de acuerdo con las estimaciones de los productores. Más de la tercera parte (35%) utilizaron intermediarios o acopiadores de empresas foráneas para comercializar la cosecha.

Los recursos económicos obtenidos del cultivo de palma de aceite se dirigen de manera prioritaria a satisfacer necesidades de consumo de la unidad familiar. No obstante, el uso de los recursos es más amplio e incluye gastos en educación y salud, compra de ganado, siembra de pastos y de cultivos entre otros. Sólo una tercera parte de los productores tienen como primera opción de uso, reinvertir parte de las ganancias en las plantaciones ya sea para mantenimiento o para comprar insumos.

Desde la perspectiva de los productores, la tendencia en la productividad de las plantaciones no ha sido favorable. La mitad de los productores (57%) indican que la productividad de sus plantaciones ha disminuido en los últimos diez años, debido principalmente a la edad de las plantaciones, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la carencia de recursos económicos para su manejo. Al ponderar la importancia de los beneficios recibidos del cultivo de la palma de aceite, menos de la mitad (40%) de los palmicultores valora al cultivo como una actividad que asegura el bienestar de la familia de una manera significativa (bastante o totalmente). A pesar de ello, la mayoría (80%) considera que el cultivo de palma de aceite puede beneficiar en un futuro a sus hijos en cuanto a

oportunidades de empleo y/o educación, principalmente debido a la generación de ingresos económicos durante todo el año y al largo periodo de productividad de las plantaciones.

4. Conclusiones

Los pequeños productores han integrado el cultivo de la palma de aceite a su estrategia productiva como una actividad complementaria generadora de ingresos. Las plantaciones campesinas tienen una baja intensidad de manejo en mano de obra y uso de insumos, y se caracterizan por su escasa tecnificación y reducida productividad. Los pequeños productores han carecido de asesoría y capacitación para el manejo adecuado de las plantaciones, así como de infraestructura productiva. A pesar de sus limitaciones, los ingresos económicos generados por las plantaciones resultan significativos en el contexto socioeconómico de las comunidades palmeras.

Los resultados del estudio de caso indican que hay ventanas de oportunidad importantes en materia de organización, crédito, capacitación y asesoría técnica para hacer más productivas las plantaciones campesinas y propiciar la consolidación del cultivo de palma de aceite como factor de desarrollo económico y social en las comunidades rurales.

Agradecimientos

Los resultados son parte de la investigación financiada por el CONACYT Clave: PDCPN_2015_324.

Referencias Citadas

- Henderson, J., Osborne, D. (2000). The oil palm in all our lives: how this came about. *Endeavour* (24), 63-68.
- Meijaard, E., Garcia-Ulloa, J., Sheil, D., Wich, S.A., Carlson, K.M., Juffe-Bignoli, D., y Brooks, T. M. (eds.). (2018). *Oil Palm and Biodiversity. A Situation Analysis by the IUCN Oil Palm Task Force*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Palmelit. (2019). *Manual del palmicultor*. Francia: PalmElit.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). *Palma de aceite mexicana. Planeación agrícola nacional 2017-2030*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.
- Servicio de información agropecuaria y pesquera (SIAP). (2022). Disponible en: <https://www.agricultura.gob.mx/datos-abiertos/siap> (Fecha de consulta: 10-I2023).
- Vijay, V., Pimm, S.L., Jenkins, C.N., Smith, S.J. (2016) The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. *PLoS ONE* 11 (7): e0159668.

Rendimiento, biomasa y distribución de cultivares de girasol

José Alberto Salvador Escalante-Estrada^{1,*}, Ma. Teresa Rodríguez-González¹, Yolanda Isabel Escalante-Estrada², Cid Aguilar-Carpio¹

Resumen. El girasol es un cultivo de interés mundial que está adquiriendo importancia económica en México debido a su uso como forraje, su semilla como fuente de aceite y para consumo animal. Los estudios sobre la acumulación y distribución de materia seca, indicadores de la fotosíntesis neta, son útiles para entender cómo se distribuye esta en la planta, dado que cada estructura tiene valor comercial. El objetivo del estudio, realizado bajo régimen de lluvia en Montecillo, Estado de México, en un clima templado y suelo de textura arcillosa, fue identificar cultivares de girasol con mayor biomasa y rendimiento para valles altos. La siembra del girasol (*Helianthus annuus* L.) se realizó el 17 de mayo, con una densidad de cinco plantas por metro cuadrado y una aplicación de 100-100-00 de NPK, empleando las variedades Odessyk, Sunbred, Peredovick y Contiflor. Durante el desarrollo del estudio, la temperatura máxima promedio fue de 26 °C y la mínima de 6 °C, con 383 mm de lluvia. La emergencia ocurrió a los nueve días de la siembra. Los cultivares mostraron diferencias en los días a floración y madurez fisiológica. La mayor biomasa se encontró en Contiflor (adecuado para forraje), seguido de Peredovick, Odessyk y Sunbred, lo que se relacionó con la duración del ciclo de crecimiento. Sin embargo, debido a su ciclo más largo, Contiflor sufrió déficit hídrico durante la etapa reproductiva, resultando en un índice de cosecha y rendimiento de aceite más bajos que Peredovick (109 g m⁻²), que tuvo el rendimiento más alto, seguido de Odessyk y Sunbred. Estas diferencias se relacionaron con el número de granos y el área del capítulo. El tamaño de grano fue similar entre cultivares, pero el contenido de aceite varió.

Palabras clave: Aceite, Rendimiento, Grano, Materia Seca.

Abstract. Sunflower is a crop of worldwide interest that is acquiring economic importance in Mexico due to its use as fodder, its seed as a source of oil and for animal consumption. Studies on dry matter accumulation and distribution, indicators of net photosynthesis, are useful to understand how dry matter is distributed in the plant, since each structure has commercial value. The objective of the study, carried out under rainfall in Montecillo, State of Mexico, in a temperate climate and clay-textured soil, was to identify sunflower cultivars with higher biomass and yield for high valleys. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) was planted on May 17, with a density of 5 plants per square meter and an application of 100-100-00 NPK, using Odessyk, Sunbred, Peredovick and Contiflor varieties. During the study, the average maximum temperature was 26 °C and the minimum was 6 °C, with 383 mm of rainfall. Emergence occurred nine days after sowing. Cultivars showed differences in days to flowering and physiological maturity. The highest biomass was found in Contiflor (suitable for forage), followed by Peredovick, Odessyk and Sunbred, which was related to the length of the growth cycle. However, due to its longer cycle, Contiflor suffered from water deficit during the reproductive stage, resulting in a lower harvest index and oil yield than Peredovick (109 g m⁻²), which had the highest yield, followed by Odessyk and Sunbred. These differences were related to kernel number and cap area. Grain size was similar among cultivars, but oil content varied.

Keywords: Oil, Yield, Grain, Dry Matter.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Botánica, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México.

*Autor para correspondencia: jasee@colpos.mx

1. Introducción

El girasol es un cultivo de interés mundial que está adquiriendo importancia económica en México, debido a su uso como forraje (Escalante et al., 2008), sus residuos para el control de maleza (Rodríguez et al., 1998), el aceite de las semillas puede utilizarse como aceite de cocina, preparación de margarinas, para consumo de aves y conejos, uso medicinal, ornato y recientemente para la producción de biodiesel (Biodiesel Uruguay, 2007). Por su parte, los estudios sobre la acumulación y distribución de materia seca que corresponde a la fotosíntesis neta (Escalante & Kohasi, 2015), son útiles para conocer cómo se distribuye ésta en la planta, debido a que cada estructura tiene valor comercial. De esta manera se podría realizar el estudio de acuerdo con el propósito de interés económico.

Estudios de Escalante et al. (2022), indican que el girasol cv. Victoria mejorado, presenta la mayor acumulación y distribución de materia seca en tallo, seguida del grano, receptáculo y hojas. Así, los estudios enfocados a incrementar la producción y calidad de este se justifican. El cultivo del girasol en clima templado de México no es común por lo que surge la necesidad de buscar cultivares que expresen su máximo crecimiento y rendimiento bajo estas condiciones. El objetivo de este estudio fue evaluar si existen diferencias entre cultivares de girasol en la fenología, producción de biomasa, su acumulación, distribución y rendimiento de grano y de aceite en esta región.

2. Materiales y Métodos

El estudio se estableció bajo condiciones de lluvia en Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 53' O y 2240 msnm) de clima templado (García, 2005). En un suelo de textura arcillosa, 2% de materia orgánica, pH 7.8 y sin problemas de salinidad. La siembra de girasol (*Helianthus annuus* L.) cultivares Odessyk, Sunbred, Peredovick y Contiflor fue el 15 de mayo, a la densidad de 5 plantas m⁻² (25 cm x 80 cm) en surcos con orientación este-oeste y fertilización de 100-100-00 de NPK. La mitad del nitrógeno y todo el fósforo se aplicaron antes de la siembra. El otro 50% de nitrógeno a la primera escarda (40 días después de la siembra). Los tratamientos fueron los cuatro cultivares de girasol: Odessyk, Sunbred, Peredovick y Contiflor. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para los elementos del clima se registró la temperatura máxima y mínima promedio durante el desarrollo del cultivo y la precipitación (mm) acumulada durante el ciclo del cultivo. En la fenología se registró los días a emergencia, floración y madurez fisiológica, de acuerdo con el criterio de Schneiter & Miller (1981).

A la cosecha, la producción de biomasa (BT, g m⁻²), el rendimiento de grano (RG, g m⁻²), el índice de cosecha con el planteamiento; $IC = [(RG / BT) \times 100]$, contenido de aceite (CA) en el grano (determinado por resonancia magnética nuclear), el rendimiento de aceite $RA = (RG \times CA)$, el área del capítulo (AC, cm²) y el número de granos por capítulo (NGC). Asimismo, se registró la acumulación (g m⁻²) de materia seca (AMS) en tallo (PT), hojas (PH), en receptáculo (PRECEP), en residuos (PRES) y el grano (PSG). La distribución (%) de materia seca (DMS) en las estructuras de la planta con el planteamiento: $Distribución (\%) = (materia\ seca\ en\ la\ estructura / la\ materia\ seca\ total) \times 100$. A las variables en estudio se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), la prueba de comparación de medias de Tukey y un análisis de correlación entre el rendimiento y sus componentes mediante el paquete SAS 9.0 (SAS, 2011).

3. Resultados y Discusión

Durante el desarrollo del estudio el promedio de temperatura máxima y mínima fue de 26 °C y 6 °C, respectivamente. La precipitación total fue de 383 mm. La emergencia fue a los nueve días después de la siembra (dds), la floración (R5) a los 93 días en Contiflor, 103 días en Sunbred, para Odesyk y Contiflor fue de 109 días y 114 días en Peredovick. La madurez fisiológica (R9) a los 121 dds en Odesyk, en Peredovick y Sunbred a los 135 y 141 dds en Contiflor.

En el Cuadro 1 se observa que la biomasa más alta se encontró en Contiflor, seguido de Peredovick, Odesyk y Sunbred y se relacionó con la duración del ciclo de crecimiento. Sin embargo, Contiflor por su ciclo más largo y el final del período de lluvias, fue sujeto de déficit hídrico más severo durante la etapa reproductiva, aunado al descenso de la temperatura, mostró un IC y RA más bajo (37 g m⁻²), en relación con Peredovick (109 g m⁻²) que fue más alto, seguido de Odesyk (84 g m⁻²) y Sunbred (60 g m⁻²). Dichos cambios se relacionaron con el NGC por capítulo (r = 0.87*) y el AC (r = 0.97**). Esto indica que para lograr mayor RG y RA se debe incrementar el AC y el NGC. Otras relaciones indican que la BT presentó una relación negativa con el IC (r = 0.70) y con el CA (r = 0.81*). Esto indica que, cuando la planta incrementa su acumulación de materia seca, disminuye el IC y el CA. El RG mostró una alta relación con el RA (r = 0.96**). El TG fue similar, el CA fue diferente entre cultivares.

Cuadro 1. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes de cuatro cultivares de girasol (*Helianthus annuus* L.). Montecillo, Estado de México.

Cultivar	Biomasa (g m ⁻²)	IC	RG (gm ⁻²)	CA (%)	RA (gm ⁻²)	NG (m ⁻²)	AC (cm ²)	NGC
Peredovick	1110 b	0.26 a	286 a	38 bc	109 a	4086 a	323 a	817 a
Odesyk	700 c	0.25 a	178 b	47 a	84 b	2543 b	307 a	509 b
Sunbred	642 c	0.21b	147 bc	41 b	60 c	2100 bc	208 b	420 bc
Contiflor	1437 a	0.07 c	102 c	36 c	37 d	1457 c	153 b	291 c
Media	985	0.20	178	40	71	2546	247	509
Prob. F	***	***	***	**	***	***	***	***
Tukey (0.05)	196	0.04	35	3	14	672	78	134

***, **, * P < 0.001, 0.01, 0.005 respectivamente. NS = No significativo. En las columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales (DMS 0.05). IC = índice de cosecha; RG = rendimiento de semilla; CA = Contenido de aceite del grano (%); RA = Rendimiento de aceite; NG = número de granos; AC = área del capítulo; NGC = número de granos por capítulo.

En el Cuadro 2, se presenta la AMS en las estructuras de la planta. En los cultivares en estudio la mayor AMS correspondió al tallo, seguido del grano, a excepción de Contiflor donde fue mayor en el receptáculo y después en el grano, debido a que por su ciclo más largo estuvo bajo condiciones de estrés hídrico más severo generado por la más baja cantidad de lluvia, además de la baja temperatura en la etapa reproductiva que limitó el llenado del grano. En el resto de los cultivares siguió en materia seca el receptáculo; los residuos y por último las hojas. En cada estructura se encontraron diferencias significativas debido a los cultivares en estudio (Cuadro 2). La mayor AMS en tallo, hojas y receptáculo correspondió a Contiflor. La más baja en hojas correspondió a Odesyk y Sunbred. En

cuanto al receptáculo la más alta correspondió a Peredovick y Contiflor, seguido del resto de los cultivares. En el grano la más alta AMS se encontró en Peredovick, seguido de Odessyk y Sunbred. El peso del grano más bajo correspondió a Contiflor. En cuanto a la materia seca total la más alta se encontró en Contiflor, seguido de Peredovick. La más baja correspondió a Sunbred y Odessyk (Cuadro 2). Estos resultados indican, que el cultivar Contiflor por su mayor AMS puede ser utilizado para fines forrajeros.

Cuadro 2. Biomasa y su asignación en las diferentes estructuras de la planta de cuatro cultivares de girasol (*Helianthus annuus* L.). Montecillo, Estado de México.

Cultivar	PT (g m ⁻²)	PH (g m ⁻²)	PREC (g m ⁻²)	PRES (g m ⁻²)	PSG (g m ⁻²)	Biomasa (g m ⁻²)
Peredovick	348 b	134 b	213 a	127 a	286 a	1110 b
Odessyk	207 b	77 c	153 b	85 b	178 b	700 c
Sunbred	254 b	80 c	127 b	83 b	147 b	642 c
Contiflor	860 a	208 a	174 ab	93 b	102 c	1437 a
Media	417	125	167	97	178	985
Prob.F	***	***	*	**	***	***
Tukey (0.05)	129	42	55	50	35	196

***, **, * P < 0.001, 0.01, 0.005 respectivamente. NS = No significativo. En las columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales (DMS 0.05). PS = peso seco; PT = PS tallo; PH = PS hoja; PREC = PS receptáculo; PRES = PS residuos; PSG = PS grano.

La DMS presentada en la Figura 1, indican los cambios entre los cultivares en estudio. En general, el mayor porcentaje de materia seca se encontró en tallo seguido de grano, receptáculo, hojas y residuos. Tendencias semejantes fueron reportadas por Escalante et al. (2022). Contiflor superó al resto de los cultivares en todas las estructuras excepto en grano. La mayor DMS en grano se encontró en Peredovick, seguido de Odessyk y Sunbred. La más baja correspondió a Contiflor.

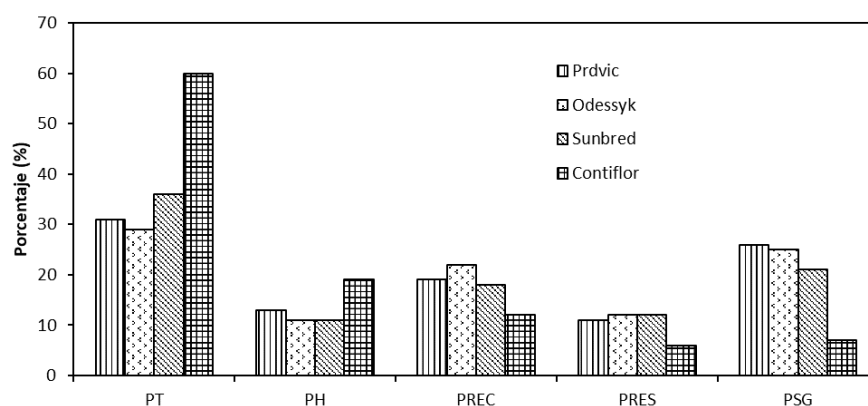


Figura 1. Distribución (%) de materia seca en diferentes estructuras de la planta de cultivares de girasol. Montecillo, Estado de México. Verano. PT = tallo; PH = hoja; PRES = residuos; PSG = grano.

4. Conclusiones

Los cultivares en estudio presentan diferencias en los días a ocurrencia etapas fenológicas, en la producción de biomasa, su acumulación y distribución en la planta, en producción de biomasa sobresalen Contiflor y Peredovick. El orden de acumulación y distribución es: el tallo, grano, receptáculo, hojas y residuos. En cuanto al rendimiento de grano y aceite Peredovick es el que presenta mayor rendimiento en grano y de aceite y el más bajo Contiflor. Los componentes de mayor relación con el rendimiento con el área del capítulo y el número de granos por capítulo. Los cultivares presentan diferencias en el contenido de aceite. Odessyk presenta mayor contenido de aceite, a diferencia de Contiflor que presentó el contenido más bajo.

Referencias Citadas

- Biodiesel Uruguay. (2007). Rendimiento de cultivos oleaginosos por hectárea aptos para biodiesel (en línea). Consultado 27 octubre 2007. www.ergomix.com.
- Escalante-Estrada, L. E., Escalante, E. Y. I., Linzaga, E. C. (2008). Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*, 32(2): 177-182.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Kohashi-Shibata, J. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol: manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Estado de México. 84 p.
- 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. *Rev. Cienc. Agron. Apl. Biotecnol.*, 3:58-63
- García, E. L. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.
- Rodríguez, G. Ma. T., Escalante, E. J. A. S., Aguilar, L. (1998). Control de maleza con productos de girasol (*Helianthus annuus* L.). *Memorias del XIX Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza*. Mexicali BC. México. pp: 24-26.
- SAS Institute Inc. (2011). SAS®93 Guide to Software updates. Cary. NC: SAS Institute Inc.
- Schneider, A. A. & Miller, J. (1981). Description of sunflower stages. *Crop Sci*, 21: 901-903.

Análisis nutrimental de tallarines elaborados con harina de plátano macho y banano mezcladas con chaya

Miriam Sánchez-de Dios^{1,*}, Juan Carlos Aguilar-Arpaiz¹, José Alfredo Jiménez-Juárez¹, Carolina Vázquez-Hernández¹, Josafat Alberto Hernández-Becerra², Gerónimo Arámbula-Villa³

Resumen. Los tallarines son consumidos como fuente de energía tanto por atletas como por personas en general. El objetivo fue realizar el análisis sensorial y la declaración nutrimental de los tallarines de plátano banano con chaya (TPBC) y de plátano macho con chaya (TPMC). Se evaluaron el color, aroma, masticabilidad, sabor y agrado global utilizando la prueba hedónica de siete puntos a 100 panelistas no entrenados, siguiendo la norma NMX-F-023-NORMEX-2002 y la NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Se obtuvo un grado de aceptación de 4: no me gusta ni me disgusta. Para los TPBC, los valores fueron 4.25 ± 1.54 (color), 4.63 ± 1.83 (aroma), 4.22 ± 2.94 (masticabilidad), 3.97 ± 2.00 (sabor) y 4.10 ± 1.35 (agrado global). Para los TPMC, los valores fueron 3.37 ± 1.49 (color), 3.41 ± 1.62 (aroma), 4.25 ± 1.32 (masticabilidad), 3.16 ± 1.55 (sabor) y 3.78 ± 1.36 (agrado global). Los valores nutrimentales de TPBC fueron 49.6221 kcal, 5.08 g de proteína, 1.39 g de grasas totales, 4.17 g de hidratos de carbono disponibles, 9.33 g de fibra dietética, 168.28 mg de sodio, 5% de humedad y 3.6% de ceniza. Para TPMC, los valores fueron 34.2417 kcal, 4.21 g de proteína, 0.87 g de grasas totales, 2.37 g de hidratos de carbono disponibles, 7.89 g de fibra dietética, 185.70 mg de sodio, 4% de humedad y 3% de ceniza. Los tallarines cumplen con la aceptación de los panelistas y con la norma de etiquetado.

Palabras clave: Agrado Global, Color, Masticabilidad.

Abstract. Noodles are consumed as a source of energy by athletes and people in general. The objective was to perform the sensory analysis and nutritional declaration of plantain banana with chaya (TPBC) and plantain male with chaya (TPMC) noodles. Color, aroma, chewiness, flavor and overall liking were evaluated using the seven-point hedonic test to 100 untrained panelists, following NMX-F-023-NORMEX-2002 and NOM-051-SCFI/SSA1-2010. An acceptance grade of 4 was obtained: I neither like nor dislike. For TPBC, the values were 4.25 ± 1.54 (color), 4.63 ± 1.83 (aroma), 4.22 ± 2.94 (chewiness), 3.97 ± 2.00 (flavor) and 4.10 ± 1.35 (overall liking). For TPMC, the values were 3.37 ± 1.49 (color), 3.41 ± 1.62 (aroma), 4.25 ± 1.32 (chewiness), 3.16 ± 1.55 (flavor) and 3.78 ± 1.36 (overall liking). The nutritional values for TPBC were 49.6221 kcal, 5.08 g protein, 1.39 g total fat, 4.17 g available carbohydrate, 9.33 g dietary fiber, 168.28 mg sodium, 5% moisture and 3.6% ash. For TPMC, the values were 34.2417 kcal, 4.21 g protein, 0.87 g total fat, 2.37 g available carbohydrate, 7.89 g dietary fiber, 185.70 mg sodium, 4% moisture, and 3% ash. The noodles meet panelists' acceptance and labeling standard.

Keywords: Overall Taste, Color, Chewiness.

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, Tabasco, México.

²Universidad Tecnológica de Tabasco, Tabasco, México.

³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Cinvestav-Unidad Querétaro, Qro., México.

*Autor para correspondencia: miriam.sd@regionsierra.tecnm.mx ; jcaguilar_81@hotmail.com

1. Introducción

Los alimentos que son consumidos de manera tradicional, cocidos, fritos, machacados o como forma de acompañamiento son el plátano macho (*Musa balbisiana*), el plátano banano Enano Gigante (*Musa cavendish*) y la chaya (*Cnidoscalus aconitifolius*) (Rekha, 2016). Una forma de aprovechar estas materias primas es con la obtención de harina; por ejemplo, los plátanos verdes como describió Flores et al. (2004). Esta harina provee muchos beneficios para la salud, como el control de los niveles del colesterol, mejora el estado de ánimo, regula los niveles de azúcar en la sangre, aumenta la sensación de saciedad, mejora el funcionamiento del intestino, previene el cáncer de intestino, mejora el estreñimiento, previene calambres musculares, previene enfermedades del corazón y acelera el metabolismo entre otras cosas (Herrera, 2011). Las características sensoriales de la pasta cocinada se pueden evaluar a través del tiempo de cocción, la firmeza, la elasticidad, la pegajosidad, de forma manual y visualmente (Brennan, 2005).

Por su parte, Lin & Pascall (2012) mencionan que la adherencia se puede conocer con el movimiento de la pasta cuando se coloca sobre la lengua sin ser masticada. Además, Cerritos y Villacorta (2017) comentan sobre la consistencia o jugosidad, que es la capacidad que tiene la pasta de liberar agua al ser masticada dos veces con los molares y la pastosidad es la rapidez con la que una pasta forma una masa al ser masticada más de dos veces.

En la elaboración tradicional de la pasta se usa la sémola de trigo duro, que presenta mayor cantidad de gluten que el trigo común, lo que la dota de elasticidad (Escalante et al., 2019). Los espaguetis, macarrones, tallarines, fusilli entre otros, forman parte de la dieta cotidiana de muchos hogares, todos ellos tienen en común la masa de harina, mezclada con agua y sal. La pasta tradicional por cada 100 gramos, su valor nutritivo es de: 375 kcal de calorías, 12 g de proteína, 1.8 g de grasa, 75.8 g de hidratos de carbono, 4 g de fibra, 25 mg de calcio, 1.6 mg de hierro, 53 mg de magnesio, 1.5 mg zinc, 230 mg de potasio, 180 mg de potasio y 180 mg de fósforo.

El objetivo de este trabajo es obtener la tabla nutrimental y el análisis sensorial de los tallarines a partir de harina de plátano macho (*Musa balbisiana*), harina de plátano banano Enano Gigante (*Musa cavendish*) mezclada con harina de chaya (*Cnidoscalus aconitifolius*).

2. Materiales y Métodos

Las harinas de plátano macho y plátano banano se obtuvieron de la pulpa comestible del plátano verde o inmaduro con grado de madurez número 2, lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio a 50 ppm, troceado a 2.5 mm; se realizó un pretratamiento de ácido cítrico de 1 % por 2 minutos, para luego deshidratarlo a 80 °C por 2 horas y reducir su tamaño a número de tamiz 60 con el molino de corte Scorpion con la metodología modificada de Pacheco et al. (2007), en los laboratorios y talleres del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, que se encuentra ubicado en la carretera Teapa-Tacotalpa Km.4.5 Teapa, Tabasco. También, se realizó la pasta para elaborar los tallarines con la metodología modificada de Pinto (2010) donde se adicionó 1.65 % de carboximetil celulosa que tiene un fuerte comportamiento adhesivo, aporta viscosidad y buenas propiedades para formar los tallarines con el tercer nivel de abertura del equipo manual y con una longitud de 30 cm, para posteriormente secarlo a 80 °C por 2 horas. En las formulaciones se usó 82.65 % para la harina de plátano macho y para la harina de plátano banano, harina de chaya 8.27 % y almidón 7.43 %.

La evaluación sensorial de los tallarines se efectuó con 100 panelistas no entrenados (consumidores), aplicando una metodología subjetiva basada en una prueba de nivel de agrado o grado de satisfacción, con una escala hedónica estructurada en 7 puntos: 1. Me disgusta extremadamente, 2. Me disgusta, 3. Me disgusta levemente, 4. No me gusta ni me disgusta, 5. Me gusta levemente, 6. Me gusta y 7. Me gusta extremadamente con la norma NMX-F-023-NORMEX-2002 para alimentos-pasta-características, denominación, clasificación comercial y métodos de prueba. Además, se realizó el análisis de color con el colorímetro Minolta CHROMA METER CR-210 de acuerdo con la norma ISO-12647 para diferencia del Delta E entre dos colores en el laboratorio del Cinvestav-Unidad Querétaro, el aroma, la masticabilidad y el sabor.

Para el etiquetado se empleó la norma NOM-051-SCFI/SSA1-2010 de las especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria con las medidas que correspondan al Sistema General de Unidades de Medida NOM-008-SCFI-2002. Teniendo como obligación declarar a) Contenido energético, b) La cantidad de proteínas, c) La cantidad de hidratos de carbono o carbohidratos disponibles, indicando la cantidad correspondiente a azúcares, d) La cantidad de grasas o lípidos, especificando la cantidad que corresponda a grasa saturada, e) La cantidad de fibra dietética, f) La cantidad de sodio, g) La cantidad de cualquier otro nutrimento acerca del cual se haga una declaración de propiedades y h) La cantidad de cualquier otro nutrimento que se considere importante, regulado por los ordenamientos jurídicos aplicables.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químicos General en la Universidad Tecnológica de Tabasco, para la proteína con el método de Kjeldahl multiplicado por el factor de 5.7 según Norma mexicana la NMX-F-608-NORMEX-2011, el extracto etéreo o grasas por la técnica de Soxhlet de acuerdo al Método Oficial de la AOAC 996.06 Rev. (2000) adaptado al equipo de sistema de extracto BUCHI modelo B-811 (BUCH bortechnik AG. Suiza), hidratos de carbono o azúcares reductores directos y totales se empleó la Norma mexicana NOM-086-SSA 1-1994, fibra dietética con la Norma mexicana NMX-F-622-NORMEX-2008 adaptando el equipo para determinar fibra FIBERTECTM 1023, sodio con la Norma mexicana NOM-086-SSA 1-1994 AN C5 adaptando el equipo FLAMOMETRO M 401, humedad por el método de la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA 1-1994 y ceniza con la Norma mexicana NMX-F607-NORMEX-2013 donde se empleó una mufla Thermolyne F1500 FD 1535 (Barnstad Thermolyne, USA).

3. Resultados y Discusión

En el análisis sensorial se obtuvo un grado de aceptación 4 que representa “no me gusta ni me disgusta” para los tallarines de plátano banano con chaya y de 3 “me disgusta levemente” para los tallarines de plátano macho con chaya, respectivamente, al compararlo con el tallarín comercial se obtuvo un grado de aceptación 5, es decir “me gusta levemente” en relación a los parámetros de aroma, masticabilidad y sabor (Cuadro 1). En este análisis, el color está dentro de los valores de Delta E de 0 a 10 donde se pudo obtener una calidad excelente según la norma ISO-12647 y mejor que los datos que presentó Hernández (2011) con una calidad de buena (19.52) y normal (21.47).

Cuadro 1. Promedio y desviación estándar (D.E) del análisis sensorial de las pastas.

Tratamiento	Atributos				
	Color ± D. E	Aroma ± D. E	Masticabilidad ± D. E	Sabor ± D. E	Agrado global ± D. E
TPBC	4.25 ± 1.54	4.63 ± 1.83	4.22 ± 2.94	3.97 ± 2.00	4.10 ± 1.35
TPMC	3.37 ± 1.49	3.41 ± 1.62	4.25 ± 1.32	3.16 ± 1.55	3.78 ± 1.36
Comercial	5.49 ± 1.13	5.36 ± 1.30	5.45 ± 1.92	5.61 ± 1.37	5.46 ± 1.01

Nota. TPBC: Tallarín de plátano banana con chaya. TPMC: Tallarín de plátano macho con chaya.

El etiquetado nutricional de los tallarines se elaboró en base a la NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010 de las especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria, con el formato y completando los requisitos que son obligatorios, como: contenido energético, proteínas, grasas (lípidos), carbohidratos (hidratos de carbono), fibra dietética y sodio. Se declararon los valores por porción de 100 gramos de producto y se anexó el porcentaje de humedad y el porcentaje de ceniza (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tabla nutrimental de los tratamientos de tallarín de plátano banana con chaya (TPBC) y tallarín de plátano macho con chaya (TPMC).

Información nutrimental	Declaración nutrimental Tamaño de porción 100 g		Rangos de aceptación
	TPBC	TPMC	
Contenido energético	49.6621 kcal	34.2417 kcal	275 kcal
Proteína	5.08 g	4.21 g	-
Grasas totales	1.39 g	0.87 g	8 g
Grasas saturadas	0 g	0 g	
Grasas trans	0 mg	0 mg	
Hidratos de carbono disponible	4.17 g	2.37 g	100 g
Azúcares	4.17 g	2.37 g	
Azúcares añadidos	0 g	0 g	
Fibra dietética	9.33 g	7.89 g	-
Sodio	168.28 mg	185.70 mg	350 mg
Humedad	5 %	4 %	-
Ceniza	3.6 %	3 %	-

De acuerdo a la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 se obtuvieron valores por debajo del rango de aceptación para los dos tallarines y se encontró diferencia entre la cantidad de sodio, pero por debajo a como menciona Escalante et al. (2019) que encontró 230 mg de sodio para una pasta tradicional, mientras que, en los otros valores de proteínas, grasas totales, hidratos de carbono disponible y fibra dietética, se obtuvieron pequeñas diferencias de valores determinados. En la humedad se reportó valores por debajo de lo norma NMX-023-S-1980 & Hernández (2011) quien describió valores de 14 % y rango

de 11.31 % y 12.24 %, respectivamente. De igual forma, Pacheco-Delahaye (2007) encontró un contenido de humedad de 4.40 % y 4.69 % en sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde y 6.61 % en sopa comercial, valores cercanos a lo que se obtuvo en este trabajo. En cenizas Hernández (2011) reportó 2 % para los tallarines de plátanos macho. Por otro lado, Hernández (2011) reporta un valor de 7.68 % en proteínas para los tallarines elaborados con camote esto, debido a que se empleó huevo, siendo más alto a lo que se reportó de 4.21 % para este trabajo.

Habiendo obtenido las tablas nutricionales se procedió a elaborar la etiqueta, respetando puntos importantes como imágenes propias, nombre de marca con eslogan, tabla nutrimental, lote, contenido neto, ingredientes, modo de preparación o uso y recomendaciones, de igual manera se respetó los sellos y leyendas precautorias, marcadas en el manual de modificación de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 dadas por la COFEPRIS, que como resultado no fue necesario el uso de estos ya que los valores obtenidos no sobrepasan los valores máximos dados por la norma empleada (Figura 1).

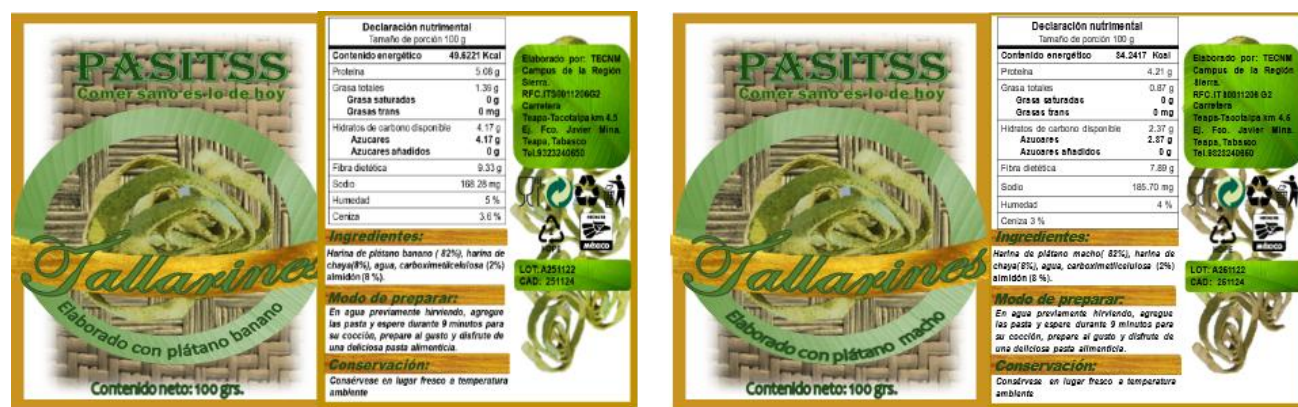


Figura 1. Parte delantera y trasera de la etiqueta de tallarín de plátano banana (Imágenes izquierda). Parte delantera y trasera de la etiqueta de tallarín de plátano macho (Imágenes derechas).

4. Conclusiones

Con la metodología planteada se obtuvieron tallarines con un grado de aceptación favorable para el consumidor y se reconoce que hay que difundir el producto. En los análisis determinados se cumple con un nuevo producto con la norma del etiquetado para alimentos siendo no necesarios los sellos y leyendas.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de Tabasco por lo análisis fisicoquímicos y al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Cinvestav-Unidad Querétaro por la determinación del color. También se agradece al Ingeniero Gerardo Adrián Méndez de la Fuente por ser parte del proceso asignados en las instituciones para participar en el proceso de los tallarines, la determinación de los análisis y el diseño de los empaques.

Referencias Citadas

- Brennan C. S. (2005). Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, 560-570.
- Cerritos Motto O. E., Villacorta Cartagena J. F. (2017). Elaboración de un snack a base de harina de Sorgo (*Sorghum bicolor*) fortificado con chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* chayamansa) como alternativa nutritiva en la agroindustria de El Salvador. Antiguo Cuscatlán, Salvador.
- Escalante G. V. A., Escobar R. A. y González J.A. (2019). Beneficios de los alimentos funcionales. Recuperado el 18 de octubre del 2022, de: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/beneficiosdeconsumodealimentosfuncionale>.
- Flores G., E., García S., F.J. Flores H., E., Núñez S., M.C., González S., R.A. y Bello P., L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. Nota. *Acta Científica Venezolana*, 55
- Hernández García A.M. (2011) Caracterización de pasta adicionada con harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y camote (*Ipomea batatas*) para la elaboración de tallarín (Tesis profesional). Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra.
- Herrera, V. (2011). Influencia de las harinas de trigo, banano y haba en la elaboración de galletas integrales, Universidad técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Lin S. y Pascall M. (2012). Incorporation of vitamin E into chitosan and its effect on the film forming solution (viscosity and drying rate) and the solubility and thermal properties of the dried film, *Food Hydrocolloids*: Available online (In Press).
- Pacheco, Delahaye, Emperatriz y Testa, Giusepina. INCI [online]. (2007), 30(5), 300-304.
- Pinto, L. (2010). Caracterización de los atributos de calidad durante el almacenamiento del banano verde (*Musa cavendish*) mínimamente procesado impregnado al vacío con soluciones antiparadeantes. Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de ciencias agropecuarias universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín, Colombia. 16pg.
- Rekha A. (2016) History, Origin, Domestication, and Evolution. In: Mohandas S., Ravishankar K. (eds) *Banana: Genomics and Transgenic Approaches for Genetic Improvement*. Springer, Singapore. Pp. 3-11.

Acanthoscelides obtectus (Say) Coleoptera: Chrysomelidae: Un problema mundial

Susana Martínez-Martínez^{1,*}, Maribel Rivero-Borja², Aracely Urrieta-Martínez³

Resumen. El frijol es uno de los principales cultivos en varias partes de México y en otros países por motivos económicos y socio-culturales, sin embargo, este cultivo se ve severamente afectado por enfermedades y plagas, como el escarabajo común del frijol (*Acanthoscelides obtectus*), ya que las mayores pérdidas ocurren durante el almacenamiento, las larvas perforan los granos de frijol, al hacer esto provoca lesiones que imposibilitan la germinación de las semillas y por consiguiente la contaminación del grano para consumo. En este escrito de revisión se habla del escarabajo común del frijol, su ciclo biológico, los daños que este provoca en la planta y de los diferentes métodos de control como una alternativa dentro de un manejo integrado de plagas.

Palabras clave: Escarabajo Común, Manejo, Métodos de Control.

Abstract. Beans are one of the main crops in various parts of Mexico and in many countries for economics and socio-cultural motives. However, this crop is severely affected by diseases and pests, such as the common bean beetle (*Acanthoscelides obtectus*). The greatest losses occur during storage, as the larvae bore into the bean grains, causing injuries that hinder seed germination and consequently contaminate the grain for consumption. This review discusses the common bean beetle, its life cycle, the damage it causes to the plant, and various control methods as an alternative within integrated pest management.

Keywords: Common Beetle, Management, Control Methods.

1. Introducción

El frijol *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae), es uno de los cultivos básicos más importantes en la agricultura, no sólo en México, sino también en Brasil, India, Myanmar, Estados Unidos y China (Ayala Garay et al., 2021). Desde tiempos ancestrales este cultivo junto con el maíz y la calabaza constituyen la dieta base del mexicano (Armenta-López et al., 2021), ya que es parte importante en la alimentación y fuente de nutrientes desde la época prehispánica hasta la actualidad (Aguilar-Benítez et al., 2012). México ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie de siembra y sexto en producción en el ciclo 2021 aportando el 68.54 % de la producción nacional (Ávila-Miramontes et al., 2014). Los principales estados productores de frijol son Zacatecas, Sinaloa, Nayarit y Chiapas (Armenta-López et al., 2021). Se ha reconocido a México como el más probable centro de origen del frijol (Ulloa et al., 2011), o al menos, como el lugar primario de diversificación (Ávila-Miramontes et al., 2014) ya que el cultivo se encuentra distribuido en los cinco continentes especialmente en la parte de Centroamérica y Sudamérica (Aguilar-Benítez et al., 2012). Algunos de los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica indican que se conocía hace 5000 años a.C. Debido al interés del hombre por esta

¹Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT-EDOMEX, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: susyeid11@gmail.com

leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de formas y en consecuencia nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao (Ulloa et al., 2011).

Para los consumidores y productores de frijol, las características como la calidad del grano, el alto rendimiento, la resistencia a enfermedades y plagas son importantes (Mederos, 2006), ya que éstas últimas ocasionan pérdidas en la mayoría de las áreas productoras, tal es el caso de *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Parsons & Credland, 2003), que presenta amplia distribución en los Valles Altos de México, y en zonas tropicales. Este insecto está catalogado como plaga primaria por el tipo de daño que ocasiona, debido a que se han reportado pérdidas en campo del 20 %, mientras que en granos almacenados puede afectar hasta el 100 % (Nava Pérez et al., 2010; Ramírez & Suris, 2015; Vera-Graziano & Cruz-Izquierdo, 2016; Sayed et al., 2018; Castañeda et al., 2021). La severidad del daño y los parámetros poblacionales de *A. obtectus* varían principalmente dependiendo del cultivar del frijol, la dureza de la testa del grano y los antibióticos presentes de forma natural en los cotiledones (Vera-Graziano & Cruz-Izquierdo, 2016). Por ello, la gran mayoría se recurre a productos químicos para su control (Ramírez & Suris, 2015), sin embargo, este resulta poco efectivo debido a que el control de la plaga es difícil y requiere un método complejo que incluye: protección de cultivos, uso de cultivares tolerantes a plagas, todo ello, debe comenzar en los campos de frijol ya que está dirigido contra los adultos de escarabajos (Yankova & Sofkova, 2013). Tomando en cuenta las consideraciones ambientales para el control de esta plaga, es importante realizar un manejo integrado, y una excelente opción es utilizar el manejo biológico. Por la importancia del cultivo para nuestro país, es de gran relevancia conocer, estudiar e integrar las prácticas de manejo que aseguren el mejor desarrollo de este cultivo.

2. Escarabajo común de la semilla del frijol (*Acanthoscelides obtectus*)

El escarabajo común de la semilla del frijol [*Acanthoscelides obtectus* (Say) Coleoptera: Chrysomelidae], a veces llamado incorrectamente como gorgojo (Figura 1), es un escarabajo del orden Coleoptera, familia Chrysomelidae, subfamilia Bruchidae, es de origen neotropical (Castañeda et al., 2021). En el mundo es reconocida como una de las plagas de mayor importancia ya que los estados inmaduros de este escarabajo se alimentan de semillas de alrededor de 34 familias de plantas principalmente leguminosas y tienen un gran impacto en las áreas agroalimentarias (Ramírez & Suris, 2015), afectando a la familia Fabaceae, específicamente al género *Phaseolus*, incluyendo las especies: *Phaseolus vulgaris* L., *P. lunatus*, *P. lunatus macrocarpus* Benth, *P. coccineus*, *P. acutifolius latifolius*, *P. calcaratus*, *P. aconitifolius* y *P. aureus*) (Vera-Graziano & Cruz-Izquierdo, 2016; Castañeda et al., 2021), además de otras plantas como: *Vigna sinensis*, *Lupinus albus* L., *Zea mays* y *Fagopyrum esculentum* Moench, *Vigna sesquipedalis* L., *Pisum sativum* L., *Cicer arietinum* L., *Vicia faba* L., *Lathyrus sativus* L., *Cajanus indicus* Spreng., *Lens esculentum* Moench y *Vigna sinensis* (Armenta-López et al., 2021).

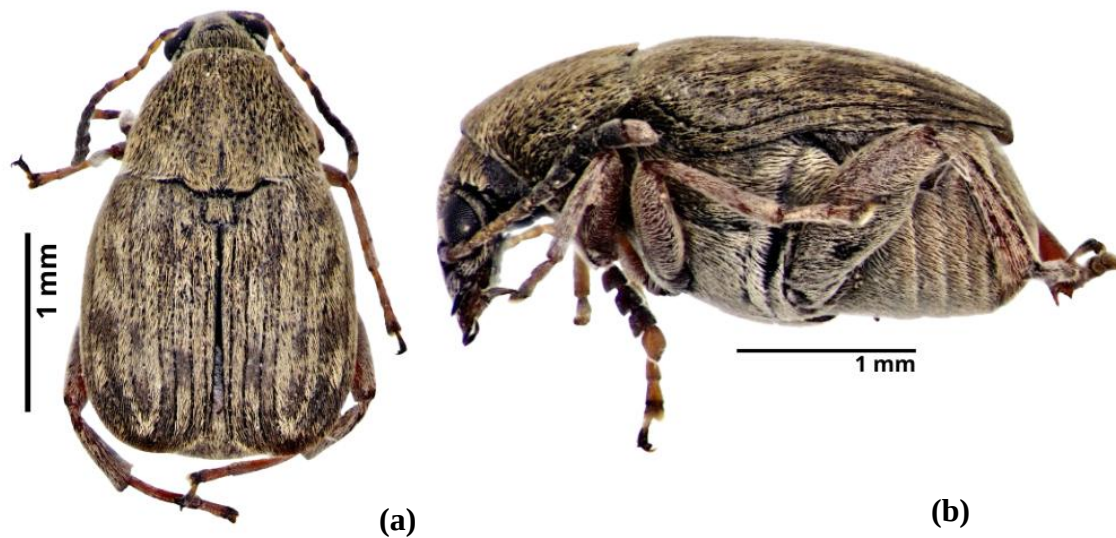


Figura 1. Escarabajo común de la semilla del frijol-*Acanthoscelides obtectus*, (a) vista dorsal, (b) vista lateral.

2.1 Ciclo de vida

El escarabajo inicia su ciclo biológico en huevo, larva, pupa y adulto, a este proceso se le denomina metamorfosis completa (Zumado & Azofeifa, 2018). Los huevos son elipsoidales y ligeramente alargados de color gris plateado, presentan ornamentaciones de forma circular irregular y un corión muy delgado, estos son ovipositados por las hembras (aproximadamente 12 huevos) (Sayed et al., 2018) dentro de las vainas de frijol, la duración del período de incubación es de 6 días (Ramírez y Suris, 2015). Las larvas, son apodas, de color blanco cremoso, con abdomen curvado hacia el lado ventral. En el caso de las de primer estadio son móviles y se mueven entre las semillas hasta que seleccionan una para penetrar; y a su vez estas serán el huésped de las siguientes etapas de desarrollo, para finalmente salir como adultos, así, las hembras determinan la zona, pero no la semilla particular, en la que se desarrolla cada uno de sus descendientes (Parsons & Credland, 2003). Las pupas miden 3.5-3-8 mm (Sayed et al., 2018) son de color amarillo con formaciones de ojos compuestos, patas, alas y abdomen (Castañeda et al., 2021). El estado de larva-pupa dura entre 27 y 28 días (Ramírez & Suris, 2015). Los adultos miden de 2.9-3.2 mm (Sayed et al., 2018) y presentan un cuerpo alargado y ovoide, ligeramente convexo, de color café claro a oscuro, con finas setas de coloración amarillo dorado a amarillo castaño, también presenta manchas longitudinales en el dorso, con setas gruesas de color gris claro a castaño. Sus alas son pequeñas y cortas, de color marrón a gris oscuro, y no llegan a cubrir el extremo abdominal. Su pronoto es más ancho que largo. Presentan un par de antenas de forma clavada a aserrada, cuyos primeros 4-5 segmentos son de color marrón rojizo, y los últimos segmentos de forma aserrada. Las patas son de color marrón claro amarillento a negro, con presencia de abundantes setas. La cabeza presenta ojos compuestos de color marrón rojizo a gris oscuro y un aparato bucal masticador de color gris oscuro a negro (Castañeda et al., 2021). La longevidad del adulto es de 18 y

19 días (Ramírez & Suris, 2015). Se pueden encontrar hasta cuatro ciclos biológicos de *A. obtectus* en un año, debido a que la duración del ciclo desde la puesta del huevo hasta la muerte del adulto se completa en 52 días (Ramírez & Suris, 2015), dependiendo de las condiciones ambientales (temperatura de 30 °C y Humedad relativa de 70 %) en un año se pueden presentar hasta cuatro ciclos biológicos (Parsons & Credland, 2003).

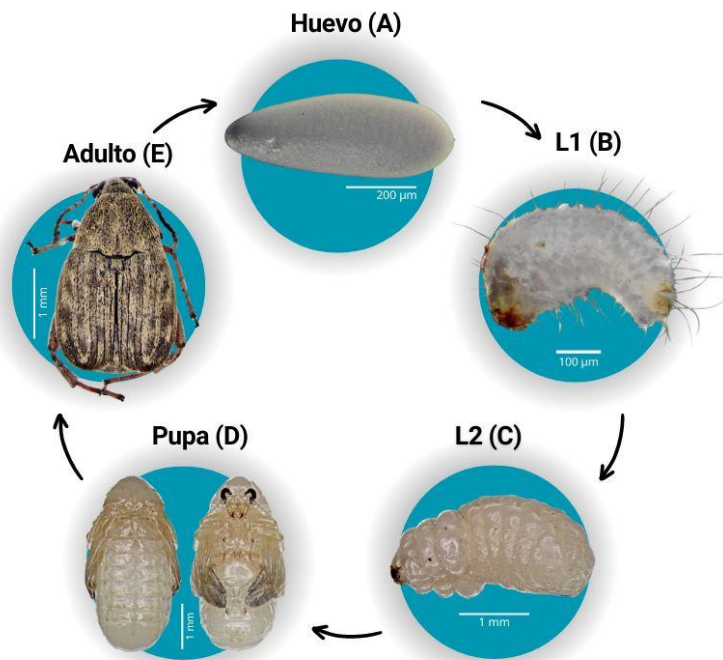


Figura 2. Ciclo biológico del escarabajo común del frijol (*Acanthoscelides obtectus*). Huevo (A), estadios larvares L1 (B), L2 (C), pupa (D), adulto (E). Imágenes tomadas por el MC. Jorge Valdez Carrasco.

2.2 Los daños del escarabajo común de la semilla del frijol

Las larvas del escarabajo como parte de su ciclo biológico, perforan los granos, una vez dentro se alimentan del embrión y endospermo, afectando severamente a la semilla y con ello el proceso de germinación y propagación (Allotey et al., 2016) dejando inservibles los granos tanto para semilla como para alimentación, ya que los cotiledones quedan completamente triturados y convertidos en partículas finas, además de la contaminación de semillas con fragmentos, excrementos y olores fétidos (Armenta-López et al., 2021). Después de la maduración del adulto, este empuja el opérculo para emerger al exterior. Los orificios de salida son típicamente circulares, de contorno fino, a diferencia de otros insectos que suelen ser irregulares y de corte burdo (Castañeda et al., 2021). En la figura 3, se observan los orificios provocados a los granos de frijol.



Figura 3. Daños ocasionados por el escarabajo común a los granos de frijol almacenado.

2.3 ¿Y cómo se puede controlar?

La distribución del escarabajo del frijol tanto a nivel nacional como mundial es amplia, al ser una plaga que afecta diversas especies de plantas provocando importantes pérdidas económicas, se han establecido diferentes métodos para su control (Armenta-López et al., 2021), estos deben comenzar en los campos de frijol ya que está dirigido contra los adultos de escarabajos y se realiza por un período muy corto antes de la cosecha (Schmale et al., 2002). El éxito en el manejo de las plagas está en función de las oportunidades y secuencia en que se utilicen las diferentes medidas de control.

Control químico, el uso de plaguicidas agrícolas para el control de insectos-plaga en almacenamiento es muy limitado debido a los estrictos requisitos impuestos para su uso seguro sobre o cerca de alimentos, aun así, se ha convertido en el más común debido a su efectividad y rapidez, sin embargo, este tipo de productos utilizados (fosfuro de aluminio, malatión y bromuro de metilo) tienen un alto impacto ambiental, peligros a la salud y la exposición prolongada pueden provocar problemas graves como la resistencia a insecticidas (Viteri et al., 2014). Al igual que los productos que se utilizan en campo para el control de los adultos (Regnault-Roger et al., 2012).

Control cultural, este método incluye prácticas agrícolas o también llamadas prácticas culturales que buscan mantener las densidades de las plagas y sus daños a niveles tolerables, procurando obtener cosechas óptimas, con base a consideraciones agroecológicas y hacer el cultivo menos susceptible al ataque de las plagas (Aguilar-Benítez et al., 2012). Un buen inicio de un programa para el caso del cultivo es ajustarse a las fechas de siembra sugeridas y mantener libre de malezas al cultivo, bordos y canales, para eliminar las primeras infestaciones de insectos e igualmente monitorear las principales plagas del cultivo, con el fin de determinar el momento oportuno para su control, si

bien es difícil y requiere un método complejo que debe incluir: protección de cultivos, uso de cultivares tolerantes a plagas (Ávila-Miramontes et al., 2014).

El control biológico es una de las alternativas prometedoras para el control de insectos plaga mediante la utilización de enemigos naturales como hongos entomopatógenos, el cual se ha estado tratando de integrar contra plagas problema en almacenamiento (Crespo et al., 2002) y otros agentes de control microbiano (bacterias) o cualquier organismo que combata la plaga (Schmale et al., 2002). Este método tiene la ventaja de no ser contaminante para el ambiente, es selectivo y por lo tanto no mata insectos benéficos y no es tóxico para el ser humano (Crespo et al., 2002; Aquino-Bolaños et al., 2020).

2.4. Aplicando enemigos naturales para controlar al escarabajo común del frijol

El frijol es un cultivo de ciclo corto, lo cual permite llevar un buen manejo en el control de plagas. Se han reportado parasitoides como *Horismenus ashmeadii* que tiene la capacidad de reducir las poblaciones de *A. obtectus* en campo, no así para atacar y desarrollarse en condiciones de almacenamiento, lo cual indica que este parasitoide no puede servir como posible agente de control en almacenamiento. Sin embargo, hay otras especies de parasitoides que se adaptan mejor a condiciones de almacén como son las larvas del parasitoide *Dinarmus basalis* Ashmead (Hymenoptera: Pteromalidae), que han sido reportadas en almacenes de granos (Schmale et al., 2002).

La utilización de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son opciones que están siendo estudiadas como método biológico (Crespo et al., 2002).

El manejo agronómico del cultivo, particularmente con el uso reducido de agroquímicos y favoreciendo el establecimiento de un agroecosistema natural que permita la presencia de vegetación natural, ha sido un factor de gran importancia en la reducción de las poblaciones del escarabajo.

3. Conclusiones y perspectivas

Independientemente de las especies de plantas, el cultivo del frijol es importante no sólo para México, si no para varios países, ya sea por motivos culturales o socioeconómicos, es por ello que el manejo integrado del escarabajo común de la semilla de frijol y cualquier otro insecto plaga, es de vital importancia. El manejo biológico está teniendo mucho auge en los últimos años, no sólo por los beneficios que tiene y la problemática que puede resolver, si bien, en el caso de este escarabajo son pocos los estudios que se han realizado por sus hábitos crípticos, aun así, existe una gran cantidad de microorganismos que se pueden explorar para controlar la plaga. En este caso se puede explorar la aplicación de hongos o bacterias entomopatógenas como una estrategia potencial para el control del escarabajo en etapa de adulto con la finalidad de que no alcance a ovipositar o a dañar los granos desde campo. Si bien las diferentes alternativas en el manejo integrado de plagas son muy importantes ya que de esta manera se evita la resistencia de plagas. Además de los daños al ambiente. El futuro en la agricultura y en la producción es seguir buscando y desarrollando nuevas alternativas para el manejo de plagas.

Agradecimientos

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), por el apoyo otorgado en el Programa de Investigadoras e Investigadores y al M. C. Jorge Valdez-Carrasco del área de Entomología y Acarología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo por su valiosa ayuda en la toma de fotografías.

Referencias Citadas

- Allotey, J., Segwabe M., and Randome I. (2016). Damage caused, loss assessment and emergence pattern of *Acanthoscelides obtectus* (Say) on the beans, *Phaseolus vulgaris* L. in Gaborone. *J. Appl Zool. Res.* 27 (2): 157-161.
- Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Ramírez-Vallejo, P., Benedicto-Valdés, S. G., and Molina-Galán, J. D. (2012). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia*, 46(1), 37–50.
- Aquino-Bolaños, T., Sánchez-García, J. A., Ortíz-Hernández, Y. D., and Hernández-Cruz, J. (2020). Carrier and Vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and its Handling through a Base of Entomopathogenic Fungi in *Agave* sp. *Florida Entomologist*, 103(2), 243–246.
- Armenta-López, A.-R., Lugo-García, G.-A., Sánchez-Soto, B.-H., Romero-Félix, C.-S., Cortez-Mondaca, E., and Nava-Pérez, E. (2021). Resistencia del frijol al ataque del gorgojo. *Acta Zoología Mexicana*. 37, 1–18.
- Ávila-Miramontes J. A.; Ávila-Salazar J. M.; Rivas-Santoyo F.; Martínez-Heredia. (2014). El cultivo del frijol. Departamento de Agricultura y Ganadería, 88.
- Ayala Garay, A. V., Acosta Gallegos, J. A., and Reyes Muro, L. (2021). El cultivo del Frijol Presente y Futuro Para México. In *El cultivo del frijol presente y futuro para México*.
- Castañeda, H. B., Sedano, D. B., Sedano, N. B., and Tolentino, D. Á. (2021). First record of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) on *Senna multiglandulosa* (Fabaceae) from the central Andean region of Peru. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 22(3).
- Crespo, R., Juárez, M. P., Dal Bello, G. M., Padín, S., Fernández, G. C., and Pedrini, N. (2002). Increased mortality of *Acanthoscelides obtectus* by alkane-grown *Beauveria bassiana*. *BioControl*, 47(6), 685–696.
- Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grano de frijol. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 55–62.
- Nava Pérez, E., Gastélum Hurtado, P., Camacho Báez, J. R., Valdez Torres, B., Bernal Ruiz, C. R., and Herrera Flores, R. (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai*, 6, 37–44. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.05.ep>
- Parsons, D. M. J., and Credland, P. F. (2003). Determinants of oviposition in *Acanthoscelides obtectus*: A nonconformist bruchid. *Physiological Entomology*, 28(3), 221–231.
- Ramírez, S., and Suris, M. (2015). Ciclo Vida *Acanthoscelides Obtectus* Frijol Negro (*Phaseolus vulgaris* L.) Condiciones Laboratorio. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2), 158–160.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., and Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
- Sayed Ahme, S., Hanna Naro, M., Yassin Abd, S., Abel-Rahma, M., and Abdel-Shaf, S. (2018). Morphological, Molecular and Biological Studies on Common Bean Weevil *Acanthoscelides obtectus* (Say) in Egypt. *Journal of Entomology*, 16(1), 30–38.
- Schmale, I., Wäckers, F. L., Cardona, C., and Dorn, S. (2002). Field infestation of *Phaseolus vulgaris* by *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae), parasitoid abundance, and consequences for storage pest control. *Environmental Entomology*, 31(5), 859–863.

- Ulloa, J. A., Petra, M. C., Ulloa, R., Carmen, J., Ramírez, R., Blanca, I. B. Q., and Ulloa, E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5–9.
- Vera-Graziano J., Cruz-Izquierdo, S. (2016). Parámetros poblacionales del insecto. *Agrociencia*, 50, 347–353.
- Viteri Jumbo, L. O., Faroni, L. R. A., Oliveira, E. E., Pimentel, M. A., and Silva, G. N. (2014). Potential use of clove and cinnamon essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* Say, in small storage units. *Industrial Crops and Products*, 56, 27–34.
- Yankova V. and Sofkova S. (2013). Possibilities for control of bean weevil (*Acanthoscelides obtectus* Say) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in open conditions. April 2017, 1–3.
- Zumado, M. A., and Azofeifa, D. (2018). Insectos de importancia agrícola. *Guía Básica de Entomología*, 204 pp.

Viabilidad de conidios de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin después de secado por aspersión como método de preservación

Lucía Araceli Manzanarez-Jiménez^{1,*}, Cipriano García-Gutiérrez¹, Cesar Marcial Escobedo-Bonilla¹, Antonio Luna-González¹, Ninfa Rosas-García², Mayahauel Ortega-Avilés³

Resumen. El secado por aspersión es un método utilizado para transformar fluidos en micropartículas y evitar su degradación. El objetivo de este trabajo fue estandarizar la temperatura de entrada, velocidad de alimentación y atomización de dos formulaciones a base de maltodextrina (FM) y gelatina bovina (FGB) de esporas del hongo entomopatógeno *M. anisopliae* en un secador de rocío, y evaluar su supervivencia después del proceso a las 16, 20 y 24 horas, así como su vida de anaquel durante seis meses. Los parámetros fueron: 80°C-5.70 ml/min-0.02 MPa, 110°C-6.10 ml/min-0.01 MPa, 140°C-7.96 ml/min-0.01 MPa y 170°C-8.20 ml/min-0.03 MPa. La mejor supervivencia de esporas se obtuvo a 140°C, 7.96 ml/min y 0.01 MPa, con 43.2%, 43.5% y 43.7% para FM y 42.1%, 41.9% y 42.1% para FGB. La mejor vida de anaquel se alcanzó a los dos meses con una viabilidad de 39%, 39.8% y 39.9% para FM y 37%, 38.3% y 38.9% para FGB, a las 16, 20 y 24 horas respectivamente. Se necesitan más investigaciones sobre materiales para formular esporas de este y otros hongos entomopatógenos, con el fin de incrementar el rendimiento y la calidad de los productos formulados.

Palabras clave: Secado por Aspersión, Supervivencia de esporas, *Metarhizium anisopliae*.

Abstract. Spray drying is a method used to transform fluids into microparticles and avoid their degradation. The objective of this work was to standardize the inlet temperature, feed rate and atomization of two formulations based on maltodextrin (FM) and bovine gelatin (FGB) of spores of the entomopathogenic fungus *M. anisopliae* in a spray dryer, and to evaluate their survival after the process at 16, 20 and 24 hours, as well as their shelf life for six months. The parameters were: 80°C-5.70 ml/min-0.02 MPa, 110°C-6.10 ml/min-0.01 MPa, 140°C-7.96 ml/min-0.01 MPa and 170°C-8.20 ml/min-0.03 MPa. The best spore survival was obtained at 140°C, 7.96 ml/min and 0.01 MPa, with 43.2%, 43.5% and 43.7% for FM and 42.1%, 41.9% and 42.1% for FGB. The best shelf life was achieved at two months with a viability of 39%, 39.8% and 39.9% for FM and 37%, 38.3% and 38.9% for FGB, at 16, 20 and 24 hours, respectively. Further research on spore-formulating materials of this and other entomopathogenic fungi is needed to increase the yield and quality of formulated products.

Keywords: Spray drying, Spore Survival, *Metarhizium anisopliae*.

1. Introducción

El secado por aspersión es un método empleado en la transformación de fluidos en micropartículas cubiertas con polímeros naturales o sintéticos con el fin de evitar su degradación, compuesto por un

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Sinaloa, Sinaloa, México.

² Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Tamaulipas, México.

³Instituto Politécnico Nacional, Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: lmanzanarezj1800@alumno.ipn.mx

proceso productivo unitario, durante el cual la temperatura de entrada, velocidad de alimentación y atomización, varían de acuerdo con la formulación del ingrediente activo en una dispersión “*per se*” (Sutar & Yadav, 2023). El proceso tiene tres operaciones básicas, (1) atomización de la dispersión mediante boquillas de flujo paralelo, concurrente o mixto, que facilitan la formación de gotas que ingresan a la cámara de secado, (2) secado de las gotas con aire seco que elimina la humedad mediante una transferencia de masa y calor entre la partícula y el aire y (3) separación de las partículas o producto en la cámara de “ciclón” y su posterior recolección (Eijkelboom et al., 2023). Este método es utilizado en la industria de alimentos, cosméticos, medicamentos, enzimas, polímeros y productos agroindustriales (Sutar & Yadav, 2023). En la agricultura el uso de bioinsecticidas a partir de virus, bacterias y hongos entomopatógenos son una alternativa sostenible para el control de plagas en cultivos agrícolas, entre estos el hongo *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin causa la enfermedad de la muscardina verde en insectos, se caracteriza por desarrollar esporas en forma cilíndrica, con un ápice redondeado y una base ligeramente truncada, de color verde claro, con tamaño que se aproxima de 5.0-9.0 μm de longitud por 2.0-3.5 μm de diámetro, las cuales son susceptibles a las altas temperaturas (Jeffs et al., 1999). El objetivo de este trabajo fue estandarizar la temperatura de entrada, velocidad de alimentación y atomización de dos formulaciones a base de maltodextrina (FM) y gelatina bovina (FGB) de esporas del hongo entomopatógeno *M. anisopliae* en un secador de rocío y evaluar su supervivencia después del proceso a las 16, 20 y 24 h, así como su vida de anaquel durante seis meses.

2. Materiales y Métodos

La metodología se considera de tipo experimental. El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de bioinsecticidas del CIIDIR IPN Unidad Sinaloa de febrero a septiembre de 2021. Las formulaciones se prepararon en dispersiones a base de maltodextrina DS6 (FM) y gelatina bovina (FGB) y esporas del hongo entomopatógeno *M. anisopliae* a una concentración de 1×10^{-8} esporas/ml, mezcladas con extracto acuoso de la macroalga *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820. Las dispersiones se procesaron en un secador de rocío ADL311/ADL311S (Yamato Scientific Inc.). La temperatura de entrada, velocidad de alimentación y atomización fueron: (1) 80°C-5.70 ml/min-0.02 MPa, (2) 110 °C-6.10 ml/min-0.01 MPa-, (3) 140°C-7.96 ml/min-0.01 MPa y (4) 170 °C-8.20 ml/min-0.03 MPa. La supervivencia de las esporas después del proceso de secado por aspersión se evaluó a las 16, 20 y 24 h., posteriormente se evaluó su vida de anaquel a los 2, 4 y 6 meses.

En ambas evaluaciones se tomó 1 g de cada formulación en 10 ml Tween 80 al 0.05% para liberar las esporas de los materiales a base de los polímeros de recubrimiento y posteriormente se tomaron 10 μl de la formulación correspondiente y se sembraron por extensión en placas con medio papa-dextrosa-agar (PDA) con 2 ml de espesor y se incubaron a 28 ± 2 °C.

Para el conteo de esporas germinadas se utilizó una solución de azul lactofenol; para esto se abrió la caja petri con el hongo crecido en el medio de cultivo a las 16, 20 y 24 horas, y se agregaron 50 μl de solución cargados en una micropipeta (Labmare Pro®), se dejó que la solución cubriera el área de crecimiento, después con un bisturí se hizo un corte de 1 cm^2 , se retiró con una espátula de hoja cuadrada-plana y se colocó al centro en un portaobjetos que previamente había sido etiquetado con los datos de la muestra, enseguida se cubrió con un cubreobjetos y se colocó sobre la platina de un microscopio óptico (Primo Star Carl Zeiss®), se aseguró con las pinzas metálicas y colocó la visión en el ocular, se ajustó la luz del condensador y se inició magnificando la imagen con el objetivo 4X

(40 aumentos) para verificar la posición de la muestra, enseguida se giró el revolver al objetivo 10X (100 aumentos) y se hizo el enfoque, posteriormente se giró al objetivo 40X (400 aumentos) y en esta graduación se contó el número de esporas germinadas notando que su tamaño fuera dos veces mayor al tamaño de su tubo germinal (Inglis et al., 2012). Las formulaciones se mantuvieron en tubos cónicos de 50 ml (Falcon®) a 4 °C, protegidos de la luz ambiental.

El experimento se hizo con 3 repeticiones, en cada una se contaron las esporas de cinco cajas petri por cada formulado y el control. El análisis de los datos se hizo con el programa estadístico SAS®, versión 9.00 (SAS, STAT® 2009).

3. Resultados y Discusión

En este trabajo el hongo formulado tuvo diferencia significativa con respecto al control ($F=2.01$; $gl=8,126$; $p<0.00$). La mejor supervivencia promedio de esporas de *M. anisopliae* se obtuvo a 140°C, 7.96 ml/min y 0.01 MPa, con 43.2, 43.5, 43.7% para FM y 42.1, 41.9 y 42.1% para FGB a las 16, 20 y 24 h., respectivamente. En los valores programados a 170 °C-8.20 ml/min-0.03 MPa la supervivencia disminuyó a 16.8, 16.4, 16.1% para FM y 14.7, 14.3. 14.0% para FGB, y con valores = o < 110 °C-6.10 ml/min-0.01 MPa la supervivencia aumentó a 60.2, 61.5, 60.5% para FM y 62.3, 63.2 y 62.5% para FGB, sin embargo, el producto obtenido fue una pasta amorfa. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Supervivencia de esporas de *Metarhizium anisopliae* después del secado por aspersión.

Repeticición	Formulado	Supervivencia de esporas (%) / Promedio $\pm$ DE		
		16 h	20 h	24 h
1	FM	41.0 $\pm$ 1.73 ^b	46.0 $\pm$ 0.71 ^b	49.4 $\pm$ 1.52 ^b
	FGB	39.0 $\pm$ 1.58 ^b	41.8 $\pm$ 1.79 ^b	45.4 $\pm$ 1.67 ^b
	Control	81.0 $\pm$ 2.35 ^a	89.8 $\pm$ 0.84 ^a	97.4 $\pm$ 1.67 ^a
2	FM	40.0 $\pm$ 0.71 ^b	47.4 $\pm$ 0.89 ^b	50.2 $\pm$ 1.30 ^b
	FGB	38.8 $\pm$ 1.30 ^b	42.4 $\pm$ 0.89 ^b	45.4 $\pm$ 1.67 ^b
	Control	81.8 $\pm$ 3.27 ^a	90.0 $\pm$ 1.22 ^a	97.6 $\pm$ 1.52 ^a
3	FM	40.0 $\pm$ 0.71 ^b	47.0 $\pm$ 1.41 ^b	49.4 $\pm$ 1.14 ^b
	FGB	39.6 $\pm$ 1.82 ^b	42.0 $\pm$ 1.87 ^b	44.8 $\pm$ 1.30 ^b
	Control	81.4 $\pm$ 3.44 ^a	88.6 $\pm$ 1.52 ^a	98.4 $\pm$ 0.89 ^a

Las medias con letra distinta son significativamente diferentes. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los resultados son medias $\pm$ la desviación estándar, obtenidos de datos de los experimentos realizados por triplicado. El control consistió en una suspensión de 1×10^{-8} esporas/ ml en Tween 80 al 0.05%.

En la evaluación de vida de anaquel de las esporas secadas por aspersión de *M. anisopliae* almacenadas a 4 °C y protegidas de la luz ambiental, mostraron diferencia significativa con respecto al control y entre el mes 4 y 6 ($F=3.20$; $gl=9,267$; $P<0.00$). Los resultados se muestran en el Cuadro 2. La mejor vida de anaquel se obtuvo a los 2 meses con viabilidad de 39, 39.8 y 39.9 %, para FM y 37, 38.3 y 38.9 % para FGB, a las 16, 20 y 24 horas, respectivamente. En el mes 4 la viabilidad promedio disminuyó a 17.6 % (FM) y 15.5 (FGB), y en el mes 6 solo estuvo viable el 5.7 % (FM) y 3.7 % (FGB), a las 24 horas, respectivamente. El hongo sin formular tuvo 80.1, 82.5, y 83.3 % de viabilidad promedio

a los dos, cuatro y seis meses, respectivamente. En un estudio realizado por Jeong, et al., (2022) bajo condiciones de laboratorio, obtuvieron vida útil de conidias de *M. anisopliae* durante 28 días, usando diferentes materiales para su conservación, la diferencia entre la vida de anaquel de este estudio y el presente trabajo (60 días), puede deberse principalmente al efecto de mantener la temperatura a 4 °C y sin la luz sobre las esporas de *M. anisopliae*.

Cuadro 2. Vida de anaquel de esporas de *Metarhizium anisopliae* después del secado por aspersión.

Meses	Formulado	Viabilidad de esporas (%) / Promedio $\pm$ DE		
		16 h	20 h	24 h
Marzo-abril	FM	39.0 $\pm$ 0.90 ^b	39.8 $\pm$ 0.71 ^b	39.9 $\pm$ 0.21 ^b
	FGB	37.0 $\pm$ 0.21 ^b	38.3 $\pm$ 0.79 ^b	38.9 $\pm$ 0.41 ^b
	Control	80.0 $\pm$ 1.28 ^a	84.0 $\pm$ 1.20 ^a	85.7 $\pm$ 1.32 ^a
Mayo-Junio	FM	17.0 $\pm$ 0.23 ^c	17.8 $\pm$ 0.23 ^c	18.1 $\pm$ 0.23 ^c
	FGB	15.2 $\pm$ 0.30 ^c	15.6 $\pm$ 0.45 ^c	15.9 $\pm$ 0.50 ^c
	Control	80.0 $\pm$ 1.10 ^a	81.0 $\pm$ 1.25 ^a	81.4 $\pm$ 1.19 ^a
Julio-Agosto	FM	5.6 $\pm$ 0.10 ^d	5.7 $\pm$ 0.40 ^d	5.9 $\pm$ 0.60 ^d
	FGB	3.0 $\pm$ 0.55 ^e	3.9 $\pm$ 1.87 ^e	4.2 $\pm$ 0.30 ^e
	Control	80.5 $\pm$ 1.40 ^a	82.5 $\pm$ 1.60 ^a	83.0 $\pm$ 1.29 ^a

Las medias con letra distinta son significativamente diferentes. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los resultados son promedios de las medias $\pm$ la desviación estándar, obtenidos de datos de los experimentos realizados por triplicado cada dos meses, durante la vida de anaquel.

4. Conclusiones

El secado por aspersión de esporas cubiertas por maltodextrina y gelatina bovina fue eficiente en las condiciones operadas, aunque su supervivencia no superó el 50%, este método de preservación puede ser considerado dentro de las propuestas para su posible integración en la agroindustria. Se requiere realizar más investigaciones sobre materiales para formular esporas de este y otras especies de hongos entomopatógenos, para incrementar sustancialmente el rendimiento y calidad de los productos formulados.

Agradecimientos

Agradecemos a CONAHCyT por la beca otorgada para Estudio de Doctorado a la M. en C. Lucía Araceli Manzanarez Jiménez. Este trabajo fue apoyado por el proyecto SIP-IPN 20195417 “Estudio de efectividad y persistencia de formulaciones de hongos entomopatógenos para el control de plagas del tomate”. Al director de Tesis Dr. Cipriano García Gutiérrez y la codirectora de tesis Dra. Ninfa M. Rosas-García. Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa.

Referencias Citadas

- Eijkelboom, N. M., Anneloes, P. v., Isabel, S., Patrick, F. W., Remko, M. B., Reinhard, K., & Maarten, A. S. (2023). Particle structure development during spray drying from a single droplet to pilot-scale perspective. *Journal of Food Engineering*, 337, 111222.
- Inglis, G., Enkerli, J., & Goettel, M. (2012). Laboratory techniques used for entomopathogenic fungi. En L. Lacey (Ed.), *Manual of techniques in invertebrate pathology* (págs. 189-251). Yakima, Washington USA: Academic Press.
- Jeffs, L., Xavier, I., Matai, R., & Khachatourians, G. (1999). Relationships between fungal spore morphologies and surface properties for entomopathogenic members of the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, *Paecilomyces*, *Tolypocladium*, and *Verticillium*. *Canadian Journal of Microbiology*, 45(11), 936-948.
- Jeong, S., Kim, H., Kim, J., & Park, H. (2022). Effect of storage conditions on the shelf-life extension of fungus-colonized substrates based on *Metarhizium anisopliae* using modified atmosphere packaging. *Scientific Reports*, 12(423), 1-8.
- Sutar, S. V., & Yadav, G. D. (2023). Advancements in spray drying system for heat recovery, methodology, and economics: A review. *Drying Technology*, 41(16), 2537-2565.

Retos y oportunidades de la economía creativa a partir de la caracterización: Caso de una sociedad cooperativa de artesanías textiles en Oaxaca, México

Giselle Carolina Lescas-Montes¹, Juana Yolanda López-Cruz^{1,*}, Gema Lugo-Espinosa¹, Juan Regino-Maldonado¹

Resumen. La economía creativa representa una oportunidad de crecimiento económico y desarrollo regional con un gran potencial en países como México. Sin embargo, existen limitaciones en la caracterización de las empresas de este sector, lo que dificulta el análisis preciso de los desafíos y oportunidades. A través de una investigación exploratoria y descriptiva se proponen nueve características para identificar industrias de la economía creativa. El objetivo del trabajo es analizar y catalogar a una sociedad cooperativa dentro de este ámbito. Los resultados señalan que la sociedad contribuye a la integración de artesanos, la transmisión de conocimientos y el fomento a la cultura a través de la promoción y venta de sus productos textiles. Aplicar esta metodología permite identificar de manera rápida las industrias culturales y creativas para a su vez, analizar los desafíos actuales y las limitaciones que enfrentan, permitiendo evaluar las oportunidades de crecimiento y desarrollo local, sirviendo como base para la formulación de políticas públicas más equitativas en este tipo industrias fundamentales para el desarrollo regional sostenible. En el caso de la sociedad cooperativa de textiles es fundamental promover la permanencia, crecimiento y estabilidad de la organización hacia mejores condiciones que impulsen el desarrollo local.

Palabras clave: Industrias Culturales, Industrias Creativas, Desarrollo Local.

Abstract. The creative economy represents an opportunity for economic growth and regional development, with great potential in countries like Mexico. However, there are limitations in the characterization of companies in this sector, which makes it difficult to accurately analyze the challenges and opportunities. Through exploratory and descriptive research, nine characteristics are proposed to identify companies in the creative economy. The objective of the work is to analyze and catalog a cooperative society within this area. The results indicate that society contributes to the integration of artisans, the transmission of knowledge and the promotion of culture through the promotion and sale of their textile products. Applying this methodology allows you to quickly identify cultural and creative industries and, in turn, analyze the current challenges and limitations they face, allowing you to evaluate opportunities for regional growth and development, serving as a basis for the formulation of more equitable public policies in industries essential for sustainable development. In the case of the textile cooperative society, it is essential to promote the permanence, growth and stability of the organization towards better conditions that promote local development.

Keywords: Cultural Industries, Creative Industries, Local Development.

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: jylopez@ipn.mx

1. Introducción

La comunidad zapoteca de Teotitlán Del Valle (También “Junto a Dios” o “Lugar de dioses” en lengua náhuatl) en Oaxaca ha producido textiles desde el siglo XV (Prudencio, 2014). Con el pasar de los años, la comunidad continuó produciendo textiles como actividad recreativa y cultural a la par de dedicarse a la agricultura de subsistencia. La llegada de turistas en los años 50’s impulsó la producción de artesanías textiles con un aumento en la demanda de mayoristas norteamericanos en los años 80’s y 90’s ocasiono que algunos artesanos dejaran la agricultura para dedicarse completamente a la producción y comercialización de artesanías textiles (Prudencio, 2014). En los años siguientes y como resultado de la migración de locales a Estados Unidos y las zonas fronterizas, algunos artesanos pudieron diversificar sus puntos de venta a estos lugares y, además, quienes tuvieron beneficios económicos significativos optaron por regresar a la comunidad e invertir en negocios familiares (Ruiz, 2014). A pesar de desafíos como la disminución de ventas por cambios estructurales en la economía nacional y coyunturales como la pandemia del SARS-CoV-2, la comunidad ha experimentado una recuperación paulatina por aumento en el turismo y ventas. No obstante, esta prosperidad no ha sido equitativa ya que “Ha incrementado las desigualdades sociales y económicas, tanto entre las familias de la comunidad como en la relación de Teotitlán con las comunidades vecinas” (Ruiz, 2014). En este contexto, los residentes de la comunidad han desarrollado estrategias para evitar la exclusión económica y social causada por la globalización y acaparamiento de la competencia del mercado local de textiles (Fuente, 2009); una de ellas fue la constitución de una sociedad cooperativa cuyo objetivo es aprovechar el conocimiento de las prácticas tradicionales de elaboración de textiles (Ruiz, 2014).

La evolución de las actividades económicas en Teotitlán plantea la posibilidad de analizar las industrias artesanales textiles locales desde la perspectiva de la economía creativa (EC). La EC o economía naranja comprende industrias ligadas a la cultura y creatividad, su diferenciación es útil para identificar las actividades de cada sector. Para economías en desarrollo el análisis de estas industrias es clave, especialmente en el diseño e implementación de políticas públicas que impulsen su crecimiento y permanencia. Sin embargo, sin caracterizar a las industrias de la EC es difícil determinar qué empresas pertenecen a las culturales y creativas, por tanto, cuales forman parte de ella y cuáles no. Por ello, se plantearon las siguientes preguntas de investigación ¿Cuáles son las características de las industrias culturales (ICU) y creativas (ICR) que permiten identificarlas como parte de la EC? y, ¿Una sociedad cooperativa dedicada a la elaboración y comercialización de artesanías textiles cumple con las características de una industria cultural o creativa para identificarla como parte de la EC? Esto con el objetivo de analizar y determinar que empresas forman parte de la EC, lo que permitirá analizar los retos y oportunidades que tienen en el crecimiento y desarrollo regional bajo esta perspectiva teórica de la economía.

2. Materiales y Métodos

Para llevar a cabo esta investigación cualitativa, se optó por un diseño de tipo exploratorio y descriptivo en 2023. En primer lugar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para recopilar la información necesaria y definir las características distintivas de las industrias de la EC. Luego, se realizaron entrevistas semiestructuradas a seis miembros de la cooperativa Centro de Arte Textil Bii Dauu de la Región de Valles Centrales, Oaxaca, con el fin de obtener datos que ayudaran a determinar si la cooperativa cumplía con los requisitos para ser considerada parte de la EC.

3. Resultados y Discusión

Caracterización de la economía creativa. En el Cuadro 1, se presentan de forma concisa las características que diferencian a la industria cultural y creativa de aquellas que no caen en estas categorías. Esta información se basa en la revisión bibliográfica de diversos autores que describen de manera general las empresas de la industria cultural y creativa.

Cuadro 1. Propuesta de características de industrias creativas, culturales, no culturales y no creativas

Característica	ICU	ICR	Industrias no culturales y no creativas
Capital de la empresa	Público/comunitario	Privado	Privado
Toma de decisiones	Asamblea/comunidad	Fundador/representante	Propietario/accionistas
Sistemas de producción	Artesanal	Digital	Estandarizado
Insumo/materia prima	Cultura	Creatividad	Recursos naturales
Contenido	Cultural/patrimonial	Artístico	Capital/riqueza
Énfasis	Tradición/identidad	Creatividad	Producción/venta
Valor	Simbólico	Expresivo	De cambio/funcional
Beneficios	Comunidad	Integrantes	Propietario/accionistas
Impacto	Social/cultural/ambiental	Creatividad/ innovación	Económico

Fuente: Elaboración con base en (Buitrago & Duque, 2013), (Lebrún, 2014), (Newbiggin, 2010), (UNESCO, 2010), (TAC, s.f.), (TAC, 2008), (Ministerio de Cultura, 2005), (Ministerio de Cultura de Colombia, 2008), (Convenio Andrés Bello, 2015), (UIS, 2009), (UNCTAD, 2010) y (BOP Consulting, 2010).

Al realizar la comparación de nueve características clave en las empresas se percibe claramente la distinción entre las empresas convencionales (industrias no creativas y no culturales) que fabrican productos estandarizados sin ningún valor social y cultural solo económico, de las pertenecientes a la economía creativa, lo que facilita la identificación de las características específicas de empresas por industria, para su análisis correcto e implementación de estrategias acordes a sus particularidades. Es fundamental notar que las ICU se caracterizan principalmente por su enfoque social y cultural a diferencia de las ICR donde la creatividad y la innovación son fundamentales.

Sociedad cooperativa de producción y comercialización de artesanías de la ICU. El Centro de Arte Textil Zapoteco Biidaüü es una sociedad cooperativa que se constituyó a partir de mayo del año 2004, con el objetivo de elaborar y superar la calidad de los productos textiles en comparación con las empresas de la competencia, utilizando tintes naturales en la producción, para mejorar las condiciones de vida de sus integrantes (Centro de Arte Textil Zapoteco Biidaüü, 2023).

A partir de las entrevistas hechas a socios se encontró que el capital de inversión de la cooperativa es social; la toma de decisiones es por medio de asamblea, donde los puestos directivos se

rolan cada tres años entre los socios. El proceso de elaboración de textiles es artesanal. Respecto al valor que le otorgan al oficio artesanal el 33.3% considera que es cultural, el otro 33.3% que es ambiental y el resto del 33.3% que es cultural y ambiental. En este punto es importante destacar que el valor ambiental que le otorgan también está relacionado con el conocimiento tradicional de teñir con plantas tintóreas y la integración de ecotecnias en el proceso de teñido.

Como se observa en la Figura 1, al menos el 50% de los socios tuvo que emigrar de la comunidad en algún punto de su vida, dadas las características económicas y sociales de su entorno, sin embargo, para los artesanos textiles que tenían con conocimientos sobre tejido, y el dedicarse a la elaboración y comercialización de artesanías garantizó su permanencia en la comunidad. El 50% de los artesanos pretenden transmitir en sus trabajos textiles el patrimonio cultural heredado por sus ancestros, y la otra mitad están interesados en transmitir el cuidado de la naturaleza a través de prácticas ambientales ancestrales. Referente a los beneficios monetarios de la cooperativa, el 66.6% de los entrevistados consideran que los beneficios económicos no son únicamente para los socios, sino también para la comunidad.

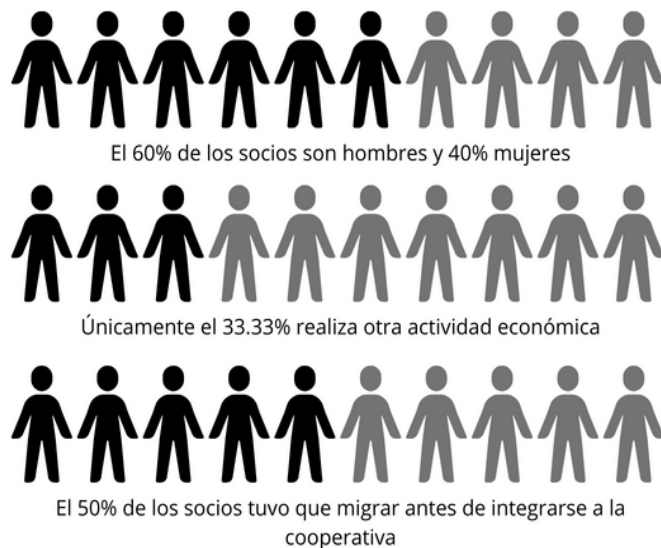


Figura 1. Aspectos demográficos de socios de Arte Textil Zapoteco Biidaüü, Oaxaca, México.

Retos y oportunidades. La economía creativa busca identificar el impacto de la creatividad y la cultura en el desarrollo regional. A pesar de que la mayoría de los socios coinciden en el crecimiento de la cooperativa como ICU, así como el impacto que su trabajo ha tenido a nivel comunidad, consideran que aún poseen grandes dificultades que complican que la cooperativa pueda generar un beneficio mayor. En México, se han implementado programas culturales para preservar la cultura y fomentar el crecimiento y desarrollo económico local a través de programas de capacitación y políticas públicas (Secretaría de cultura, s.f.). En la Figura 2, un ejemplo es el programa de FONART sobre el fomento de la elaboración de textiles con tintes naturales (Secretaría de Cultura, 2021). Sin embargo, son necesarias políticas públicas enfocadas a la preservación del patrimonio cultural que contribuyan a fortalecer la identidad indígena, cultural y cohesión social de las comunidades con la finalidad de

generar impactos positivos sociales, ambientales, económicos y en el desarrollo local (Lugo et al., 2011). Como se observa en la Figura 3, uno de los principales problemas radica en la legislación fiscal y cómo de manera tributaria son consideradas de la misma forma que las empresas convencionales de las industrias no culturales y no creativas.



Figura 2. Demostración de materias primas para teñido textil en Teotitlán del Valle, Oaxaca.

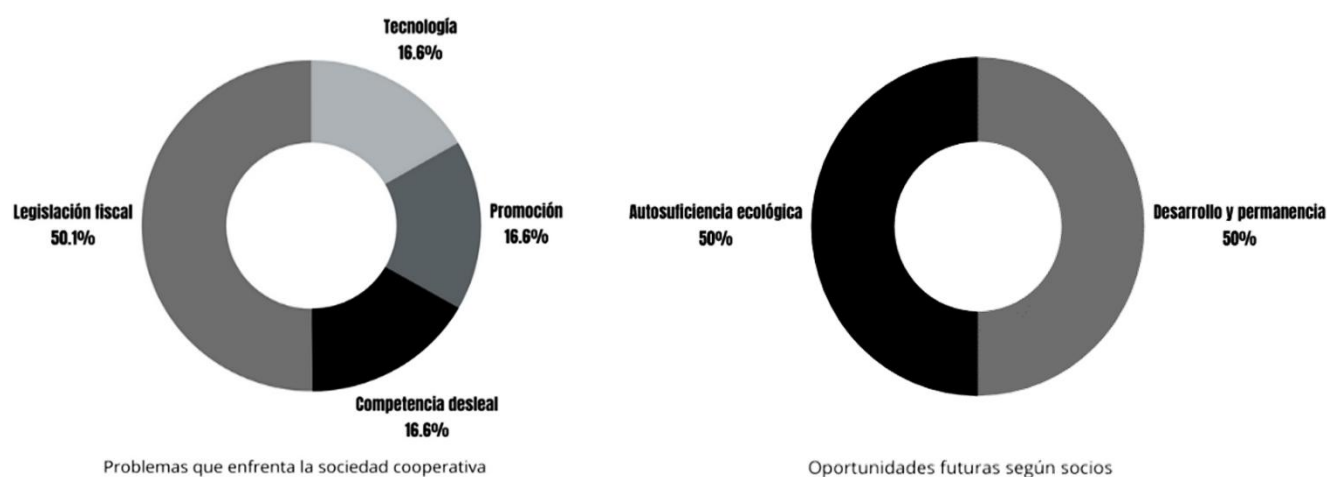


Figura 3. Problemas y oportunidades de Arte Textil Zapoteco Biidaüü en México.

El intercambio de conocimientos con países enfocados a fomentar la economía creativa puede impulsar en nuestros países a desarrollar clústeres creativos (City of Toronto Economic Development Committee, 2011). Por ejemplo, Canadá ha implementado estrategias para impulsar el sector de la economía creativa y ha generado beneficios económicos significativos. Estudios como la concentración de artistas en Canadá ayudaron a especializar geográficamente a la industria cultural y creativa de este país, con la finalidad de identificar oportunidades para el sector cultural (TAC, 2023).

4. Conclusiones

Esta investigación concluye que es fundamental identificar las características distintivas de las empresas de las industrias culturales y creativas de la economía creativa. Lo que permitirá conocer su naturaleza, propósito, objetivos, metas y valores centrales para en el diseño de estrategias de desempeño socio-cultural, ambiental, económico y de impacto en el crecimiento y desarrollo de las economías locales. La cooperativa Centro de Arte Textil Bii Dauu S.C. de R.L. como empresa de la industria cultural destaca como caso de éxito de producción artesanal de textiles con impactos positivos en términos sociales, ambientales y económicos en la Región de Valles Centrales de Oaxaca.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por las facilidades brindadas durante esta investigación y por el apoyo otorgado a través del Proyecto SIP20230178. A la Sociedad Cooperativa Centro de Arte Textil Bii Dauu S.C. de R.L., por la oportunidad de realizar las entrevistas. Al CONAHCYT por su apoyo en mis estudios de maestría.

Referencias Citadas

- BOP Consulting. (2010). Serie Economía creativa y cultural de British Council. Reino Unido: British Council.
- Buitrago, F., & Duque, I. (2013). La economía creativa: una oportunidad infinita.
- Centro de Arte Textil Zapoteco Biidaüü. (03 de octubre de 2023). Antecedentes. Obtenido de Centro de Arte Textil Zapoteco Biidaüü el 10 de noviembre de 2023: <http://www.biidaau.com.mx/spanish/03.html>
- City of Toronto Economic Development Committee. (Mayo de 2011). Creative Capital Gains, an Action Plan for Toronto. Obtenido de Toronto City Council el 25 de noviembre de 2023: <https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2023/05/9655-Creative-Capital-Gains-Report-Action-Plan-for-Toronto2011.pdf>
- Convenio Andrés Bello. (2015). Guía metodológica para la implementación de las Cuentas Satélite de Cultura en Iberoamérica. Bogotá: Convenio Andrés Bello.
- Fuente, M. (2009). Nueva ruralidad comunitaria y sustentabilidad: contribuciones al campo emergente de la economía-ecológica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 41-55.
- Lebrún, A. (2014). Industrias culturales, creativas y de contenidos. *Consensus*, 19(2), 45-57.
- Lugo, G., Alberti, M., Figueroa, O., Talavera, D. y Monterrubio, J. (2011). Patrimonio cultural y género como estrategia de desarrollo en Tepetlaoxtoc, Estado de México. *Pasos*. 9(4). p.p. 599-612. Recuperado el 21 de febrero de 2024 de https://www.pasosonline.org/Publicados/9411/PS0411_09.pdf
- Ministerio de Cultura. (2005). Guía para la elaboración de mapeos regionales de industrias creativas. Obtenido de Observatorio Iberoamericano de Cultura el 10 de diciembre de: https://oibc.oei.es/uploads/attachments/427/GUIA_PARA_MAPEOS_DE_IC_COLOMBIA.pdf
- Ministerio de Cultura de Colombia. (2008). Arte y Parte. Manual para el emprendimiento de artes e industrias creativas. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A. Obtenido de Repositorio del Observatorio Latinoamericano de Gestión Cultural.
- Newbiggin, J. (2010). La economía creativa. Una guía introductoria. Recuperado el 30 de noviembre de 2023, de British Council: https://cerlalc.org/wp-content/uploads/publicaciones/olb/PUBLICACIONES_OLB_La-economia-creativa-una-guia-introductoria_V1_010210.pdf
- Prudencio, A. (febrero de 2014). Tesina: Tapetes zapotecos: Práctica textil en Teotitlán del Valle, Oaxaca. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México el 10 de noviembre de 2023: <http://132.248.9.195/ptd2014/febrero/0709062/0709062.pdf>
- Ruiz, A. (2014). Construyendo Teotitlán: Migrantes, gringos y etnógrafos. *AIBR*, 53-73. Obtenido de AIBR el 30 de octubre de 2023.
- Secretaría de Cultura. (s.f.). Programa de Acciones Culturales Multilingües y Comunitarias (PACMYC). Obtenido de Gobierno de la Ciudad de México el 10 de diciembre de 2023: <https://cultura.cdmx.gob.mx/programas/programa/programa-de-acciones-culturales-multilingues-y-comunitarias-pacmyc>
- Secretaría de cultura. (s.f.). Programa imaginación en movimiento, empresas y emprendimientos culturales. Obtenido de Gobierno de la Ciudad de México el 10 de diciembre de 2023: <https://cultura.cdmx.gob.mx/programas/programa/imaginacion-en-movimiento-empresas-y-emprendimientos-culturales>
- Secretaría de cultura. (08 de julio de 2021). Secretaría de Cultura y el Fonart abren la convocatoria al Primer Encuentro Nacional de Tintes Naturales. Recuperado el 22 de febrero de 2024, de Secretaría de Cultura: https://www.gob.mx/portal_anterior_fonart/prensa/la-secretaria-de-cultura-y-el-fonart-abren-la-convocatoria-al-primer-encuentro-nacional-de-tintes-naturales?idiom=es
- TAC. (Febrero de 2008). Creative City Planning Framework. Obtenido de Toronto Arts Council el 25 de noviembre de 2023:

- <https://torontoartscouncil.org/TAC/media/tac/Reports%20and%20Resources/City%20of%20Toronto/creative-city-planning-framework-feb08.pdf>
- TAC. (2023). TAC Reports. Obtenido de Toronto Arts Council el 10 de noviembre de 2023: <https://torontoartscouncil.org/TAC/media/tac/Reports%20and%20Resources/TAC%20reports/2023-TAC-Concentration-of-Artists-Report-EN-Final.pdf>
- TAC. (s.f.). TAC Eligibility Checklist. Obtenido de Toronto Arts Council el 16 de noviembre de 2023: <https://torontoartscouncil.org/grant-programs/tips-and-resources/tac-eligibility-checklist>
- UIS. (2009). Marco de Estadísticas Culturales de la UNESCO 2009. Canadá: Instituto de Estadística de la UNESCO. Obtenido de Instituto de Estadística de la UNESCO.
- UNCTAD. (2010). Creative Economy Report 2010. Obtenido de Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo el 17 de noviembre de 2023: <https://unctad.org/publication/creative-economy-report-2010>
- UNESCO. (2010). Políticas para la creatividad. Guía para el desarrollo de las industrias culturales y creativas. Argentina: UNESCO. Recuperado el 15 de noviembre de 2023, de Organización de las Naciones Unidas para la Educación: <https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/220384s.pdf>
- Zumado, M. A., & Azofeifa, D. (2018). Insectos de importancia agrícola. Guía Básica de Entomología, 204 pp.

Capacidad antioxidante de geopropóleos de *Melipona beecheii* de Yucatán, México

Roger Enrique Silveira-Chin¹, Francisco Ortiz-Salazar¹, Esaú Ruiz-Sánchez², Guadalupe López-Puc¹, Ángeles Sánchez-Contreras^{1,*}

Resumen. El geopropóleo es una sustancia natural producida por las abejas sin aguijón. Consiste en una mezcla de resinas vegetales, secreciones salivales, cera y partículas de tierra. La composición química del geopropóleo varía según el tipo de abeja que lo produce y su origen geográfico. En Yucatán los extractos etanólicos de geopropóleo de *Melipona beecheii* se han mostrado muy prometedores como alternativa natural con potencial antioxidante, consumidos en forma de suplemento para prevenir enfermedades crónico-degenerativas asociadas al estrés oxidativo. Sin embargo, actualmente no existen métodos de prueba que puedan garantizar su funcionalidad. El objetivo de este estudio es determinar la actividad antioxidante de nueve extractos etanólicos de geopropóleos de *Melipona beecheii* provenientes de siete municipios de Yucatán. El estudio pretende mostrar una posible correlación entre los principales componentes de los extractos, su color y su función antioxidante. Para lograr este objetivo, el estudio evaluó la inhibición de radicales libres (DPPH) mediante fotometría. Esto se asoció con los componentes del extracto separados por cromatografía en capa fina (TLC) y revelando por puntos antioxidantes. El estudio también analizó el contenido de polifenoles totales (PFT), flavonoides totales (FT) (Folin-Ciocalteu, tricloruro de aluminio) y el color determinado instrumentalmente (CIELAB). Los resultados mostraron que el color es una característica particular de *M. beecheii* con tonalidad amarillo verdoso y a pesar del bajo contenido de flavonoides y compuestos fenólicos detectados en comparación con otros informes, se observó un nivel prometedor de actividad antioxidante en promedio 60 %. El valor máximo de actividad antioxidante se observó en el extracto de geopropóleo de Mérida-Tamanché, alcanzando 88,55 % a una concentración de 1 µg/ml. Paralelamente, en el antibiograma la decoloración DPPH se observó principalmente para los extractos etanólicos de Tixpehual y Tamanché. Si bien hubo diferencia significativa en el PFT y FT por municipio, se destacan las muestras de Mérida-Tamanché, Tixpehual y Mayapán con mayor porcentaje de reducción del radical DPPH. Este resultado guía la selección de compuestos que se identificarán por su potencial antioxidante. Por ello, se realizan estudios palinológicos para ampliar el conocimiento de la composición asociada al origen de este producto. De esta manera, los productores pueden ofrecer una alternativa natural confiable con potencial antioxidante.

Palabras clave: Geopropóleo, *Melipona beecheii*, TLC-DPPH, Folin Ciocalteu, Antioxidante.

Abstract: Geopropolis is a natural substance produced by stingless bees. It consists of plant resins, salivary secretions, wax, and soil particles. The chemical composition of geopropolis varies depending on the type of bee that produces it and its geographical origin. In Yucatan, ethanolic extracts of *Melipona beecheii* geopropolis have shown great promise as a plant alternative with antioxidant potential, consumed as a supplement to prevent chronic-degenerative diseases associated with oxidative stress. However, there are currently no testing methods that can guarantee its functionality. The objective of this study is to determine the antioxidant activity of nine ethanolic extracts of *Melipona beecheii* geopropolis from seven municipalities of Yucatán. The study aims to show a possible correlation between the main components of the extracts, their color, and their antioxidant

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Yucatán, México.

²Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Mérida, Yucatán, México.

*Autor para correspondencia: msanchez@ciatej.mx

function. To achieve this goal, the study evaluated free radical inhibition (DPPH) using photometry. This was associated with the extract components separated by thin layer chromatography (TLC) and revealing antioxidant spots. The study also analyzed the total polyphenol content (PFT), total flavonoids (TF) (Folin-Ciocalteu, aluminum trichloride), and instrumentally determined color (CIELAB). The color is a particular characteristic of *M. beecheii* with a greenish-yellow hue. Despite the low content of flavonoids and phenolic compounds that has been detected compared to other reports, a promising level of antioxidant activity was observed, on average 60%. The maximum value of antioxidant activity was observed in the Merida-Tamanché geopropolis extract, reaching 88.55% at a concentration of 1 µg/ml. At the same time, in the antibiogram, DPPH discoloration was observed mainly for the ethanolic extracts from Tixpehual and Mérida-Tamanché. Although there was a significant difference in the content of PFT and FT by the municipality, the samples from Mérida-Tamanché, Tixpehual, and Mayapán stand out with the highest percentage of reduction of the DPPH radical. This result guides the selection of compounds that will be identified for their antioxidant potential. For this reason, palynological studies are carried out to expand knowledge of the composition associated with the origin of this product. In this way, producers can offer a reliable natural alternative with antioxidant potential.

Keywords: Geopropolis, *Melipona beecheii*, TLC-DPPH, Folin Ciocalteu, Antioxidant.

1. Introducción

En el sureste de México, en la Península de Yucatán, existe una amplia gama de especies de abejas sin aguijón (Meliponini) que son de importancia cultural, ecológica y económica para la región. Son vitales para la producción de miel (meliponicultura) y tienen potencial como polinizadores (Ayala, 1999; Quezada Euan, 2005). Las abejas sin aguijón forman parte de la familia Apidae, del orden Himenóptera. La subfamilia Apinae, compuesta por abejas sin aguijón, se diferencia de otros miembros de Apidae por su pequeño tamaño, venas reducidas en las alas anteriores, aguijón atrofiado o no funcional y ojos compuestos sin pelo. Las abejas sin aguijón son insectos de cuatro alas con una estructura en forma de "lengua" para la ingesta de alimentos líquidos, una longitud promedio de 15 mm, un abdomen no puntiagudo y relativa ausencia de pelo (Hogue, 1993; Pino et al., 2006). *Melipona beecheii* es una de las 16 especies nativas de abejas sin aguijón del sureste de México que ha sido ampliamente estudiada por su importancia ecológica y como potencial fuente de productos naturales con actividad biológica. Su miel y geopropóleo han formado parte de la medicina tradicional maya en la región mesoamericana (Quezada Euan, 2005; Ramírez-Miranda et al., 2021). El geopropóleo es un producto destacado por sus propiedades terapéuticas, como antimicrobiana, antiinflamatoria, analgésica, cicatrizante, anticariogénica y antioxidante (Alves De Souza et al., 2013; Calimag et al., 2021; Dias et al., 2017; Ramón-Sierra et al., 2019; Surek et al., 2021). Es un tipo único de propóleo producido por abejas sin aguijón, que contiene cera y tierra en su composición, con funciones similares al propóleo dentro de la colmena de *Apis mellifera* (Dutra et al., 2008). Sin embargo, las propiedades farmacológicas pueden diferir según la especie de abeja y la región geográfica donde se producen, en parte debido a la flora asociada.

Las propiedades terapéuticas del propóleo de abeja sin aguijón se atribuyen a la presencia de metabolitos secundarios, particularmente compuestos fenólicos como flavonoides y ácidos fenólicos (Zulhendri et al., 2021). En Yucatán, el geopropóleo de *Melipona beecheii* ha sido identificado como un potencial complemento para prevenir enfermedades crónico-degenerativas causadas por el estrés oxidativo. En este estudio, para determinar la actividad antioxidante biodirigida, se utilizaron extractos

de geopropóleo de siete municipios de Yucatán (Dzan, Mayapán, Maxcanú, Mérida-Tamanché, Oxkutzcab, Tekax y Tixpehual). La eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se midió mediante espectrofotometría y la inhibición de radicales libres de los componentes del extracto se evaluó mediante TLC-DPPH, en una prueba conocida como prueba de manchas antioxidantes. El estudio también cuantificó el contenido de polifenoles y flavonoides totales utilizando el método de Folin-Ciocalteu y el método de cloruro de aluminio respectivamente.

2. Materiales y Métodos

Recolección de muestras de geopropóleo. El muestreo se realizó entre febrero y marzo del 2023. Las muestras fueron adquiridas a meliponicultores particulares de 7 municipios de las zonas noroeste, poniente y sur de Yucatán, identificándose con dos letras correspondientes al municipio de colecta: (DZ) Dzan, (MY) Mayapan, (MX) Maxcanú, (TA) Mérida-Tamanché, (OX-3) Oxkutzcab-Emiliano Zapata, (OX-2) Oxkutzcab-Oyotoch, (OX-1) Oxkutzcab, (TE) Tekax, (TI) Tixpehual. En la Figura 1 se muestra su distribución geográfica.

Obtención de extractos etanólicos de geopropóleos (EEG). Los extractos se obtuvieron de acuerdo con la NOM-003-SAG/GAN-2017 con algunas modificaciones. Al geopropóleo en greña (en bruto), se le eliminaron las impurezas visibles y se trituro tamizando a 3 mm, a 20 g del geopropóleo tamizado, se adicionaron 100 ml de etanol 96° (Sigma®) para mantener una relación 1:5 p/v con el disolvente. La extracción se realizó empleando un baño ultrasónico (Bransonic®) durante 15 min a temperatura ambiente. Posteriormente la mezcla se filtró a vacío a través de una membrana de celulosa (22µm) recuperando el sobrenadante. Cada extracto recuperado se concentró a sequedad en un rotavapor (Heidolph® Laborota 4001), se determinó el peso seco y se recuperó con etanol al 96° aforando a 5 ml. Los EEG obtenidos se preservaron en frascos ámbar y se conservaron en refrigeración hasta su análisis.

Determinación de índice de color (IC): método CIELAB. La determinación del IC de los EEG, se realizó utilizando un espectrocólorímetro (CM-5 Konica Minolta®) determinando los parámetros de luminosidad (L), tonalidad roja/verde (a^*), tonalidad amarillo/azul (b^*), para determinar el IC se usó la siguiente ecuación: $IC = (a^* \cdot 1000) / (L \cdot b^*)$; Donde: L: += claro; - = oscuro; a^* : + = rojo; - = verde; b^* : + = amarillo; - = azul. Las referencias de color mostradas en el Cuadro 1, fueron obtenidas mediante un conversor de color de acceso libre de nixsensor.com empleando los datos L, a^* , b^* obtenidos con el colorímetro.

Cuantificación de compuestos fenólicos: método de Folin-Ciocalteu. La determinación de compuestos fenólicos se realizó de acuerdo con la NOM-003-SAG/GAN-2017, con algunas modificaciones. Se prepararon soluciones de cada EEG, a una concentración estándar de 0.05 mg/ml, en función de los sólidos recuperados para cada EEG. La cuantificación de PFT se realizó adicionando 500 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu (1N), manteniendo en obscuridad por 5 minutos. A esta mezcla se adicionó 1.5 ml de la solución de Na_2CO_3 (20%) y se aforó con agua destilada a 10 ml. Se mantuvo 2 horas a temperatura ambiente, protegido de la luz, para el desarrollo del color y posteriormente se determinó la absorbancia en espectrofotómetro (Jenway® 6700) ($\lambda=760$ nm). El cálculo de la concentración de PFT se realizó contra una curva estándar de ácido gálico de 6 – 100 ppm ($R^2=0.999$). Los resultados de PFT para cada uno de los EEG se expresaron como mg eq. de ácido gálico/g de peso seco EEG.

Cuantificación de Flavonoides Totales (FT): método cloruro de aluminio. La concentración de FT se determinó de acuerdo con la NOM-003-SAG/GAN-2017, con algunas modificaciones. Se prepararon soluciones de cada EEG, a una concentración estándar de 0.05 mg/ml a 1ml de esta solución se agregó 1 ml de metanol grado reactivo y 1 ml de la solución de AlCl_3 al 2 %. El blanco se preparó para cada muestra de EEG, agregando 1ml de metanol y 1ml de agua destilada. Después de 10 minutos de la reacción se determinó la absorbancia en espectrofotómetro (Jenway® 6700) ($\lambda=415$ nm). El cálculo de la concentración de FT se realizó contra una curva estándar de quercetina de 1 a 90 ppm ($R^2=0.998$). El contenido de FT se expresó como $\mu\text{g eq. de quercetina (QE)/g de peso seco EEG}$.

Inhibición de radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Se preparó una solución de DPPH (100 μM) en metanol (Sigma®) a la que se le determinó su absorbancia en espectrofotómetro ($\lambda=540$ nm), para tener el valor de referencia de 0 % de inhibición. Paralelamente se prepararon soluciones estándar de cada EEG a una concentración de 4 mg/ml en etanol (96°). A una alícuota de 250 μL de cada muestra de EEG, se agregaron 750 μL de DPPH (100 μM) y protegidos de la luz, se dejaron reposar por 30 minutos. Después de este tiempo se determinó la absorbancia en espectrofotómetro ($\lambda=540$ nm), usando como blanco 250 μL la muestra en etanol (96°) adicionada con 750 μL de metanol. Los resultados se reportan obteniendo el porcentaje de reducción de DPPH contra la absorbancia inicial de la solución de DPPH, de acuerdo con la siguiente fórmula: % de reducción = $((\text{Abs inicial} - \text{Abs final}) / (\text{Abs inicial}) \times 100)$; Donde: Abs inicial: 250 μL de etanol (96 %) y 750 μL de DPPH (100 μM); Abs final: (Abs de EEG con DPPH - Abs de EEG con metanol).

Revelado de puntos antioxidantes por Cromatografía en capa fina-DPPH. La cromatografía de capa fina, revelada por DPPH se utilizó para determinar los puntos antioxidantes de acuerdo con Bertrams et al., 2013 con algunas modificaciones. Las soluciones de EEG en concentraciones 1mg/ml se aplicaron en una placa de gel de sílice de fase normal en puntos previamente marcados a 1 cm de distancia de la base y de separación entre ellos. La placa se eluyó en una cámara vertical pre-saturada por 15 min, con una fase móvil de hexano: acetato de etilo: ácido fórmico (10:4:0.5), hasta que el frente del disolvente alcanzó 8 cm de altura a partir del punto de aplicación. Después de la elución y una vez evaporado el disolvente, las placas se observaron con una cámara de luz UV a 365nm y se calcularon los factores de retención (R_f) de cada componente. Posteriormente, la placa se sumergió en una solución metanólica de DPPH (100 μM) hasta impregnación total, después se dejó secar por 15 minutos en una campana de extracción de gases. El análisis de decoloración de DPPH se realizó en función del R_f determinado previamente para cada componente.

3. Resultados y Discusión

Distribución geográfica de la colecta. Las zonas de colecta se delimitan en la Figura 1, las muestras de geopropóleo se adquirieron con productores de miel de Melipona, y se colectaron de parte interna de la tapa de la caja. La cantidad recuperada en cada caja fue variable, ya que como se muestra en la Figura 2, la abundancia del geopropóleo es un indicador de la salud y fortaleza de la colmena de acuerdo con Machado et al., 2019, así como del tiempo de su establecimiento. Las zonas seleccionadas concuerdan con lo reportado en la base de datos del Fondo Mundial de Información sobre

Biodiversidad (GBIF) por sus siglas en inglés. Donde indica que la zona que se delimita en la Figura 1, corresponde con el mayor número de reportes de manejo y preservación de *M. beecheii*.

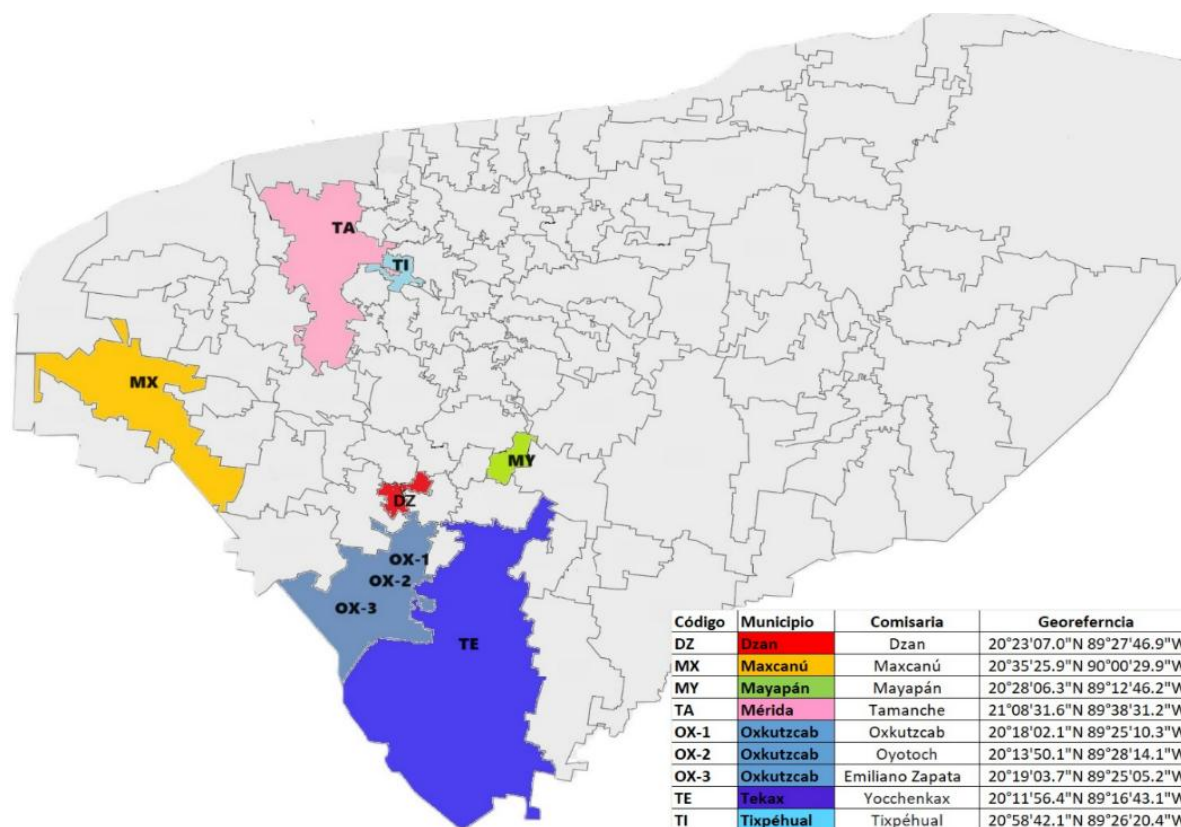
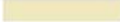
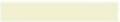
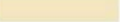
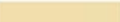
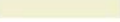


Figura 1. Mapa de muestreo de geopropóleos de *Melipona beecheii* en la primavera de 2023.

Rendimiento de extracción y determinación de color de EEG. En los resultados de rendimiento de extracción de geopropóleos de *Melipona beecheii* con etanol (Cuadro 1), observamos que existe una amplia variabilidad entre ellos, con un máximo de recuperación de 7.70% (TE) y un mínimo de 0.75% (MY). Estudios realizados por Bonsuccesso et al. (2023), reportaron hasta un máximo de 9.3 % de materia orgánica en geo propóleo de *Melipona scutellaris*, brasileña. En este caso, para las 7 regiones de Yucatán evaluadas se obtuvo en promedio 4.90% de rendimiento de recuperación en la fracción orgánica polar (etanol), en donde se esperaba recuperar compuestos orgánicos altamente soluble en etanol, específicamente de PFT y FT, por lo que las tonalidades esperadas concuerdan con lo obtenido por Ortiz-Reyes et al. (2022), encontrando valores de IC entre -2.245 y -0.066, correspondientes a la tonalidad amarillo verdoso, como se observa en el Cuadro 1. Para determinar que parámetro influye más en la determinación del color, se realizó una correlación entre los parámetros individuales, encontrando una ligera correlación negativa entre el IC y la luminosidad ($L = -0.63$), semejante a la obtenida de forma positiva entre el IC y el tono a^* (0.59). A su vez, la luminosidad se correlaciona en mayor proporción con el valor b^* (-0.93), también en forma negativa. Por lo que el color de los EEG

en general se clasifica como amarillo verdoso opalescente (Figura 3). Si bien no encontramos reportes que puedan asociar el color de los extractos de geopropóleo con sus componentes activos, existen reportes que indican la posibilidad de una mayor abundancia de PFT y FT por el origen floral de algunas especies melíferas y el color de la miel de melipona, debida a la preferencia de pecoreo de éstas (Ortiz-Reyes et al., 2022).

Cuadro 1. Rendimiento, índice de color, cuantificación de polifenoles totales, flavonoides totales y % de reducción de radical DPPH en EEG de *M. beecheii* colectados en siete municipios de Yucatán, México.

Muestra	Rendimiento	Determinación de color-CIELAB	Referencia de color	PFT	FT	Reducción radical DPPH
	%	IC		mg eq. de AG/g peso seco EEG	µg eq. de QE/g peso seco EEG	%
Dzan (DZ)	5.11 ^c	-1.109 ^d		2.05±0.000 ^c	10.70±0.096 ^d	48.34±0.19 ^c
Maxcanú (MX)	4.98 ^c	-1.535 ^c		2.10±0.010 ^c	9.37±0.236 ^c	16.07±0.42 ^a
Mayapán (MY)	0.75 ^e	-2.245 ^h		20.83±0.063 ^e	86.33±1.304 ^h	88.49±0.24 ^h
Mérida-Tamanché	2.17 ^f	-0.667 ^g		21.24±0.058 ^f	41.07±0.150 ^g	88.55±0.37 ^h
Oxkutzcab (OX-1)	5.92 ^b	-0.411 ^b		1.57±0.062 ^b	6.89±0.054 ^b	49.52±0.73 ^d
Oxkutzcab-Oyotoch (OX-2)	7.69 ^a	-0.066 ^a		1.27±0.000 ^a	5.61±0.084 ^a	82.68±0.28 ^f
Oxkutzcab-Emiliano Zapata (OX-3)	6.25 ^b	-0.258 ^b		1.47±0.137 ^b	6.76±0.101 ^b	22.84±0.35 ^b
Tixpehual (TI)	3.5 ^d	-0.703 ^f		5.02±0.036 ^d	23.35±0.307 ^f	87.31±0.22 ^g
Tekax (TE)	7.7 ^a	-0.653 ^e		1.30±0.000 ^a	12.84±0.292 ^e	61.65±0.23 ^e
Valor Promedio	4.90	-0.85	NA	6.32	22.48	60.61
Valor máximo	6.25	-0.066		21.24	86.33	88.96
Valor mínimo	0.75	-2.245		1.27	5.52	15.82

Letras diferentes por columna indican diferencia mínima significativa (LSD) $p < 0.05$ de Fisher

Cuantificación de polifenoles totales (PFT) y flavonoides totales (FT). La evaluación por región de muestreo tiene una amplia dispersión de datos en cuanto a rendimiento y contenido de PFT y FT (Cuadro 1), la prueba estadística de diferencia significativa muestra 7 grupos diferentes, para ambas determinaciones. Destacando la similitud entre las muestras colectadas en (OX-2) y (TE) (ambas con el menor contenido de PFT y FT), y una diferencia entre los tres meliponarios visitados en Oxkutzcab

(OX-1=OX-3 $\neq$ OX-2=TE). En general los PFT en los EEG de *M. beecheii* varían de 1.27 (OX-2) a 21.24 (TA), con un valor promedio de 6.32 mg eq. de ácido gálico/g de peso seco EEG, mientras que los FT oscilan entre 5.61(OX-2) y 86.33 (MA), con un valor promedio de 22.48 μ g eq. de QE/g peso seco EEG (Cuadro 1). Estos valores son similares a lo reportado por dos Santos et al., 2017, donde evaluaron PFT y FT en extractos hidroalcohólicos de geopropóleos brasileños de *Melipona quadrifasciata* (82.4 mg eq. de AG de PFT y 0.79 μ g eq. QE de FT por g de extracto).



Figura 2. Comparación de cajas con buena a) y pobre b) producción de geopropóleo de *M. beecheii*

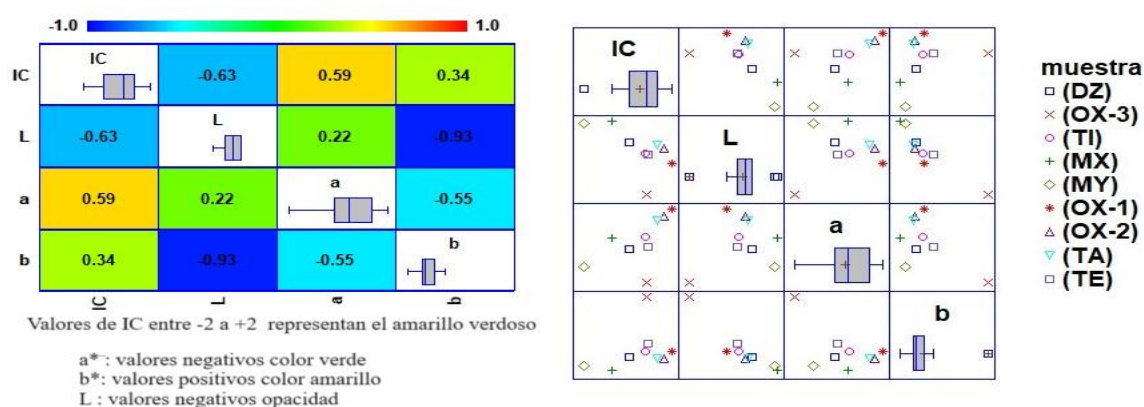


Figura 3. Correlación de Pearson para evaluar la influencia de los parámetros L, a*, b*, en la determinación del color de EEG de siete municipios de Yucatán.

% de inhibición de radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo DPPH, método espectrofotométrico. Los resultados de la capacidad antioxidante de los EEG de *M. beecheii* son bastante dispersos, variando entre 16.07% y 88.65% de inhibición de radical (Cuadro 1 y Figura 4). Los extractos se probaron para determinar su capacidad de inhibir el radical DPPH, con una concentración constante de los extractos (1 mg/ml), reportando el % de inhibición del radical/mg de EEG. Los datos muestran 7 grupos, donde el mayor % inhibición del radical se da por los EEG de MY y TA con valores muy similares (88.49% y 88.55% respectivamente), pese a ser regiones diferentes. Para investigar más a fondo la correlación entre el contenido de PFT y FT y la capacidad antioxidante del EEG, se realizó una comparación entre muestras. El resultado del análisis de correlación de Pearson se muestra en la Figura 4. Se encontró que existe la correlación positiva más alta entre el contenido de PFT y el contenido de FT (0.89). Además, se encontró una correlación negativa entre la luminosidad L y el tono b (-0.93). Esto sugiere que los EEG de tonos similares (amarillo verdoso) contienen una cantidad similar de PFT y FT. También se encontró una correlación negativa débil entre el IC y el contenido de FT (-0.66) (Figura 4), que es similar a la correlación entre el IC y la luminosidad (-0.63) (Figura 3). De manera similar, se encontró una correlación entre PFT, FT y % de inhibición de DPPH (0.60, 0.66 respectivamente). Por lo tanto, se puede esperar que, con un mayor número de datos, la actividad antioxidante pueda estimarse en función del color debido al contenido de PFT y FT, los cuales están relacionados en la misma proporción. El resultado positivo para las muestras de TA y MY se puede atribuir a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides que se encuentran en esta especie en particular, como lo sugiere un estudio previo realizado por Asem et al., 2019, donde se encontró una fuerte correlación entre el contenido PFT y FT del propóleo y sus propiedades antioxidantes en tres especies de abejas sin aguijón: *Tetrigona apicalis*, *Heterotrigona itama* y *Geniotrigona thoracica*. En este caso, de nueve muestras, cinco mostraron al menos una reducción del 50 % de los radicales DPPH (100 mM) a una concentración de EEG de 1 mg/ml. Este resultado se corrobora por la cuantificación de compuestos fenólicos y flavonoides en este estudio (Cuadro 1), donde algunas muestras mostraron valores similares a los encontrados en otras especies de abejas sin aguijón.

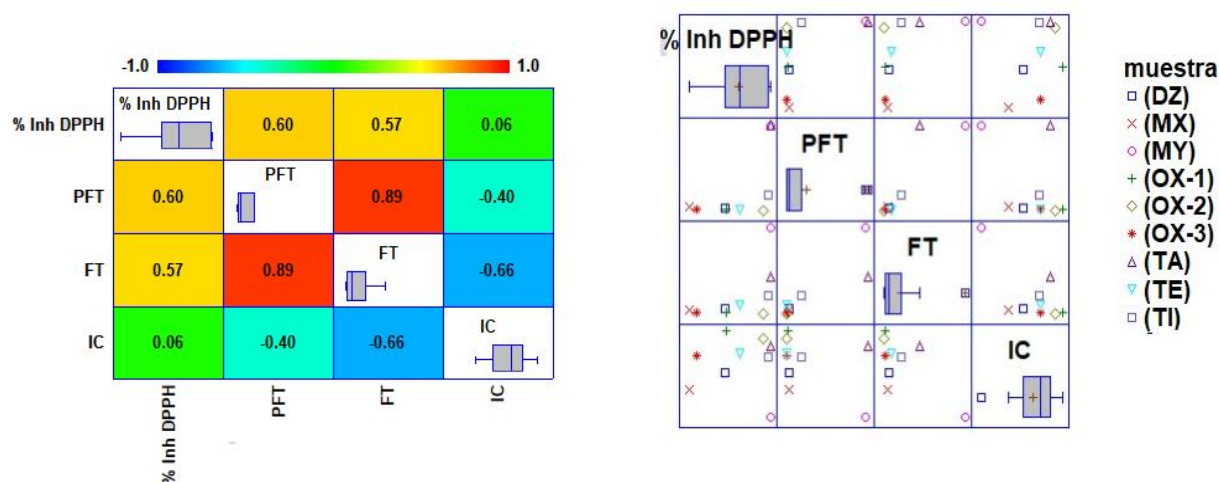


Figura 4. Correlación de Pearson entre el IC, el contenido de PFT, FT y % de inhibición del radical DPPH, evaluados a EEG de *M. beecheii* colectados en siete municipios de Yucatán.

Cromatografía de capa fina y revelado de puntos antioxidantes-DPPH. La estimación colorimétrica de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es un método sencillo que se utiliza comúnmente para medir antioxidantes. Sin embargo, este método no es el más adecuado para evaluar extractos/fracciones coloreadas, ya que pueden verse afectados por la presencia de pigmentos. En el caso de los EEG de *M. beecheii*, donde el color es muy variable, utilizamos blancos para cada muestra, a fin de determinar la actividad antioxidante a una misma concentración donde solo se mide en función del peso total del extracto. Por lo tanto, no es posible identificar la actividad de los componentes individuales, cuando estos pueden estar en una menor proporción en el extracto. Como alternativa de bajo costo se propuso utilizar cromatografía de capa fina (TLC) combinada con la detección de radicales DPPH para detectar puntos antioxidantes *in situ*, y comparar extractos de color variable. Este método emplea un análisis validado en otros reportes (Islam et al., 2020), ya que se basa en la separación previa de componentes, mediante cromatografía en capa fina (TLC) y un revelado posterior de los componentes antioxidantes por decoloración de DPPH.

La separación cromatográfica se muestra en la figura 5A en la que podemos observar una placa revelada con UV, y en la figura 5B la misma placa revelada posteriormente con DPPH. Logrando identificar zonas fluorescentes al UV que decoloran el DPPH, encontrándose principalmente en el punto de aplicación y al final de la elución (compuestos de alta y baja polaridad respectivamente). Lo que explicaría, la actividad presente en todas las muestras. Sin embargo, destaca la muestra de TA con una decoloración más abundante en el compuesto con un Rf de 0.312, lo cual concuerda con su alta capacidad de decolorar el DPPH en el método espectrofotométrico (Fig. 5B). Adicionalmente este mismo extracto (TA), muestra la presencia de una mancha de color marrón a un Rf 0.687, que también decolora ligeramente el DPPH. En contraste la muestra TI, posee en ese mismo Rf de 0.687, un componente que revela de un color diferente en UV, pero que aparentemente es el responsable de la capacidad antioxidante determinada para esa muestra en el método espectrofotométrico. Este hallazgo concuerda con los resultados de Bertrams et al., 2013 que revelan que en el rango de Rf de 0.4 a 0.7 la presencia de antioxidantes conocidos como el ácido cafeico, CAPE y sus derivados, crisina, galangina, naringenina y pinocembrina.

La muestra de MY, aun cuando con el método espectroscópico, alcanzo un valor de inhibición del radical DPPH similar a la muestra de TA, en el revelado de puntos antioxidantes solo muestra una ligera mancha de decoloración de DPPH, al final de la elución en un Rf 0.975, muy semejante al observado en todas las otras muestras, por lo que esta incipiente decoloración del DPPH en la placa de TLC, puede atribuirse a compuestos no polares como residuos de ceras solubles en etanol, como lo reporta Rodríguez Pérez et al., 2020, para propóleos de *Apis mellifera*, producidos en diferentes zonas de la república mexicana encontrando mayor actividad en aquellas de origen con abundancia en árboles resinosos. Por ello, se considera que las similitudes encontradas en las muestras con un mínimo de reducción del DPPH, se deben probablemente a que la recolección de polen y ceras característica de la especie *M. beecheii*, son similares en las diferencias zonas de recolección de Yucatán porque esta especie de abejas disponen del mismo tipo de floración y especies resinosas específicas, como se sugiere en el estudio de Sârbu & Moț, 2011 en el que mediante un análisis de imágenes de TLC se encontraron patrones de similitud en regiones con origen geográfico y flora local similar.

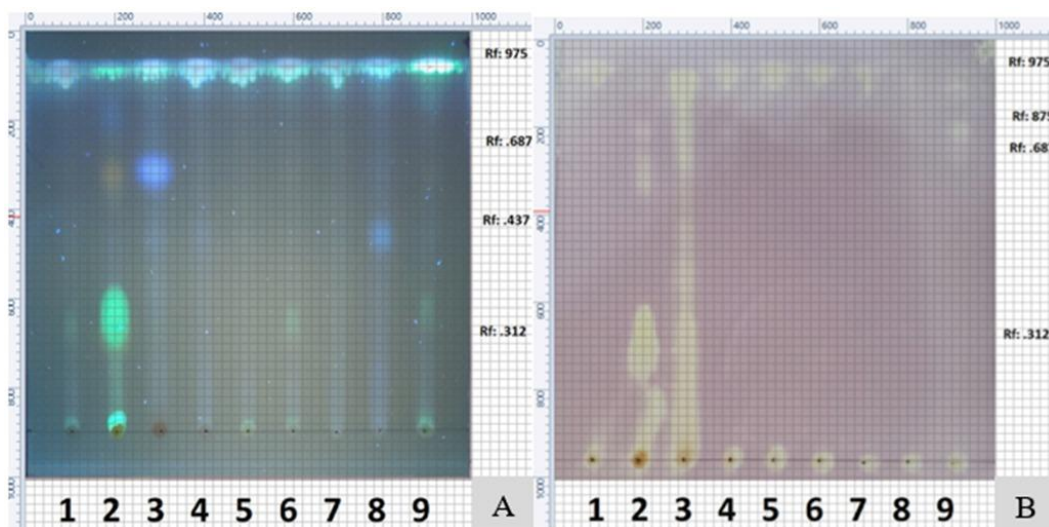


Figura 5. Cromatografía de capa fina de geopropóleo de *M. beecheii* con factor de retención (Rf) observadas en una cámara de luz UV a $\lambda=365$ nm. Cada carril se asoció a un número que corresponde a una muestra de diferente localidad. 1: (TE) Tekax, 2: (TA) Mérida-Tamanché, 3: (TI) Tixpehual, 4: (OX-2) Oxkutzcab-Oyotoch, 5: (OX-1) Oxkutzcab, 6: (DZ) Dzan, 7: (OX-3) Oxkutzcab-Emiliano Zapata, 8: (MX) Maxcanú, 9: (MY) Mayapan.

Sin embargo, este mismo nivel de similitud entre las muestras de propóleo, hace imposible de diferenciar mediante una simple observación visual de los puntos de decoloración de DPPH. Por lo que para continuar con esta investigación se requiere identificar mediante comparación con estándares aquellos componentes con alta actividad, o bien empleando agentes reveladores específicos para detectar grupos funcionales en estos compuestos, que les confieran su capacidad de atrapar e inhibir los radicales DPPH (Cieśła et al., 2008; Casale et al., 2012).

4. Conclusiones

En la mayoría de los reportes se ha determinado el potencial antioxidante de los extractos de propóleo mediante ensayos fotométricos. Sin embargo, el ensayo TLC-DPPH permite evaluar la contribución de los compuestos en comparación con la actividad global. En este caso, para las muestras evaluadas este tipo de revelado TLC-DPPH, solo es evidente para la muestra de Tamanché y Tixpehual, correlacionando con el mayor contenido de PFT y FT asociadas a un color amarillo verdoso opalescente característico en toda la región de colecta.

El geopropóleo de *M. beecheii* procedente de los siete municipios evaluados, resultó con buena capacidad antioxidante, reflejada en la inhibición del radical DPPH, obteniendo valores promedio de 60.21 % destacando las zonas de Tamanché, Tixpehual y Mayapán que poseen capacidad antioxidante contra el radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) superior al 85% de reducción de este radical por μg de extracto. De igual forma estas tres muestras contienen compuestos fenólicos y flavonoides similares a los reportados en la especie *A. mellifera*. Por lo que este método cromatográfico resultó útil y económico para la evaluación rápida del potencial antioxidante, pudiendo sugerirse como

un parámetro de control de calidad de los extractos que se comercializan de forma artesanal, y en conjunto con el uso de estándares, se puede proponer como un método de control que permita conocer la composición y originalidad de este producto.

Agradecimientos

A CONAHCYT por la beca otorgada a Silveira Chin Roger Enrique¹ para realizar estudios de posgrado en CIATEJ (Beca No: 827283), a Leticia Basulto Palmera y Mario Rodrigo Navarro Meneses por la vinculación con el grupo de productoras Yaal-Kab que amablemente nos facilitaron las muestras en sus meliponarios y a Pablo V. Monroy Gómez que amablemente nos facilitó la toma de muestras en el Meliponario “Melipona Guardiania”.

Referencias Citadas

- NOM-003-SAG/GAN-2017, Propóleos, producción y especificaciones para su procesamiento. (2017).
- Alves De Souza, S., Camara, C. A., Monica Sarmento Da Silva, E., & Silva, T. M. S. (2013). Composition and antioxidant activity of geopropolis collected by *Melipona subnitida* (jandaíra) bees. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
- Asem, N., Adilah Abdul Gapar, N., Hussaini Abd Hapit, N., Azam Omar, E., & Azam Omar Ñ, E. (2019). Correlation between total phenolic and flavonoid contents with antioxidant activity of Malaysian stingless bee propolis extract.
- Ayala, R. (n.d.). Ayala, R. 1999. Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: meliponini). *Folia Entomologica Mexicana* 106:1-123.
- Bertrams, J., Müller, M. B., Kunz, N., Kammerer, D. R., & Stintzing, F. C. (2013a). Phenolic compounds as marker compounds for botanical origin determination of German propolis samples based on TLC and TLC-MS. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86(1), 143–153.
- Bertrams, J., Müller, M. B., Kunz, N., Kammerer, D. R., & Stintzing, F. C. (2013b). Phenolic compounds as marker compounds for botanical origin determination of German propolis samples based on TLC and TLC-MS. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86(1), 143–153.
- Bonsucesso, J. S., Nascimento, A. S. do, da Silva Conceição, A. L., Costa, O. V., Dias, F. de S., & Carvalho, C. A. L. de. (2023). Physical characterization of geopropolis produced by *Melipona scutellaris* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Apicultural Research*, 62(5), 1233–1239.
- Calimag, K. P. D., Arbis, C. C. H., Collantes, T. M. A., Bariuan, J. V., Ang, M. J. C., Cervancia, C. A., Desamero, M. J. M., & Estacio, M. A. C. (2021). Attenuation of carrageenan-induced hind paw edema and plasma $\text{tnf-}\alpha$ level by philippine stingless bee (*Tetragonula biroi* friese) propolis. *Experimental Animals*, 70(2), 185–193.
- Casale, M., Oliveri, P., Casolino, C., Sinelli, N., Zunin, P., Armanino, C., Forina, M., & Lanteri, S. (2012). Characterisation of PDO olive oil Chianti Classico by non-selective (UV-visible, NIR and MIR spectroscopy) and selective (fatty acid composition) analytical techniques. *Analytica Chimica Acta*, 712, 56–63.
- Cieřla, Ł., Bogucka-Kocka, A., Hajnos, M., Petruczynik, A., & Waksmundzka-Hajnos, M. (2008). Two-dimensional thin-layer chromatography with adsorbent gradient as a method of chromatographic fingerprinting of furanocoumarins for distinguishing selected varieties and forms of *Heracleum* spp. *Journal of Chromatography A*, 1207(1–2), 160–168.

- Dias, C. R., Bóbany, M. D., Taveira, M. M. V., & Alves, S. V. (2017). Acción antibacteriana de geopropolis de *Melipona quadrifasciata* en cultivo de secreción de oídos en perros. *Revista MVZ Córdoba*, 22(2), 5837–5843.
- dos Santos, L., Hochheim, S., Boeder, A. M., Kroger, A., Tomazzoli, M. M., Dal Pai Neto, R., Maraschin, M., Guedes, A., & de Cordova, C. M. M. (2017). Chemical characterization, antioxidant, cytotoxic and antibacterial activity of propolis extracts and isolated compounds from the Brazilian stingless bees *Melipona quadrifasciata* and *Tetragonisca angustula*. *Journal of Apicultural Research*, 56(5), 543–558.
- Dutra, R. P., Nogueira, A. M. C., Marques, R. R. D. O., Costa, M. C. P., & Ribeiro, M. N. S. (2008). Avaliação farmacognóstica de geopropolis de *Melipona fasciculata* Smith da Baixada maranhense, Brasil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 18(4), 557–562.
- GBIF. (n.d.). <https://www.gbif.org>. Retrieved February 20, 2024, from <https://www.gbif.org/species/1340088>
- Hogue, C. Leonard. (1993). *Latin American insects and entomology*. 536.
- Islam, M. K., Sostaric, T., Lim, L. Y., Hammer, K., & Locher, C. (2020). Development and validation of an HPTLC–DPPH assay and its application to the analysis of honey. *Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*, 33(3), 301–311.
- Machado, A., Ward, D. C., Álvarez Sánchez, A., Pablo González Placeres, J., Reyes, R. D. R., Ward, C., Sánchez, Á., Placeres, G., & Reyes, R. (2019). Población de crías y reservas de alimentos en colmenas racionales de *Melipona beecheii* Bennett como factores básicos para su salud. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 128–133. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/327>
- Ortiz-Reyes, L. Y., Quiroz-García, D. L., Arreguín-Sánchez, M. L., & N., R. F. (2022). Origen botánico y caracterización fisicoquímica de la miel de meliponinos (Apidae: Meliponini) de Teocelo, Veracruz, México. *POLIBOTÁNICA*, 0(54).
- Pino, J. A., Marbot, R., Delgado, A., Zumárraga, C., & Sauri, E. (2006). Volatile Constituents of Propolis from Honey Bees and Stingless Bees from Yucatán. *Journal of Essential Oil Research*, 18(1), 53–56.
- Quezada Euan, J. J. G. (2005). *Biología y uso de las abejas sin aguijón de la península de Yucatán, México ...* - José Javier G. Quezada Euán - Google Libros (UADY, Vol. 16).
- Ramírez-Miranda, I., Betancur-Ancona, D., Moguel-Ordóñez, Y. (2021). Physicochemical and Microbiological Standards of Honey Produced by Genus *Melipona*. *Journal of Apicultural Science*, 65(2), 197–216.
- Ramón-Sierra, J., Peraza-López, E., Rodríguez-Borges, R., Yam-Puc, A., Madera-Santana, T., & Ortiz-Vázquez, E. (2019). Partial characterization of ethanolic extract of *Melipona beecheii* propolis and in vitro evaluation of its antifungal activity. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(3), 319–324.
- Rodríguez Pérez, B., Canales Martínez, M., Guillermo, J., Carrillo, P., & Cruz Sánchez, A. (2020). Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos. *Acta Universitaria*, 30, 1–30.
- Sârbu, C., & Moț, A. C. (2011). Ecosystem discrimination and fingerprinting of Romanian propolis by hierarchical fuzzy clustering and image analysis of TLC patterns. *Talanta*, 85(2), 1112–1117.
- Surek, M., Fachi, M. M., de Fátima Cobre, A., de Oliveira, F. F., Pontarolo, R., Crisma, A. R., de Souza, W. M., & Felipe, K. B. (2021). Chemical composition, cytotoxicity, and antibacterial activity of propolis from Africanized honeybees and three different Meliponini species. *Journal of Ethnopharmacology*, 269, 113662.
- Zulhendri, F., Chandrasekaran, K., Kowacz, M., Ravalía, M., Kripal, K., Fearnley, J., & Perera, C. O. (2021). Antiviral, antibacterial, antifungal, and antiparasitic properties of propolis: A review. *Foods*, 10(6), 1360.

Bacterias aisladas de larvas de *Plutella xylostella* (palomilla dorso de diamante) con potencial bioinsecticida

Susana Martínez-Martínez^{1,*}, Raquel Alatorre-Rosas²

Resumen. *Plutella xylostella* (L.) o también llamada palomilla dorso de diamante es la plaga más importante en los cultivos de la familia de las crucíferas, se estiman pérdidas que van del 50 al 90% de la producción, si consideramos que gran parte de esta se destina a la exportación, estas son significativas y México no es la excepción respecto a este problema, es por ello que en el Colegio de Postgraduados se está trabajando con temas relevantes para el manejo integrado de esta plaga (insecticidas, extractos vegetales, hongos y bacterias entomopatógenas, etc.). La cría establecida en el área de Entomología (Colegio de Postgraduados) se vio severamente afectada por la mortandad encontrada en todos los estadios (larvas, pupas y adultos). Por esta razón y tratando de averiguar el problema de origen se propuso el objetivo de aislar, caracterizar e identificar la diversidad de cepas bacterianas asociadas a las larvas enfermas. Como primer paso en todo proceso, se seleccionaron 10 larvas al azar de 2do, 3er y 4to Instar con síntomas (larvas cafés), se desinfestaron de forma superficial con hipoclorito de sodio al 1% y etanol al 70% y finalmente se hicieron diluciones seriadas de la 10^{-1} a la 10^{-6} en placas con medio Luria Bertani. Se obtuvieron seis aislados, estos predominaron en las diferentes diluciones y repeticiones, se realizaron pruebas bioquímicas y finalmente se identificaron por el gen 16 rRNA, con un 100% de cobertura e identidad para *Serratia nematodiphila*, *Serratia* sp, *Enterococcus caseliflavus*, *Enterococcus gallinarum*. Este tipo de bacterias han sido reportadas como entomopatógenas de insectos. Por lo que estas cepas aisladas pueden tener uso con potencial bioinsecticida.

Palabras clave: Control Microbiano, Instar, 16 rRNA.

Abstract. *Plutella xylostella* (L.), also known as the diamondback moth, is the most important pest in cruciferous crop family. Losses are estimated to range from 50 to 90% of production. If we considering that a generous portion of these crops is destined for exportation, the losses are significant, and Mexico is no exception to this problem. Therefore, research is being conducted at the Colegio de Postgraduados on relevant topics for the integrated management of this pest (such as insecticides, plant extracts, entomopathogenic fungi and bacteria, etc.). The rearing of *Plutella xylostella* established in the Entomology area (Colegio de Postgraduados) was severely affected by mortality found in all stages (larvae, pupae, and adults). For this reason, and in an attempt to determine the origin of the problem was propose the objective of isolating, characterizing, and identifying the diversity of bacterial strains associated with diseased larvae. 10 symptomatic larvae (brown larvae) from 2nd, 3rd, and 4th instars were randomly selected, superficially disinfested with 1% sodium hypochlorite and 70% ethanol, and serial dilutions from 10^{-1} to 10^{-6} were made on Luria Bertani agar plates. Six isolates were obtained, which predominated in different dilutions and repetitions. Biochemical tests were performed, and finally, they were identified by the 16S rRNA gene, with 100% coverage and identity for *Serratia nematodiphila*, *Serratia* sp, *Enterococcus caseliflavus*, and *Enterococcus gallinarum*. These types of bacteria have been reported as entomopathogenic to insects. Therefore, these isolated strains may have potential as bioinsecticides.

Keywords: Microbian Control, Instar, 16 rRNA.

¹Investigadoras e Investigadores COMECYT-EDOMEX, Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, México.

*Autor para correspondencia: susyid11@gmail.com

1. Introducción

La palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (L.) es considerada una de las plagas más importantes de las crucíferas cultivadas (brócoli) y silvestres en varias partes del mundo, debido a su voracidad, falta de enemigos naturales y su potencial de reproducción (Huang et al., 2015), más de 25 generaciones por año (Mahar et al., 2004). Como resultado, las pérdidas por esta plaga pueden alcanzar el 90%, y sólo unas cuantas larvas de cuarto estadio en una inflorescencia de brócoli la pueden hacer invendible, siendo el control de esta plaga de los más costosos en términos monetarios (Wei et al., 2010).

En México, la mayor parte de la producción de brócoli es para exportación, tan sólo el 97.5% de las exportaciones de este vegetal son adquiridas por Estados Unidos, seguido de Canadá y Países europeos (SIAP, 2023; Rodríguez et al., 2020). En su mayor parte, el manejo de esta plaga es realizado por el uso de insecticidas, el problema que conlleva la aplicación de estos productos es la resistencia que se genera por el uso excesivo y continuo de estos (Shanivarsanthe et al., 2016). Dada la importancia del cultivo en el país, actualmente se están buscando alternativas naturales para el combate de las plagas, especialmente mediante el uso de enemigos naturales, que son de importante valor ecológico y pueden incluirse en estrategias de control altamente efectivas y amigables con el ambiente (Naeimamini et al., 2010), tal es el caso de los microorganismos entomopatógenos, en especial las bacterias que predominan en esta asociación (Rajashekhar et al., 2017) debido a que varias de las nuevas estrategias de control microbiano se basa en estos microorganismos que se encuentran albergados en el intestino o sobre el cuerpo del insecto (Shanivarsanthe et al., 2016; Rajashekhar et al., 2017). Se ha identificado que la mayoría de las bacterias que tienen asociación simbiótica con insectos y que pueden tener potencial entomopatógeno pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Pseudomonaceae, Staphylococcaceae y Enterococcaceae (Almeida et al. 2017; Martínez et al., 2023; Voirol et al., 2018), por lo tanto, existe una gran diversidad microbiana. Se ha documentado que las bacterias intestinales exhiben propiedades antagónicas y es uno de los componentes del mecanismo de defensa del insecto huésped contra hongos fitopatógenos y otros que son agentes con potencial de biocontrol (Indiragandhi et al., 2008). Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue aislar, caracterizar la diversidad de cepas bacterianas asociadas a las larvas enfermas de *Plutella xylostella* e identificar si alguna de ellas tiene potencial bioinsecticida.

2. Materiales y Métodos

Aislamiento de colonias bacterianas. Se emplearon 10 larvas enfermas de *Plutella xylostella* (L2, L3 y L4) al azar obtenidas de la cría establecida en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. El grupo de individuos se colocó en una bolsa Ziploc® con CO₂ durante 10 minutos; transcurrido este lapso se colocaron en una cámara de acetato de etilo durante 10 minutos. Posteriormente, los individuos fueron desinfestados con hipoclorito de sodio al 1% (5 minutos), etanol al 70% (2 minutos) finalmente se enjuagaron en seis ocasiones con agua destilada estéril, y se colocaron en papel absorbente estéril (Hernández-Flores et al., 2015). Por último, fueron depositados en un tubo Eppendorf estéril con 900 µl de agua destilada estéril y se maceraron con un pistilo, a partir de esta suspensión concentrada se realizaron diluciones seriadas de 10⁻¹ hasta 10⁻⁶. De cada dilución, se sembraron por triplicado 100 µl en placas Petri con medio de cultivo Agar Luria Bertani (Dibico, USA) y se distribuyeron con asa Digiralsky. Las placas se incubaron a 25 °C hasta que se observó

crecimiento bacteriano. Las bacterias se purificaron mediante la técnica de estría cruzada (Seeley et al. 1991). Todo el procedimiento se realizó en la campana de flujo laminar.

Caracterización macro y microscópica de las bacterias. La caracterización macro y microscópica de las bacterias se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Seeley et al. (1991). En la macroscópica se determinó la forma de la colonia, tamaño (mm), borde, color y consistencia. Para la microscópica se realizó la técnica tinción de Gram donde se determinó forma de las células, reacción al colorante (+/-), disposición y tamaño en un fotomicroscopio Leica Modelo DM500 Leica Microsystems, (Switzerland) a 100x con aceite de inmersión y el programa Leica Application Suite, versión 3.0.0 Copyright© 2013. Se tomaron fotografías digitales de las células bacterianas (n=100). Las imágenes de las células fueron procesadas con el programa GIMP versión 2.10.22 (GNU Image Manipulation Program) y para determinar las medidas se utilizó Image J versión 3.00.

Pruebas de patogenicidad en rodajas de papa. Se realizaron pruebas de patogenicidad en rodajas de papa, para ello se desinfestaron las papas de forma superficial con hipoclorito de sodio al 1% (5 minutos), se enjuagaron con agua destilada estéril y se dejaron secar en la campana de flujo laminar, se cortaron en rodajas y se individualizaron en cajas de Petri con papel filtro estéril (Whatman®) humedecido con agua destilada estéril, se les hizo una incisión vertical con el bisturí estéril y se colocó inóculo (seis cepas) con una asa bacteriológica, se realizaron 3 repeticiones por cepa más un control.

Prueba de catalasa. En un portaobjeto estéril se colocó una gota de agua oxigenada 11v (Protec®), y con el asa bacteriológica se tomó inóculo de 24 h y se mezcló hasta obtener la reacción de acuerdo a la metodología propuesta por Seeley et al (1991).

Pruebas Api 50 CH. Se realizó un patrón de fermentación de hidratos de carbono con la galería enzimática API CH. Para ello, se hizo una suspensión bacteriana con la escala de McFarland (6×10^8) en 2 mL de agua destilada estéril, posteriormente la suspensión fue mezclada con la ampolla de API 50 CH Medium y transferida con una micropipeta a cada una de las cúpulas, finalmente se adicionaron unas gotas de aceite mineral estéril y se incubaron a 30 °C durante 24 y 48 h.

Identificación molecular. La colocación taxonómica de las bacterias se realizó mediante la amplificación de una región del gen 16S del rADN con los iniciadores universales 8F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') y 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3') que amplifican un fragmento de 1500 pares de bases (bp) (Weisburg et al. 1991; Janda y Abbot 2007). La extracción de ADN se realizó de colonias bacterianas puras con el Kit DNeasy Plant Mini kit (Qiagen®, USA), siguiendo el protocolo de extracción indicado por el fabricante. La calidad y cantidad de ADN se verificó por espectrofotometría en un Nanodrop™ (ThermoScientific). La mezcla de reacción para PCR se preparó a un volumen final de 25 µL constituido por 17.37 µL de agua libre de nucleasas (Promega®, USA), 5 µL de Buffer 5X, 0.2 mM de dNTP (Promega®, USA), 0.4 µM de cada iniciador, 1.25 U de DNA Polimerasa (Promega®, USA) y 1 µL de ADN (15 ng) de cada muestra. Las amplificaciones se realizaron en un Termociclador (BioRad) con un ciclo inicial de desnaturalización a 95 °C por 15 min, 30 ciclos de 95 °C por 1 min, 54 °C por 1 min, y una extensión a 72 °C por 2 min, y una extensión final a 72 °C por 10 min (Galkiewicz & Kellogg 2008). Para verificar los productos de PCR, se realizó una electroforesis en gel de agarosa y se visualizaron en un transiluminador. Los productos de PCR se enviaron a la compañía Macrogen (Corea) para su secuenciación directa.

Análisis de datos. Las secuencias se editaron utilizando el Software Bioedit v.7.2.5 (Hall, 1999) y se compararon en la base de datos del National Center for Biotechnology (NCBI), usando la

herramienta de alineamiento básica local (BLAST por sus siglas en inglés) implementado en GenBank. Con base en el análisis BLAST se obtuvieron secuencias con la mayor similitud a las secuencias obtenidas en este estudio. Las secuencias se analizaron para su determinación taxonómica mediante el análisis de Máxima Verosimilitud basado en el modelo Tamura-Nei con el programa MEGA (Molecular Evolutionary Genetic Analysis ver. 5, (Tamura et al., 2011). La robustez de la rama se estimó mediante el análisis bootstrap con 500 muestreos repetidos de los datos (Felsenstein, 1985).

3. Resultados y Discusión

Del tracto intestinal de las larvas enfermas de *P. xylostella* se aisló un total de 464 bacterias, de estas, se realizó una caracterización morfológica a cada una como método de discriminación, y sólo se obtuvo un total de seis bacterias que fueron las que predominaron en la dilución 10^{-4} que fue de donde se obtuvieron las colonias. En el Cuadro 1, se muestran las principales características morfológicas de las bacterias.

Cuadro 1. Características morfológicas (macro y microscópicas de las seis bacterias).

Aislado	Co (mm)	Forma	Color	Borde	C	E	G	Forma
Px1: <i>Serratia nematodiphila</i>	3.0	Circular	Beige	Ondulado	Vizcosa	Convexa	–	Bacilos cortos
Px2: <i>Enterococcus gallinarum</i>	0.8	Circular	Amarillo	Entero	Butirica	Plana	+	Diplococos
Px3: <i>Serratia nematodiphila</i>	2.0	Circular	Blanco	Ondulado	Vizcosa	Elevada	–	Bacilos cortos
Px4: <i>Serratia nematodiphila</i>	2.8	Circular	Beige	Ondulado	Vizcosa	Convexa	–	Cocos simples
Px5: <i>Enterococcus caseliflavus</i>	1.0	Circular	Amarillo	Entero	Butirica	Plana	+	Diplococos
Px6: <i>Serratia</i> sp.	3.0	Circular	Beige	Ondulado	Vizcosa	Convexa	–	Bacilos cortos

Co (mm): Colonia, C: Consistencia, E: Elevación, G: Gram.

En la Figura 1, se observan las principales características de cada una de las cepas bacterianas (forma y el tamaño). En la Figura 2 se observan las principales pruebas bioquímicas patogenicidad en rodajas de papa (a) las cepas Px1, Px3, Px4 y Px6, presentaron reacción positiva, mientras que las cepas Px2 y Px5 mostraron reacción negativa. En el caso de la prueba de catalasa (b), las cepas Px1, Px3, Px4 y Px6 presentaron reacción positiva, mientras que las cepas Px2 y Px5 (reacción negativa). En cuanto a las pruebas API 50 CH (c) y Cuadro 2, se observan las reacciones a los 50 ensayos bioquímicos del metabolismo de carbohidratos de cada una de las cepas, amarillo (+), rojo (-).

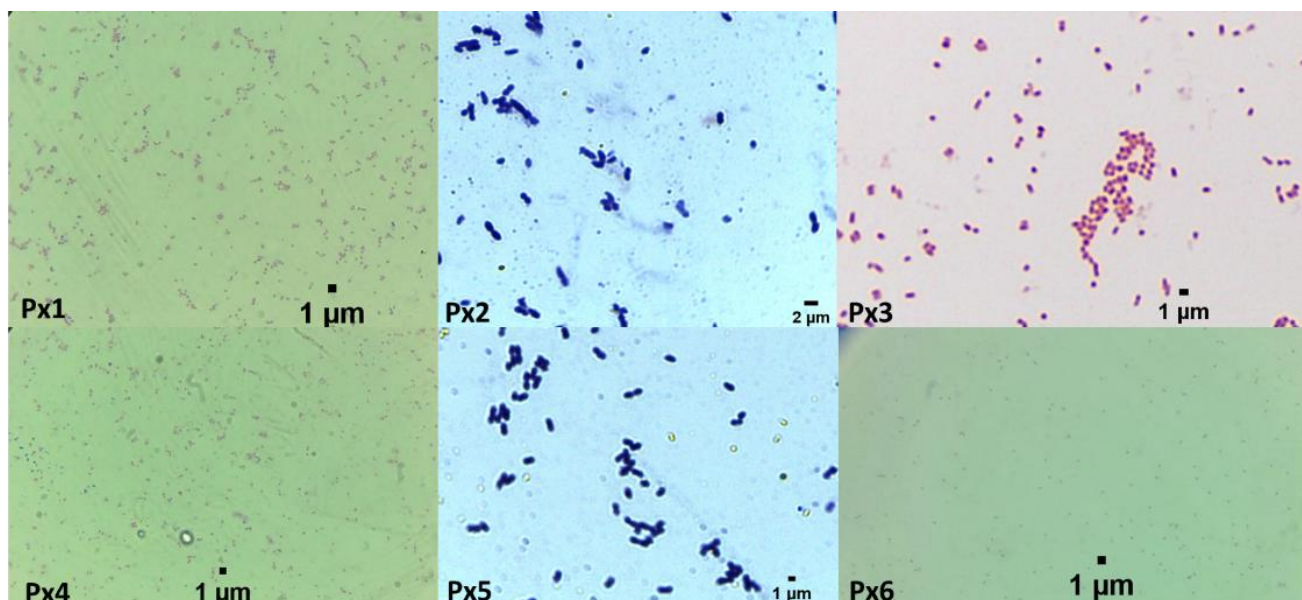


Figura 1. Caracterización microscópica de las seis cepas bacterianas Px1, Px2, Px3, Px4, Px5 y Px6.

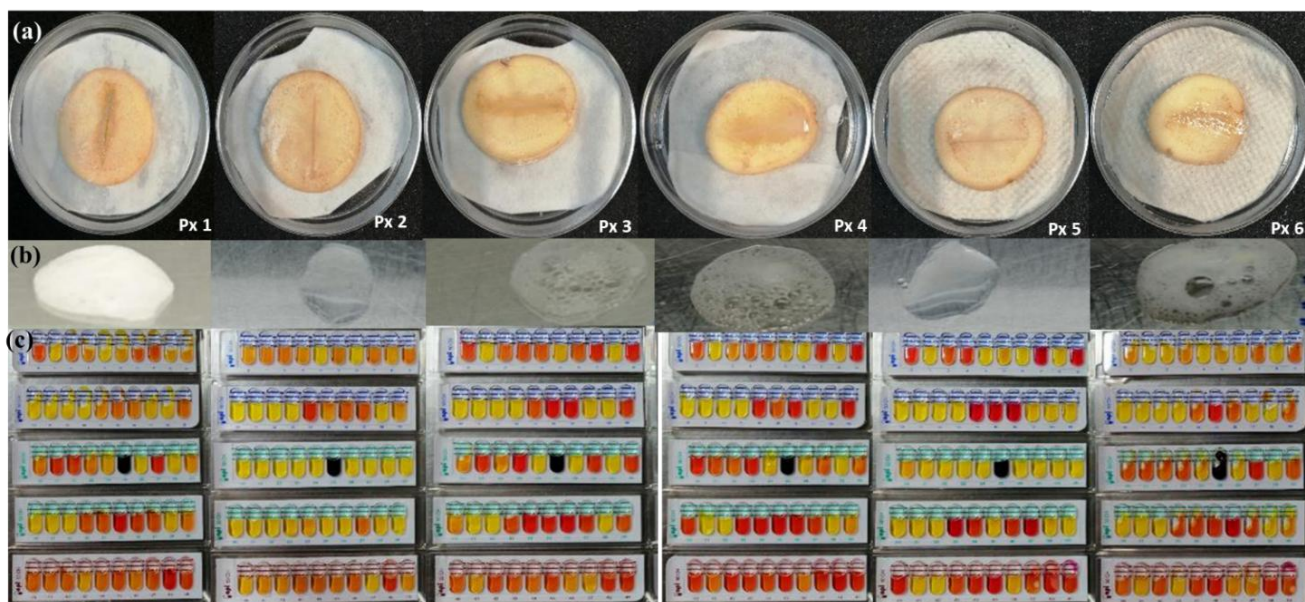


Figura 2. Pruebas bioquímicas realizadas a las seis cepas bacterianas: (a). Patogenicidad en papa, (b). Pruebas de catalasa (c). Pruebas Api 50 CH.

Cuadro 2. Sustratos de la galería API 50 utilizados en el metabolismo de carbohidratos.

Tira 0-9 Pocillo/substrato	Tira 10-19 Pocillo/substrato	Tira 20-29 Pocillo/substrato	Tira 30-39 Pocillo/substrato	Tira 40-49 Pocillo/substrato
0. CONTROL*	10. GALactosa 2	20. 1-Metil-DManopiranosida	30. MELibiosa	40. DTURanosa
1. GLYcerol	11. GLUcosa	21. 1-Methyl-DGlucopiranosida	31. SACarosa	41. D-LYXosa
2. ENRYTHROL	12. FRUctosa	22. N-AcetilGlucosamina	32. TREhalosa	42. DTAGatosa
3.D-ARAbisone	13. MamNosE	23. AMYgdalina	33. INUlina	43. D-FUCosa
3. L-ARAbisone	14. SorBosE	24. ARButina	34. MeLeZitosa	44. L-FUCosa
4. RIBose	15. RHAmnosa	25. ESCulina citrato férrico	35. RAFFinosa	45. D-ARabitol
5. D-XYlose	16. DULcitol	26. SALicina	36. AlMiDón	46. L-ARabitol
7.L-XLYlose	17. INOsitol	27. CELlobiosa	37. GLYcóGeno	47. GlucoNaTo potásico
8.ADONitol	18. MANitol	28. MALtosa	38. XiLiTol	48. 2-KetoGluconato potásico
9.βMetil-DXylopiranosida	19. SORbitol	29. LACTosa	39. GENTiobiosa	49. 5-KetoGluconato potásico

4. Conclusiones

Se ha reportado que las bacterias caracterizadas e identificadas (*Serratia nematodiphila*, *Serratia* sp, *Enterococcus caseliflavus* y *Enterococcus gallinarum*) en este trabajo tienen potencial bioinsecticida contra larvas de *Plutella xylostella*, si bien, hacen falta más estudios, este es un buen indicio, ya que el conocimiento preciso de bacterias que controlan plagas de importancia fitosanitaria es primordial en la búsqueda de aislados prometedores para el desarrollo de insecticidas microbianos. En ensayos posteriores, se evaluarán estas cepas para determinar su potencial como agente de control biológico de *Plutella xylostella* plaga de importancia económica en México y en el mundo.

Agradecimientos

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo brindado en el Programa de Investigadoras e Investigadores-Cátedras y Estancias.

Referencias Citadas

Almeida, L.G.d., L.A.B.d., Moraes, J.R. Trigo, C. Omoto, F. L. Consoli. 2017. The gut microbiota of insecticide-resistant insects houses insecticide degrading bacteria: A potential source for biotechnological exploitation.

- Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution* 39: 783–791.
- Galkiewicz, J. P., and C. A. Kellogg. 2008. Cross-Kingdom Amplification Using Bacteria-Specific Primers: Complications for Studies of Coral Microbial Ecology. *Applied and Environmental Microbiology*. 74 (24): 7828–7831.
- Janda, J. M. and Abbot, S. L. 2007. 16S rRNA Gene Sequencing for Bacterial Identification in the Diagnostic Laboratory: Pluses, Perils and Pitfalls. *J. Clin. Microbiol.* 45(9): 2761. Doi: 10.1128/JCM.01228-07.
- Hall, T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucl. Acids. Symp. Ser.* 41:95-98.
- Huang, Z., Wang, Y., & Zhang, Y. (2015). Lethal and Sublethal Effects of Cantharidin on Development and Reproduction of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 1054–1064.
- Hernández-Flores, L., C. Llanderal-Cázares, A. W. Guzmán-Franco, and S. Aranda-Ocampo. 2015. Bacteria present in *Comadia redtenbacheri* Larvae (Lepidoptera: Cossidae). *J. Med. Entomol.* 52 (5): 1150.
- Mahar, A. N., Munir, M., Elawad, S., Gowen, S. R., Hague N. G. M. 2004. Microbial control of diamondback moth, *Plutella Xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) using bacteria (*Xenorhabdus nematophila*) and its metabolites from the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. *Journal of Zhejiang University Science.* 5(10): 1183-1190.
- Martínez-Martínez, S., Rodríguez-Leyva, E., Aranda-Ocampo, S., Santillán-Galicia, M. T. Hernández-López, A. y Guzmán-Franco, A. W. (2023). Bacteria associated with carminic acid metabolism in the intestinal tract of three predators of *Dactylopius opuntiae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1–10.
- Naeimamini S., Abbasipour, H., Aghajanzadeh, S., Zamani, A. 2010. First report of *Lecanicillium lecanii* and its sexual stage, from Iran. *Iran J. Plant Pathol.* 46, 279-280.
- Rajashekhar, M., Shahanaz, and K. K. Vinay. 2017. Biochemical and molecular characterization of *Bacillus* spp. isolated from insects. *Journal of Entomology and Zoology Studies*: 5(5): 581-588.
- Rodríguez-Rodríguez, J. F., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Beltrán-Beache, M., Landeros-Flores, J., Guevara-Acevedo, L. P. (2020). Efectos subletales en el desarrollo de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) asociados a la resistencia a fipronil. *Acta Zoológica Mexicana*, 36, 1–10.
- Shanivarsanthe, L. R., Thiruvengadam, V., Kottilingam, S. M., Sushil K. J., Abraham, V. 2016. Detection of carboxylesterase and esterase activity in culturable gut bacterial flora isolated from diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), from India and its possible role in indoxacarb degradation. *Brazilian Journal of Microbiology* 47: 327-336.
- Seeley, H. W., P. J. Van Demark, J. J. Lee. 1991. *Microbes in action: A laboratory manual of microbiology*. W. H. Freeman and Company, New York, NY
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria) (2023) Disponible en línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (última consulta 14 de enero de 2024)
- Tamura, K., D. Peterson, N. Peterson, G. Stecher, M. Nei, K. Kumar. 2011. MEGA 5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol. Evol.* 28: 2731–2739.
- Voirol, P. L. R., E. Frago, M. Kaltenpoth, M. Hilker and N. E. Fatouros. 2018. Bacterial symbionts in Lepidoptera: Their Diversity, Transmission, and Impact on the Host. *Front. Microbiol.* 9:556.
- Weisburg, W. G., S. M. Barns, Pelletier and D. J. Lane. 1991. 16S Amplification for Phylogenetic study. *Journal of Bacteriology*. 697-703.
- Wei, H., Wang, J., Li, H. S., Dai, H. G., & Gu, X. J. (2010). Sub-lethal effects of fenvalerate on the development, fecundity, and juvenile hormone esterase activity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Agricultural Sciences in China*, 9(11), 1612–1622.

La luz incidente y el déficit hídrico afectan el rendimiento y concentración de metabolitos secundarios de *C. annuum* var. *glabriusculum*

Luz del Carmen Lagunes-Espinoza^{1,*}, Dario de la Cruz-Ricardez¹

Resumen. Entre los factores ambientales que afectan el rendimiento y calidad de frutos de *C. annuum* están el déficit de agua y la radiación solar incidente. Sin embargo, especies silvestres de *C. annuum* como *C. annuum* var. *glabriusculum* se localizan en diferentes condiciones agroecológicas en nuestro país, por lo que pueden responder diferencialmente a estos factores ambientales. El propósito es mostrar una síntesis de los estudios realizados sobre la respuesta de *C. annuum* var. *glabriusculum* conocido como chile amashito en la región tropical húmeda de México, a la cantidad de luz incidente (RSI) y al déficit hídrico (DH), durante su desarrollo fenológico. Los estudios muestran que, bajo condiciones de invernadero, el DH aplicado durante la etapa vegetativa, reduce las tasas de fotosíntesis y transpiración de chile amashito, el área foliar, la duración de las etapas fenológicas, el número y peso de frutos planta⁻¹, e incrementa el contenido de prolina, pero no el de polifenoles y flavonoides totales en hojas, ni el de los capsaicinoides en frutos. En campo, el chile amashito se diferencia de *C. frutescens*, al incrementar el rendimiento de frutos bajo sombra de 70%. Los fitoquímicos también se ven afectados por las condiciones de sombreado, a cielo abierto se incrementan los contenidos de compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides totales, pero se mantienen los de capsaicinoides. La época del año donde fructifican las plantas, también tiene un efecto en los fitoquímicos presentes en los frutos. En época de lluvias (donde hay menor RSI por el incremento de nublados), en frutos inmaduros de chile amashito se reduce la concentración de metabolitos presentes.

Palabras clave: Chile Amashito, Frutos por Planta, Fitoquímicos.

Abstract. Among the environmental factors that affect the yield and quality of *C. annuum* fruits are water deficit and incident solar radiation. However, wild species of *C. annuum* such as *C. annuum* var. *glabriusculum* are located in different agroecological conditions in our country, so they may respond differentially to these environmental factors. The purpose is to show a synthesis of the studies carried out on the response of *C. annuum* var. *glabriusculum* known as chile amashito in the humid tropical region of Mexico, to the amount of incident light (RSI) and water deficit (DH) during its phenological development. The studies show that, under greenhouse conditions, DH applied during the vegetative stage reduces the rates of photosynthesis and transpiration of amashito chili, the leaf area, the duration of the phenological stages, the number and weight of fruits plant⁻¹, and increases the proline content, but not the total polyphenols and flavonoids in leaves, nor the capsaicinoids in fruits. In the field, the amashito chili differs from *C. frutescens*, by increasing fruit yield under shade by 70%. Phytochemicals are also affected by shading conditions; in open sky the contents of phenolic compounds, flavonoids and total carotenoids increase, but those of capsaicinoids are maintained. The season of the year when plants bear fruit, also has an effect on the phytochemicals present in the fruits. In the rainy season (where there is a lower RSI due to increased cloudiness), the concentration of metabolites present in immature amashito chili fruits is reduced.

Keywords: Amashito Chili, Fruits per Plant, Phytochemicals.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Tabasco México.

*Autor para correspondencia: lagunes@colpos.mx

1. Introducción

Capsicum annuum var. *glabriusculum* conocido como chile amashito en el estado de Tabasco (Castañón-Nájera et al., 2008), se encuentra ampliamente distribuido en México y es considerado el pariente silvestre más cercano a las variedades cultivadas de *C. annuum* (Aguilar-Meléndez et al., 2019). El estado de Tabasco se localiza en la región tropical húmeda de México, y en esta región, el chile amashito crece bajo la sombra en huertos familiares, y en los relictos de selva baja como acahuals o montaña. También se le encuentra a pleno sol, en pastizales, o en la orilla de caminos rurales (Castañón-Nájera et al., 2008; Gutiérrez-Burón et al., 2020). Los frutos de este chile, producto de la recolecta de poblaciones naturales, se comercializan a escala menor en fresco o en salmuera en los mercados locales o restaurantes, donde presentan una alta demanda (Velázquez-Ventura et al., 2018).

Desde el punto de vista agronómico y con el objetivo de establecer las condiciones para su cultivo, se ha avanzado en el conocimiento de los factores ambientales que afectan a este chile. En *C. annuum*, la cantidad y calidad de luz incidente son factores ambientales que afectan su desarrollo fenológico y rendimiento (Ayala-Tafoya et al., 2015; Díaz- Pérez et al., 2020). Además, de los efectos que el sombreado tiene en el rendimiento, también está el que tiene en la calidad postcosecha y el color de los frutos de *C. annuum* (Díaz-Pérez, 2014), lo que indicaría modificaciones en metabolitos secundarios, principalmente aquellos asociados con el color. Variación en la concentración de metabolitos secundarios (polifenoles y flavonoides totales) en frutos de *C. annuum* han sido observadas por efecto de mallas sombras de diferentes colores (Díaz-Pérez et al., 2020).

Los metabolitos secundarios son sintetizados por las plantas como mecanismo de defensa ante el ataque de insectos plaga e infecciones microbianas (Wink, 2006). En los frutos del género *Capsicum* incluyendo al chile amashito se encuentran carotenoides, compuestos fenólicos, proantocianinas, flavonoides y capsaicinoides (Hayano-Kanashiro et al., 2015; De la Cruz-Ricardez et al., 2020a).

2. Materiales y Métodos

En este trabajo se realiza una síntesis de estudios realizados por los autores sobre el efecto de la radiación solar incidente y del déficit hídrico en el rendimiento y contenido de fitoquímicos en chile amashito. La información se complementa con información publicada por otros autores sobre el mismo tema y la misma especie o sobre *C. annuum*. El área de estudio se centra en el estado de Tabasco, que es donde se realizaron los estudios que se presentan tanto a nivel de campo como de invernadero.

3. Resultados y Discusión

En el estado de Tabasco, los frutos de chile amashito son recolectados en poblaciones naturales que se encuentran en diferentes agroecosistemas donde la cantidad de luz incidente bajo el dosel es baja o incluso pueden crecer a pleno sol. Estudios realizados nos indican que el chile amashito modifica su fenología cuando crece bajo sombra (De la Cruz-Ricardez et al., 2023). Un sombreado de 70%, acorta los días para alcanzar la primera bifurcación del tallo (63 días después de siembra, dds), la floración (74 dds) y la fructificación (79 dds), en comparación cuando crece a cielo abierto (82, 90 y 95 días, respectivamente).

En Tabasco, el chile amashito presenta dos picos de producción, uno en la época de secas y otro en la época de lluvias que se alarga hasta la época de invierno, con variaciones en producción entre años (Figura 1). En estas condiciones, la mayor producción de frutos se da en la época de lluvias, llegando a alcanzar una producción anual hasta de 0.96 t ha^{-1} con 70% de sombra. A cielo abierto, el rendimiento de este chile es menor (0.73 t ha^{-1}). Esta afinidad por el sombreado lo hace diferente al morfotipo garbanzo que pertenece a la misma especie de *C. annuum* var. *glabriusculum*, y al genotipo pico paloma de *C. frutescens* quienes prefieren las condiciones a cielo abierto (De la Cruz-Ricardez et al., 2023) (Figura 1). Este efecto del sombreado en *C. annuum* var. *glabriusculum* también se ha observado en el estado de Tamaulipas, donde los incrementos en rendimiento de frutos han sido de hasta 52% bajo sombra (Rodríguez-del Bosque et al., 2005).

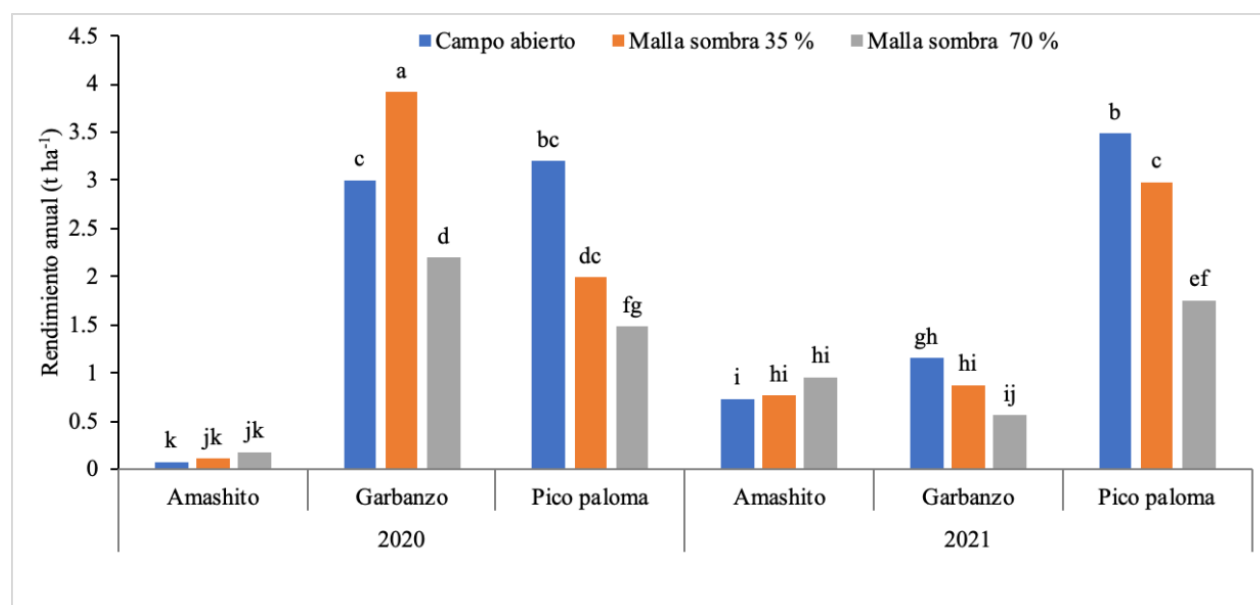


Figura 1. Rendimiento de dos genotipos de *C. annuum* var. *glabriusculum* y uno de *C. frutescens* bajo diferentes condiciones de sombreado en Tabasco, México.

Estas condiciones de sombreado y de época del año no afectan la concentración de compuestos fenólicos y de flavonoides totales presentes en los frutos; sin embargo, cuando se realiza el perfil de fitoquímicos, se observa una disminución en la concentración de la mayoría de los metabolitos secundarios, y un incremento en la concentración de ácido protocatéuico con un sombreado de 70% principalmente en la época de lluvias (De la Cruz-Ricardez, 2023) (Figura 2). Estas variaciones en el número y contenido de metabolitos secundarios pueden afectar el potencial antifúngico que presenta el chile amashito (Rodríguez-Maturino et al., 2015; De la Cruz-Ricardez et al., 2020b).

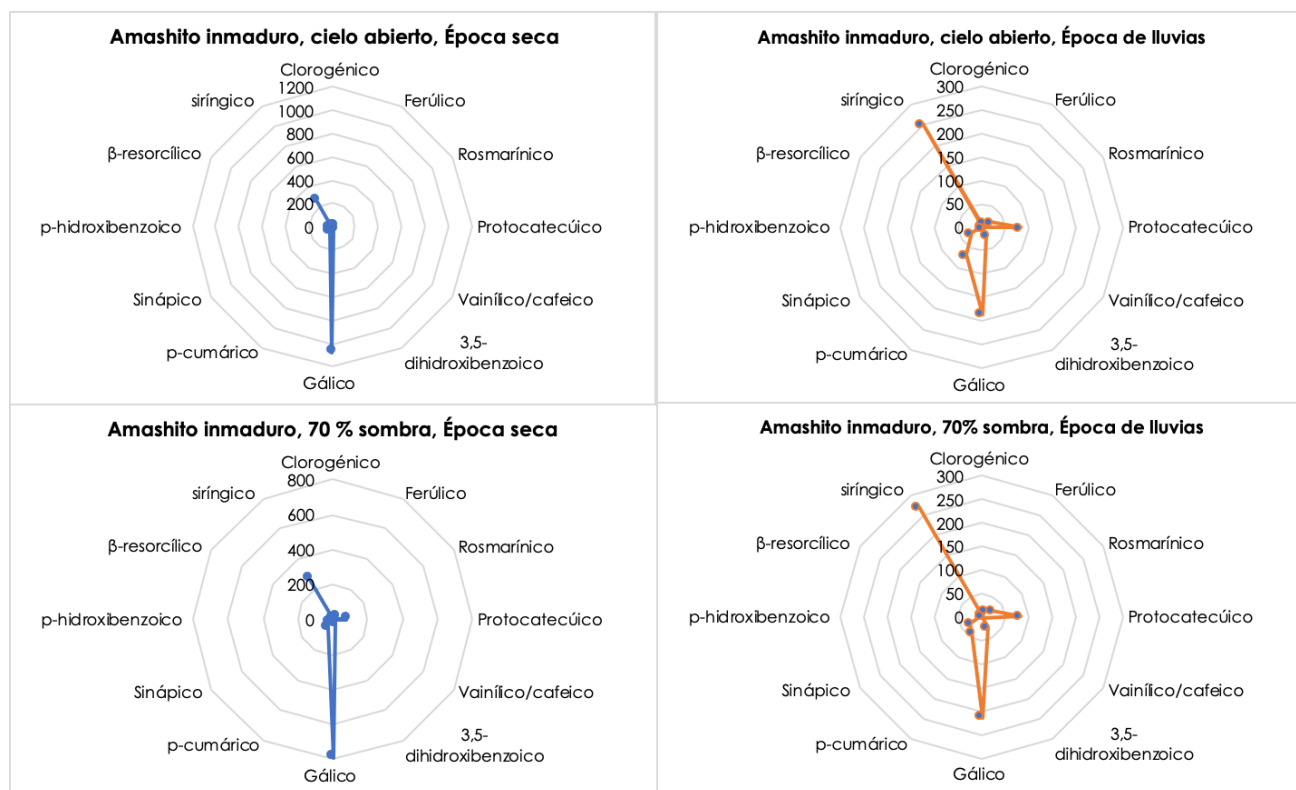


Figura 2. Cambios en la concentración de metabolitos secundarios en frutos inmaduros de chile amashito por efecto del sombreado y la época del año.

Además del efecto del sombreado sobre el crecimiento de chile amashito, también la producción de biomasa y área foliar de este chile se ve afectada por el déficit hídrico, independientemente de la etapa fenológica donde incida. En experimentos realizados a nivel de invernadero, se ha observado que, si el déficit hídrico se produce durante la etapa vegetativa, se reducen los días a maduración de frutos, el número y peso de frutos por planta, pero no se afecta el contenido de capsaicinoides. Tampoco el de compuestos fenólicos y de flavonoides totales en hojas (Ricardez-Miranda et al., 2021). En contraste, si el déficit hídrico ocurre durante la etapa de floración, se incrementan los días a maduración de los frutos, sin efecto en los otros componentes del rendimiento. Es decir, plantas de chile amashito sometidas a una reducción del 50 % del volumen de agua aplicado al tratamiento control, requirieron más días para madurar los frutos (6.89 días más que las plantas control). Y aunque se observa una disminución en el número de frutos/planta (23%), en el peso individual de frutos (14.1%) y en el peso de frutos/planta (35.4%) por efecto del déficit hídrico, ésta diferencia no fue significativa (Ricardez-Miranda et al., 2021). Un déficit hídrico de 50% de capacidad de campo, aplicado desde la siembra de chile amashito, también reduce el área foliar, la tasa de fotosíntesis y de transpiración (Martínez-Acosta et al., 2020).

4. Conclusiones

El cultivo de chile amashito en el trópico húmedo consideran el efecto de la cantidad de luz incidente sobre su dosel y el contenido de humedad del suelo durante su ciclo fenológico, ya que estos factores modifican su crecimiento, rendimiento y contenido de metabolitos secundarios en frutos.

Agradecimientos

Al CONAHCYT por la beca de manutención otorgada a estudiante para realizar su tesis de posgrado.

Referencias Citadas

- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P.L., Roose, M. & Kim, S. (2009). Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany*, 96: 1190-202.
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M.G., Ruiz-Espinosa, F.H., Velázquez-Alcaraz, T.J., Valenzuela-López, M. & Parra-Delgado, J.M. (2015). Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38: 93-99.
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Mendoza-Elos, M., Vargas-López, A. & Cárdenas-Morales, H. (2008). Colección y caracterización de chile (*Capsicum* spp) en Tabasco. *International Journal of Experimental Botany*, 77: 189-202.
- De la Cruz-Ricardez, D. (2023). Metabolitos secundarios en *Capsicum* spp.: efecto de sombreado y efectividad sobre *Moniliophthora roreri*. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- De la Cruz-Ricardez, D., Lagunes-Espinoza, L.C., Ortiz-García, C.F., Torres-De la Cruz, M. & Hernández-Nataren, E. (2020a). Compuestos fenólicos, carotenoides y capsaicinoides en frutos de *Capsicum* spp. de Tabasco, México. *Agrociencia*, 54: 505-519.
- De la Cruz-Ricardez, D., Lagunes-Espinoza, L.C., Ortiz-García, C.F., Hernández-Nataren, E., Soto-Hernández, R.M. & Acosta-Pech, R.G. (2023). Phenology, yield, and phytochemicals of *Capsicum* spp. in response to shading. *Botanical Sciences*, 101(3): 865-882.
- De la Cruz-Ricardez, D., Ortiz-García, C.F., Lagunes-Espinoza, L.C. & Torres-De la Cruz, M. (2020b). Efecto antifúngico in vitro de extractos metanólicos de *Capsicum* spp. en *Moniliophthora roreri*. *Agrociencia*, 54: 813-824.
- Díaz-Pérez, J.C., John, K.S., Kabir, M.Y., Alvarado-Chávez, J.A., Cutinño-Jiménez, A.M., Bautista, J., Gunawan, H. & Nambeesan, S.U. (2020). Bell pepper (*Capsicum annum* L.) under colored shade nets: fruit yield, postharvest transpiration, color, and chemical Composition. *HortScience*, 55: 181-187.
- Díaz-Pérez, J.C. (2014). Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of *Phytophthora* blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortScience*, 49: 891-900.
- Gutiérrez-Burón, R., Latournerie-Moreno, L., Garruña-Hernández, R., Ruiz-Sánchez, E., Lara-Martín, A.R. & Castañón-Nájera, G. (2020). Diversidad fenotípica de chile Amashito de Tabasco y Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11: 649-662.
- Hayano-Kanashiro, C., Gámez-Mez, N. & L. Medina-Juárez, A. (2015). Wild Pepper *Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*: Taxonomy, Plant Morphology, Distribution, Genetic Diversity, Genome Sequencing, and Phytochemical Compounds. *Crop Science*, 56: 1-11.

- Martínez-Acosta, E., Lagunes-Espinoza, L.C., Castelán-Estrada, M., Lara-Viveros, F. & Trejo, C. (2020). Leaf gas exchange and growth of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* under conditions of flooding and water deficit. *Photosynthetica*, 58: 873-880.
- Ricardez-Miranda, L.E., Lagunes-Espinoza, L.C., Hernández-Nataren, E., Palma-López, D.J. & Conde-Martínez, F.V. 2021. Water restriction during the vegetative and reproductive stages of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, and its effect on growth, secondary metabolites and fruit yield. *Scientia Horticulturae*, 285: 110129.
- Rodríguez-del Bosque, L.A., Sánchez-De la Cruz, R. & Silva-Serna, M.M. (2005). Effect of sunlight regimes on growth and yield of piquin pepper (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11: 357-359
- Rodríguez-Maturino, A., Troncoso-Rojas, R., Sánchez-Estrada, A., González-Mendoza, D., Ruiz-Sanchez, E., Zamora-Bustillos, R., Ceceña-Duran, C., Grimaldo-Juarez, O. & Aviles-Marina, M. (2015). Efecto antifúngico de extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en *Alternaria alternata* and *Fusarium oxysporum*. *Revista Argentina de Microbiología*, 47: 72–77.
- Velázquez-Ventura, J.C., Márquez-Quiroz, C., De la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R. & Preciado- Rangel, P. (2018). Morphological variation of wild peppers (*Capsicum* spp.) from the state of Tabasco, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30: 115-121.
- Wink, M. (2006). Importance of plant secondary metabolites for protection against insects and microbial infections. *Advances in Phytomedicine*, 3: 251–26.

Efecto de malatión, spinosad y spinetoram sobre la mortalidad de *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae), principal parasitoide de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)

José Manuel Gutiérrez-Campos¹, Ricardo Torres-Cabrera¹, Jaime González-Cabrera^{2,*}, Jorge Antonio Sánchez-González², Yadira Contreras-Bermudez²

Resumen. La mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) se considera una plaga de importancia cuarentenaria para las berries, pues ocasiona pérdidas de hasta el 100% del valor del cultivo. El manejo de esta plaga puede realizarse con organismos benéficos como *Trichopria drosophilae*, que controlan hasta el 50% de las poblaciones, sin embargo, cuándo la infestación sobrepasa el umbral económico, se utilizan productos de síntesis química que dañan la fauna benéfica, incluyendo los insectos entomófagos como el parasitoide previamente mencionado. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de ingredientes activos de insecticidas autorizados en frutillas para el control de *D. suzukii* (malatión, spinosad y spinetoram) sobre la supervivencia del parasitoide *T. drosophilae*. Los tratamientos utilizados fueron Malatión (Malathion 100E®), spinosad (Gadeon®) y spinetoram (Exalt®) aplicado en forma tópica sobre los adultos de *T. drosophilae* a dosis de 1.0, 0.3 y 0.4 L ha⁻¹, respectivamente. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño experimental completamente al azar. La variable de respuesta fue la mortalidad del parasitoide evaluada en diferentes tiempos (1, 4, 12, 24 y 48 h). Como resultados, el malatión presentó una mortalidad de *T. drosophilae* de 100% 12 h posterior a la aplicación, por su parte, 48 h después de la aplicación de spinosad y spinetoram alcanzaron 45 y 38%, respectivamente. Con base a estos resultados aquí obtenidos se derivan dos recomendaciones. Primera, utilizar los ingredientes activos spinosad o espinetoram en el manejo integrado de *D. suzukii*, en vez de malatión; segunda, aumentar la dosis de liberación de *T. drosophilae* para compensar los parasitoides muertos, obteniéndose así el 100% de la eficacia biológica de los parasitoides (hasta 50% de la reducción poblacional de *D. suzukii*), aun en presencia de aplicaciones de estos insecticidas.

Palabras Clave: Organofosforado, Control Alternativo, Sustentabilidad, Supervivencia, Espinosinas.

Abstract. Spotted-wing vinegar fly (*Drosophila suzukii*) is considered a pest of quarantine importance for berries, as it causes losses of up to 100% of the crop's value. The management of this pest can be carried out with beneficial organisms such as *Trichopria drosophilae*, which control up to 50% of the populations; however, when the infestation exceeds the economic threshold, chemical synthesis products are used, which damage the beneficial fauna, including the entomophagous insects such as the previously mentioned parasitoid. The objective of this work was to evaluate the effect of active ingredients authorized in strawberries for the control of *D. suzukii* (malathion, spinosad and spinosad) on the survival of the parasitoid *T. drosophilae*. The treatments used were Malathion (Malathion 100E®), spinosad (Gadeon®) and espinetoram (Exalt®) applied topically to *T. drosophilae* adults at doses of 1.0, 0.3 and 0.4 L ha⁻¹, respectively. The treatments were distributed under a completely randomized experimental design. The response variable was parasitoid mortality evaluated at different times (1, 4, 12, 24 and 48 h). As results, the malathion presented a mortality of *T. drosophilae* of 100%

¹Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Colima, México.

²Departamento de Control Biológico. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Colima, México.

*Autor para correspondencia: jgonz017@ucr.edu

12 h after application, while 48 h after the application of spinosad and spinosadam they reached 45 and 38%, respectively. Based on these results obtained here, two recommendations are derived. First, use the active ingredients spinosad or espinetoram, instead of malathion, in the integrated management of *D. suzukii*; second, increase the release dose of *T. drosophilae* to compensate for the dead parasitoids, thus obtaining 100% of the biological efficiency of the parasitoids (up to 50% of the population reduction of *D. suzukii*), even in the presence of applications of these insecticides.

Keywords: Organophosphate, Alternative Control, Sustainability, Survival, Spinosyns.

1. Introducción

La mosca del vinagre de alas manchadas, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), es nativa de Asia Oriental y se considera una plaga de importancia cuarentenaria para las berries o frutillas, al ocasionar daños directos de un promedio de 27% y 100% del valor del cultivo en campos convencionales y orgánicos, respectivamente (Wang et al., 2016; DiGiacomo et al., 2019). Por esta razón, desde el 2008, se han investigado métodos de control ecológicos y sustentables de *D. suzukii*. Entre ellos, el uso del parasitoide *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) se considera una opción viable para contribuir en el manejo fitosanitario de la mosca del vinagre de las alas manchadas, debido a que su distribución es cosmopolita y se ha registrado hasta 50% de reducción de la plaga en campos agrícolas de Italia y México (Stacconi et al., 2018; González et al., 2019).

En todo el mundo y en México, *D. suzukii* se controla principalmente mediante el uso de productos químicos que son dirigidos a los adultos (Haye et al., 2016). Los principales grupos de insecticidas utilizados son los piretroides, organofosforados y espinosinas, los cuales se aplican como foliares, aderezo o cebo tóxico (Hoffmann et al., 2019). Adicionalmente, en menor medida se libera el parasitoide *T. drosophilae* para coadyuvar en el control de dicha plaga invasiva (González et al., 2019). No obstante, a pesar del importante papel que juega el parasitoide en el control natural de las poblaciones de la mosca del vinagre de las alas manchadas, se sabe poco sobre los efectos que tienen los insecticidas en su supervivencia.

En la búsqueda de conocer los efectos de los insecticidas sobre los enemigos naturales, Sarkar et al. (2020) evaluaron el efecto del spinosad, *C. subtugae*, *Burkholderia* spp., Azadirachtin + piretrinas, peróxido de hidrógeno + ácido peroxiacético y alcaloides de sabadilla seis pesticidas orgánicos sobre dos depredadores (*Chrysoperla rufilabris* [Neuroptera: Chrysopidae]) y *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) y una avispa parasitoide (*Aphidius colemani* [Hymenoptera: Aphidiinae]). El spinosad logró el 92% de mortalidad y se clasificó como dañino en todas las especies benéficas evaluadas. Los alcaloides de sabadilla causaron una mortalidad en *O. insidiosus* similar al spinosad. Todos los pesticidas probados fueron dañinos para *A. colemani*. Por su parte, el adyuvante poliéter-polimetilsiloxano-copolímero causó una mortalidad estadísticamente semejante al spinosad.

Así mismo, Hoffmann et al. (2019) determinaron el efecto de la aplicación abamectina, acetamiprid, tiametoxam, malatión, fosmet, deltametrina, spinetoram y spinosad sobre tiempo letal, proporción de sexo, longevidad y porcentaje de parasitismo de *T. anastrephae* Lima (Hymenoptera: Diapriidae) y *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani (Hymenoptera: Pteromalidae). Las espinosinas (spinosad y spinetoram) y la abamectina causaron 90% de mortalidad en *P. vindemmiae*, pero, fueron inofensivas para *T. anastrephae*, mientras que los neonicotinoides, organofosforados y piretroides

causaron el 100% de mortalidad en ambos parasitoides. La proporción de sexos en ambos parasitoides no se vio afectada por la acción de ninguno de los insecticidas.

Otra reciente investigación es la de Chagas (2021), donde se estudiaron la susceptibilidad de *T. anastrephae* a dosis letales, subletales y transgeneracionales de abamectina, deltametrina, malatión, spinetoram y tiametoxam. El malatión fue el único insecticida que causó 100% de mortalidad de los parasitoides; sin embargo, todos los insecticidas evaluados afectaron su tasa de parasitismo, siendo clasificados como moderados y levemente dañinos. En la generación F1 del parasitoide, la emergencia también se vio afectada, clasificando los insecticidas malatión, deltametrina, spinetoram y tiametoxam como ligeramente a moderadamente dañinos. Mientras que, la abamectina se clasificó como inofensivo. En la generación F2, ninguno de los insecticidas evaluados causó efectos negativos sobre el parasitoide y por consecuencia fueron clasificados como inofensivos.

Debido a la importancia que tienen tanto los insecticidas como los organismos biológicos en el control de plagas y ante la falta de información sobre el uso combinado de las anteriores y los efectos en la supervivencia de los insectos benéficos, se requiere realizar estudios que permita vislumbrar claramente los alcances y limitaciones al implementar de manera combinada ambas técnicas dentro de una estrategia de Manejo Integrado de Plagas (Luna et al., 2011). Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar el impacto que tienen los insecticidas autorizados en frutillas para el control de la mosca del vinagre de las alas manchadas (malatión, spinosad y spinetoram) en la supervivencia del parasitoide *T. drosophilae*.

2. Materiales y Métodos

Lugar de experimentación. La crianza y reproducción de *T. drosophilae* se realizó en el laboratorio de insectos entomófagos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico ubicado en Av. Insurgentes Col. Tepeyac C.P. 28110, Tecomán, Colima, México, situado geográficamente en las coordenadas de 18°55'35" N y 103°53'03" W. La fase de aplicación tópica de los insecticidas sobre los parasitoides se llevó a cabo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima, ubicada en el km 40 Autopista Colima-Manzanillo, La Estación, CP. 28930, Tecomán, Col., México, con coordenadas 18°56'48" N y 103°53'44" W.

Reproducción de *T. drosophilae*. Para la reproducción del parasitoide se empleó la producción masiva de pupas de *D. suzukii* con base en dieta de germen de trigo (Mendoza et al., 2018). Las pupas se introdujeron en charolas con ejemplares adultos de *T. drosophilae* donde se parasitaron y posteriormente, a los 20 días emergieron los adultos. Los parasitoides se alimentaron con miel pura que se colocó como rayas en la superficie de papel encerado desde la emergencia hasta el final de esta investigación. Con edad de entre 2 y 3 días después a la emergencia, los insectos se introdujeron a viales. Las condiciones de temperatura ($24 \pm 3^\circ\text{C}$) y humedad relativa (HR: $60 \pm 10\%$) se mantuvieron controladas a lo largo de la experimentación.

Insecticidas. Formulaciones comerciales de insecticidas de dos diferentes grupos toxicológicos se utilizaron en la investigación (Cuadro 1). Estos son ingredientes activos categorizados como plaguicidas autorizados por ANEBERRIES (2024), para el control de la mosca del vinagre de las alas manchadas del cultivo de zarzamora, frambuesa, fresa y arándano.

Cuadro 1. Nombre comercial, ingrediente activo y dosis de insecticidas para la evaluación de la supervivencia de adultos de *T. drosophilae* en condiciones de laboratorio.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Fabricante	Dosis (L ha ⁻¹) *
Malathion 1000E®	Malatión	Anajalsal, Zapopán Jalisco, México.	1.0
Gadeon®	Spinosad	Sifatec, Tlanepantla, Edo. de México, México.	0.3
Exalt®	Spinetoram	Corteva, Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco, México.	0.4

*Dosis recomendadas por el fabricante para el control de *D. suzukii* y otras plagas.

Bioensayos. Los bioensayos se efectuaron colocando 10 parasitoides de *T. drosophilae* en viales de plástico (8.0 cm de altura x 2.4 cm de diámetro), un total de 600 parasitoides se utilizaron en la experimentación. La distribución de los tratamientos se llevó a cabo bajo diseño experimental completamente aleatorizado, que consistió en cuatro tratamientos y 15 repeticiones. Los tratamientos fueron las dosis de los productos y su recomendación para el control de *D. suzukii* interpolado según el gasto de agua para aplicar en una hectárea de cultivo de berries, quedando: T1) 1.7 mL L⁻¹ de malatión; T2) 0.5 mL L⁻¹ de spinosad; T3) 0.7 mL L⁻¹ de spinetoram y T4) tratamiento control que consistió en agua destilada. Todos los tratamientos de mezclaron en un litro de agua destilada. El experimento se realizó en el laboratorio en condiciones de temperatura (24 ± 3°C) y humedad relativa controlada (HR: 60 ± 10%).

Los tratamientos se aplicaron tópicamente sobre adultos de *T. drosophilae* con un microaspersor manual con capacidad de 1 L (Truper®). La variable de respuesta fue la mortalidad del parasitoide a diferentes tiempos posteriores a la aplicación del insecticida (1, 4, 12, 24 y 48 h).

Análisis Estadístico. La tasa de mortalidad de adultos de *T. drosophilae* después de las aplicaciones de los tratamientos se corrigieron utilizando la fórmula Scheneider-Orelli: $M(\%) = ((M - M_{control}) / (100 - M_{control})) \times 100$ (Puntener, 1981) y se sometieron a la prueba de Kruskal-Wallis, seguida de la prueba de Dunn con corrección post hoc de Bonferroni, utilizando el software R.

3. Resultados y Discusión

El spinosad y spinetoram no tuvieron efectos adversos sobre la mortalidad de *T. drosophilae* durante las primeras 4 horas después de la aplicación (8 y 9% de mortalidad), pero 12 horas después de la aplicación, la mortalidad fue tres veces mayor en ambos insecticidas evaluados. Al final del experimento la mortalidad del parasitoide con los insecticidas spinosad y spinetoram alcanzó 45 y 38%, respectivamente (Figura 1). Los resultados de esta investigación exponen la toxicidad de estos plaguicidas como ligeramente dañino para *T. drosophilae* (Sarkar et al., 2020). Las espinosinas (principalmente spinosad) son consideradas bioplaguicidas de bajo riesgo por la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. y, a menudo, se recomiendan en todo el mundo para el control de plagas que afectan a los huertos orgánicos y convencionales (Sarfraz et al., 2005). Sin embargo, esto no concuerda con lo encontrado por Sarkar et al. (2020), quienes en su investigación reportan la mortalidad de *C. rufilabris*, *O. insidiosus* y *A. colemani* > 90% a los residuos del plaguicida spinosad

tras haberlos aplicado 72 horas antes de su exposición en cajas Petri. Lo anterior, pone en evidencia el efecto en la mortalidad diferencial en distintas especies de organismos de control biológico y la necesidad de que se realicen mayor cantidad de estudios que dislumbren y permitan elaborar programas de manejo integrado de plagas en donde coadyuven agentes benéficos e insecticidas de síntesis química.

Por otra parte, el malatión mostró diferencia altamente significativa desde el primer muestreo respecto a spinosad y spinetoram, alcanzando una mortalidad de 42% ($\chi^2=27.44$, $df= 2$, $P=0.0000$) y después de las 12 horas de aplicación ocasionó el 100% de la mortalidad sobre el parasitoide ($\chi^2=29.04$, $df= 2$, $P=0.000$) (Figura 1). Los resultados obtenidos en la mortalidad de malatión sobre *T. drosophilae* son clasificados toxicológicamente por la Organización Internacional de Control Biológico (por sus siglas en inglés: IOBC [International Organization for Biological Control]) como dañino, lo cual se considera cuando un plaguicida tiene >99% de mortandad (Sarkar et al., 2020). Estos hallazgos concuerdan con otros autores, donde la exposición del agente de control biológico muere de forma eficaz con la exposición al malatión. El modo de acción de este insecticida es por su inhibición irreversible de la enzima acetilcolinesterasa, lo que resulta en una acumulación excesiva de acetilcolina. Esto provoca la parálisis de la transmisión colinérgica en el sistema nervioso central y la unión neuromuscular (Casida & Durkin, 2013). Los organofosforados son un grupo químico de pesticidas que se usan a menudo en los cultivos de frutas, son dañinos para los enemigos naturales de las plagas, mamíferos y los seres humanos, esto apertura la necesidad de buscar alternativas distintas a este plaguicida con gran toxicidad (Badr, 2020).

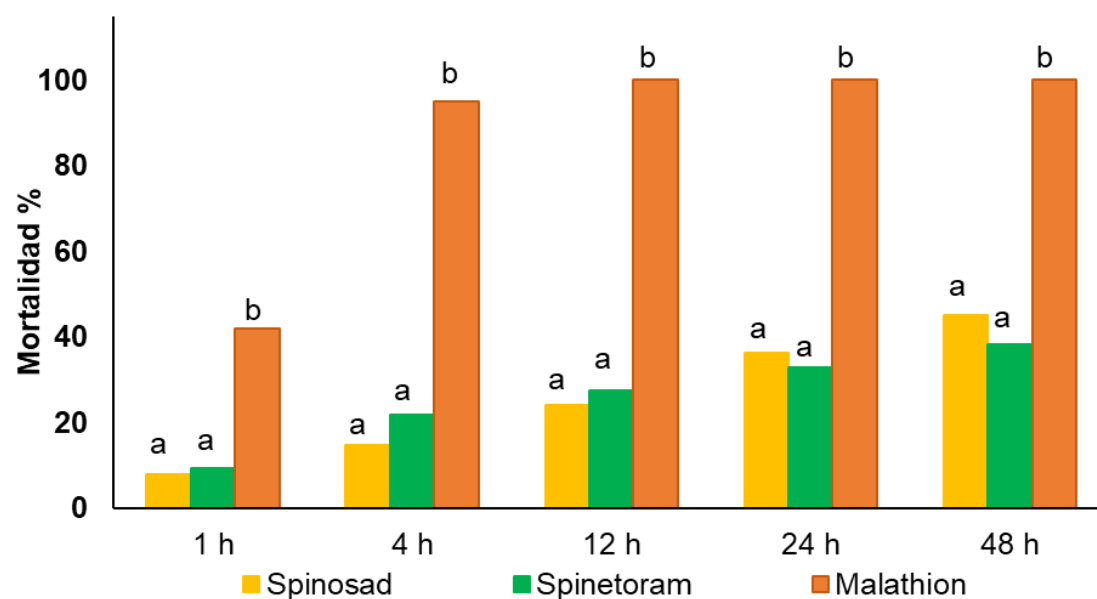


Figura 1. Mortalidad de *Trichopria drosophilae* por efecto de la aplicación de insecticidas horas después del tratamiento. Las columnas que presentan la misma letra no se diferenciaron entre sí según la prueba de Kruskal-Wallis (H), seguida de la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni ($P < 0,05$).

Este es el primer trabajo donde se evalúa el efecto, de estos tres ingredientes activos para el control de *D. suzukii*, sobre el parasitoide *T. drosophilae*, por lo que no se pueden comparar directamente nuestros resultados con otros trabajos con esta especie, pero sí comparando con otros parasitoides del mismo género. Por ejemplo, Hoffmann et al. (2019) reportan la mortalidad del 100% sobre adultos de *T. anastrephae* y *P. vindemmiae* al exponerlos a residuos de malatión después de 4 horas. Esto es contrastante a este estudio, donde este parámetro se alcanzó a las 12 h posteriores a la aplicación. Por su parte, estos mismos autores indican que, tanto spinosad y spinetoram, no afectaron la supervivencia de *T. anastrephae* a las 4 h de exposición de los plaguicidas, si no fue hasta después de las 120 h presentaron una mortalidad de entre 16 y 18 %. Del mismo modo, contrasta con lo encontrado en esta investigación, donde a las 48 h se obtuvo una mortalidad de 45 y 38%, respectivamente.

Con base a los resultados aquí obtenidos (100% de mortalidad en 12 horas para malatión y 45% y 38% de mortalidad después de 48 horas para spinosad y espinetoram), la utilidad práctica de este trabajo es que se recomienda aumentar la dosis de liberación de parasitoides para compensar por los parasitoides muertos por la aplicación de insecticidas. Siguiendo esta recomendación se garantizará que la población de parasitoides liberados se mantenga consistentemente en los niveles deseados y, por lo tanto, haga 100% su eficacia biológica esperada (hasta 50% de la reducción poblacional de *D. suzukii*), incluso en presencia de aplicaciones de insecticidas.

4. Conclusiones

El malatión provoca un impacto negativo en las poblaciones del parasitoide *Trichopria drosophilae* en un tiempo de exposición reducido. Por lo que, el spinosad y el spinetoram se recomiendan como insecticidas alternativos al malatión que pueden ser utilizados en programas de manejo integrado de plagas para el control de la mosca del vinagre de las alas manchadas con efectos ligeramente dañinos en contra del parasitoide. Con base a los resultados aquí obtenidos, se recomienda aumentar la dosis de liberación de parasitoides para compensar aquellos muertos por la aplicación de insecticidas, obteniéndose así el 100% de la eficacia biológica esperada del parasitoide (hasta 50% de la reducción poblacional de *Drosophila suzukii*).

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a los técnicos E. Gisela Cordoba-Urtíz y Ramón Cobián-Castellanos por el mantenimiento de las colonias de insectos utilizados en esta investigación. Así como también, al Dr. Juan Alberto Osuna-Castro por la revisión, comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar la presente versión del manuscrito.

Referencias Citadas

- Asociación Nacional de Exportadores de Berries (ANEVERRIES). (2024). Lista de plaguicidas 2023-2024. Disponible en: <https://www.aneberries.mx/lista-autorizada-plaguicidas> (Fecha de consulta: 14-I-2024).
- Bard, AM. (2020). Organophosphate toxicity: Updates of malathion potencial toxic effects in mammals and potencial treatments. Environmental Science and Pollution Research.
- Casida, J.E. y Durkin, A.K. (2013). Neuriactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. Annual Review of Entomology 58: 99-117.

- Chagas, M. (2021). Susceptibilidad de poblaciones de dípteros *Anastrepha fraterculus* y *Ceratitis capitata* (Tephritidae) y *Drosophila suzukii* (Drosophilidae) a insecticidas y efectos transgeneracionales sobre el himenóptero *Trichopria anastrephae* (Diapriidae) (Tesis de Maestría). Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.
- DiGiacomo, G., Hadrach, J., Hutchison, W.D., Peterson, H., y Roger, M. (2019). Economic impact of spotted wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) yield loss on Minnesota raspberry farms: a grower survey. *Journal of Integrated Pest Management* 10: 1-6.
- González, J., Moreno, G., Sánchez, J.A., Mendoza, M.I., y Arredondo, H.C. (2019). Liberación única y combinada de *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) para controlar *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Entomología Neotropical* 48: 949-956.
- Haye, T., Girod, P., Cuthbertson, A.G.S., Wang, X.G., Danne M.K., Hoelmer, K.A., Baroffio, C., Zhang, J.P. y Desneux, N. (2016). Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science* 89: 643–651.
- Hoffmann, D.C., Wollmann, J., Bastos, J., Costa, A., Dionei, A. y Mello, F.R. (2019). Insecticide toxicity to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) parasitoids: *Trichopria anastrephae* (Hymenoptera: Diapriidae) and *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Economic Entomology* 20: 1-10.
- Luna, A., Lomelí, J.R., Rodríguez, E., Ortega, L.D., y Huerta de La Peña, A. (2011). Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zoológica Mexicana* 27: 509-526.
- Mendoza, M.Y., Contreras, Y., Sánchez, J.A., González, J., y Arredondo, H.C. (2018). Colecta de pupas de *Drosophila suzukii* en dieta de germen de trigo, por lavado en agua. *Southwestern Entomologist* 43(4): 1003-1007.
- Puntener, W. (1981). *Manual for field trials in plant protection*, 2nd ed. CibaGeigy Ltda, Basle, Switzerland.
- Sarfraz, M., Dosdall, M.L. y Keddie. (2005). Spinosad: a promising tool for integrated pest management. *Outlooks on Pest Management* 16: 78-84.
- Sarkar, N., Rhodes E.M., Spies, J., Roubos, C.R., Little, A., Sial, A.A., Fanning, P.D., Isaacs, R., y Liburd, O.E. (2020). Evaluation of non-target effects of OMRI-listed insecticides for management of *Drosophila suzukii* Matsumura in berry crops. *Journal of Applied Entomology* 144: 12-25.
- Stacconi, M.V., Amiresmaeli, N., Biondi, A., Carli, C., Caruso, S., Dindo, M.L., Francati, S., Gottardello, A., Grassi, A., Lupi, D., Marchetti, E., Mazzetto, F., Mori, N., Pantezzi, T., Tavella, L., Garzia, G., Tonina, L., Vaccari, G., Anfora, G., y Ioriatti, C. (2018). Host location and dispersal ability of the cosmopolitan parasitoid *Trichopria drosophilae* released to control the invasive spotted wing *Drosophila*. *Biological Control* 117: 188-196.
- Wang, X.G., Kaçar, G., Biondi, A., y Daane, M.K. (2016). Life-history and host preference of *Trichopria drosophilae*, a pupal parasitoid of spotted wing *drosophila*. *BioControl* 61: 387-397.

Bioprospección de *Pleurotus djamor* con actividad antihelmíntica sobre huevos de *Haemonchus contortus*: inconvenientes de las fracciones no polares

Ana Graciela Cauich-Olan¹, Karen Aremy Zapata-Escalante¹, Jesús Antonio Pineda-Alegría², Carlos Alfredo Sandoval-Castro¹, Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta¹, Liliana Aguilar-Marcelino³, José Sánchez-Vázquez⁴, María Gabriela Mancilla-Montelongo^{5,*}

Resumen. Los compuestos secundarios de los subproductos de *Pleurotus djamor*, como los basidiomas desechados o el micelio, tienen potencial nutraceutico con propiedades antihelmínticas para pequeños rumiantes. La evaluación *in vitro* de estos materiales bajo un esquema de fraccionamiento biodirigido está sujeta a la disponibilidad del material y las características químicas de los compuestos, principalmente en las fracciones no polares. El objetivo de este trabajo fue determinar si el Tween-80 puede servir como dispersante de las fracciones de hexano (Hex) de basidiomas y micelio de *P. djamor* contra huevos de *Haemonchus contortus*. Se evaluó el efecto de los respectivos extractos etanol:agua (70:30) y sus fracciones Hex de basidiomas y de micelio sobre la eclosión de *H. contortus*. Los huevos del parásito se obtuvieron de dos cabras infectadas artificialmente (aislado Paraíso 10,000 L3 vía oral). La evaluación *in vitro* se realizó mediante pruebas de inhibición de la eclosión de huevos (dos réplicas con 3 repeticiones cada una), utilizando Tween-80 para dispersar las dos fracciones Hex en el medio de incubación. Se estimaron las concentraciones eficaces al 50% (CE50) del extracto y las fracciones Hex, y se evaluó el mecanismo de acción. Los extractos y fracciones Hex tuvieron CE50 < 400 µg·mL⁻¹, excepto la réplica 1 de la fracción Hex de micelio. Sin embargo, ambas réplicas de micelio mostraron igual mecanismo de acción ovicida sobre *H. contortus*. El extracto crudo de basidiomas y micelio, y sus fracciones Hex demostraron actividad contra huevos de *H. contortus*, siendo candidatos para continuar su estudio bioprospectivo como antihelmínticos. El Tween-80 funcionó como dispersante de las fracciones Hex de basidiomas y micelio contra huevos de *H. contortus*, sin alterar el mecanismo de acción. Sin embargo, es necesario considerar que se requiere personal con pericia en la disolución de extractos o fracciones en la prueba biológica *in vitro* a utilizar.

Palabras clave: *Pleurotus djamor*, Extracto, Fraccionamiento, Polaridad, *Haemonchus contortus*.

Abstract. Secondary compounds of *Pleurotus djamor* by-products, such as discarded basidiomes or mycelium, have nutraceutical potential with anthelmintic properties for small ruminants. The *in vitro* evaluation of these materials under a bioguided fractionation scheme is subject to the availability of the material and the chemical characteristics of the compounds, mainly in the non-polar fractions. The aim of this study was to determine whether Tween-80 can serve as a dispersant of the hexane (Hex) fractions of basidiomes and mycelium of *P. djamor* against *H. contortus* eggs. The effect of the respective ethanol:water (70:30) extracts and their Hex fractions of basidiomes and mycelium on the hatching of *H. contortus* was evaluated. Eggs of the parasite were obtained from two artificially infected goats (Paraiso isolate 10,000 L3 orally). *In vitro* evaluation was

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. Jiutepec, Morelos, México.

⁴El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México.

⁵CONAHCYT – Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

*Autor para correspondencia: maria.mancilla@correo.uady.mx

performed with respective egg hatching inhibition tests (two replicates with 3 repeats each), using Tween-80 to disperse the two Hex fractions in the incubation medium. The 50% effective concentrations (EC50) of the extract and Hex fractions were estimated, and the mechanism of action were evaluated. The extracts and Hex fractions had $EC_{50} < 400 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, except for replica 1 of the mycelium Hex fraction. However, both mycelium replicates showed the same mechanism of ovicidal action on *H. contortus*. The crude extract of basidiomes and mycelium, and their Hex fractions demonstrated activity against *H. contortus* eggs and could be candidates to continue their bioprospective study as anthelmintics. Tween-80 functioned as a dispersant of the Hex fractions of basidiomes and mycelium against *H. contortus* eggs, without altering the action mechanism. However, it is necessary to consider that personnel with expertise in the dissolution of extracts or partitions are required in the *in vitro* biological test to be used.

Keywords: *Pleurotus djamor*, Extract, Fraccionation, Polarity, *Haemonchus contortus*.

1. Introducción

Una de las estrategias de control integrado de los parásitos nematodos gastrointestinales (NGI) de pequeños rumiantes es el uso de subproductos agroindustriales como nutraceuticos (García-Ceballos et al., 2021). Los hongos comestibles se cuentan entre los desechos con este potencial. Los hongos del género *Pleurotus* spp., si bien son valorados y comercializados internacionalmente, en México son considerados un alimento gourmet con precios elevados. El producto no consumido (basidiomas) o sus subproductos (micelio, sustrato degradado) se podrían aprovechar para la alimentación de pequeños rumiantes, contribuyendo a una economía circular (Castañeda-Ramírez et al., 2022).

La bioprospección de *Pleurotus djamor*, como un nutraceutico con propiedades antihelmínticas para pequeños rumiantes, se ha estudiado con sus extractos proteicos, de basidiomas, micelio y sustratos de crecimiento (Aguilar-Marcelino et al., 2024). Para identificar las moléculas activas, se han empleado diferentes procesos de fraccionamiento biodirigido utilizando las distintas fases de vida del NGI *Haemonchus contortus* como modelo de estudio (Aguilar-Marcelino et al., 2024).

La obtención de las fracciones incluye el uso de disolventes de distinta polaridad, siendo aquellos de baja polaridad, los que presentan un desafío al enfrentarlos a los NGI en los ensayos de actividad biológica *in vitro*. Generalmente, este problema se resuelve utilizando un prediluyente como el dimetilsulfóxido (DMSO) o Tween-80 que contribuyen a la interacción de los compuestos poco polares con el organismo en estudio. Normalmente se usa el DMSO para las pruebas de eclosión de huevos (von Samson-Himmelstjerna et al., 2009). Sin embargo, un estudio previo mostró que el DMSO no disuelve las fracciones hexánicas. Por lo tanto, se requiere evaluar si el Tween-80 puede funcionar como dispersante de las fracciones no polares de *P. djamor*. El objetivo de este trabajo fue determinar si el Tween-80 puede servir como dispersante de las fracciones Hex de basidiomas y micelio de *P. djamor* contra huevos de *H. contortus*.

2. Materiales y Métodos

Los respectivos extractos de micelio y basidiomas de *P. djamor* se obtuvieron mediante maceración en una mezcla etanol:agua (70:30). La fracción no polar fue obtenida en sendas extracciones líquido-líquido de los extractos crudos con hexano (Fig. 1). Cada fracción fue llevada a sequedad.

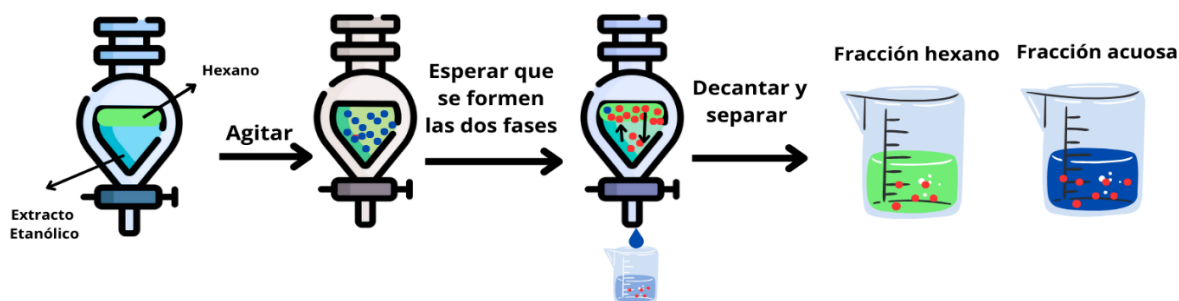


Figura 1. Diagrama de la extracción líquido-líquido secuencial realizada para la obtención de las fracciones hexano a partir del extracto etanol:agua (70:30) de micelo y basidiomas del hongo *Pleurotus djamor*.

Se utilizó la prueba de inhibición de la eclosión de huevos (IEH; Jackson & Hoste, 2010) para evaluar la actividad de los extractos crudos y las fracciones de hexano (Hex) contra huevos de *H. contortus*. Los huevos del parásito se obtuvieron de dos cabras infectadas artificialmente (aislado Paraíso 10,000 L3 vía oral). Se prepararon soluciones madre a 5000 µg/mL en buffer fosfato salino (PBS) de los extractos crudos y de las fracciones Hex. Para preparar las soluciones de estas fracciones, se disolvieron 40 mg de cada fracción en 80 µL de dimetilsulfóxido (DMSO) o Tween-80, y con ayuda de un vórtex y un sonicador se homogenizaron en PBS hasta completar 8 mL de solución. Se utilizaron placas de 24 pozos con concentraciones de 20 a 3600 µg/mL de tratamiento, PBS como control negativo y tiabendazol (TBZ) como control positivo. En cada pozo se agregaron 150-200 huevos de *H. contortus* y se completó a un volumen de 1.5 mL. Las placas se incubaron por 48 h a 28 °C. De cada extracto y fracción se hicieron 2 réplicas con 3 repeticiones cada una. Transcurrido el tiempo de incubación, se agregaron dos gotas de solución de Lugol en cada pozo para detener el desarrollo de las larvas. Se extrajo el contenido total de cada pozo y se depositó en cámaras de McMaster para observar al microscopio (objetivo 10x) el mecanismo de acción. Se realizó el conteo de huevos y larvas en cada pozo. Con estos datos se estimó la concentración eficaz al 50% (CE50) y los intervalos de confianza al 95% (IC95) con el paquete ‘drc’ de R Studio.

3. Resultados y Discusión

Los fraccionamientos biodirigidos sirven para identificar a las fracciones más activas del extracto crudo inicial de un material que esté siendo estudiado bioprospectivamente. En esas fracciones se busca disminuir la complejidad de la mezcla y concentrar el o los compuestos activos (Weller, 2012). Sin embargo, como en cualquier proceso de bioprospección, se deben considerar aspectos y desafíos para lograr la interacción de los compuestos con el organismo blanco y las condiciones óptimas de la prueba en la que se evaluará. En general, es más sencillo trabajar con las fracciones de mayor polaridad, ya que son fácilmente solubles en medios acuosos (Jackson & Hoste, 2010). Pero al enfrentar fracciones de poca polaridad y no polares se requiere de utilizar diferentes estrategias incluyendo pre-diluyentes no tóxicos, tratamientos mecánicos como el ultrasonido y tratamientos químicos como modificación del pH, entre otros.

Para la correcta realización de cualquier prueba *in vitro* se requiere incluir por lo menos un control negativo y un control positivo. El control negativo contiene todas las condiciones del experimento, excepto el reactivo o extracto que se está evaluando. En este control se espera que haya un desarrollo normal del organismo blanco constatando la ausencia de otra variable que pueda enmascarar el efecto que se está evaluando. Incluso la calidad del agua utilizada en los ensayos, como el contenido de Mg, Ca o pH, influye en los resultados (von Samson-Himmelsjerna et al., 2009). El control positivo incluye un reactivo o producto del que tenemos la certeza que genera el efecto que buscamos evaluar con la prueba *in vitro*.

La prueba de IEH es utilizada para evaluar el potencial antihelmíntico de un extracto de plantas contra huevos de *H. contortus* y otros NGI (Jackson & Hoste, 2010). Esta prueba se basa en la utilizada para diagnosticar resistencia *in vitro* a la familia de los bencimidazoles (von Samson-Himmelsjerna et al., 2009). El bencimidazol que se utiliza es TBZ, un compuesto muy poco soluble en agua (30 µg/mL, pH = 7.4; NCBI, 2024a). El DMSO es usado como disolvente de las soluciones de TBZ y proporciona resultados reproducibles entre laboratorios.

En este estudio, los pozos de control negativo contenían huevos de *H. contortus* en PBS sin extracto, por lo que se esperaba observar la eclosión de una larva íntegra después de 48 h de incubación. Para el control positivo se utilizó el TBZ disuelto en DMSO. Con la alta concentración utilizada (25 µg/mL TBZ) se impidió el desarrollo de larvas y, efectivamente, se observaron únicamente huevos.

Las fracciones Hex de los extractos de *P. djamor* se esperaba que fueran de baja polaridad y, por lo tanto, insolubles en PBS. Con base en la técnica de diagnóstico de resistencia *in vitro* mencionada anteriormente, se podría usar DMSO como disolvente para preparar la solución madre de las fracciones Hex. Sin embargo, un estudio previo demostró que las fracciones Hex de micelio y basidiomas de *P. djamor* no son solubles en DMSO. El DMSO es un disolvente polar aprótico, utilizado en la industria farmacéutica por su alta capacidad de penetrar las membranas biológicas (NCBI, 2024a). Aunque es miscible en agua y muchos disolventes orgánicos, no solubiliza compuestos apolares como las ceras.

Por lo tanto, se decidió utilizar al Tween-80 como prediluyente para los ensayos de actividad biológica contra huevos de *H. contortus*. El Tween-80 o polisorbato 80 es un surfactante, no iónico e hidrofílico, muy utilizado en la industria farmacológica, alimenticia y cosmética (NCBI, 2024b). Un agente surfactante o emulsificante es una sustancia que incrementa la solubilidad de un compuesto en otro, los cuales son insolubles entre ellos. Esta misma propiedad genera que se incremente la biodisponibilidad de los compuestos que solubiliza, y en algunos casos genera sinergia en la actividad evaluada, como la antibiótica, sin que posea actividad por sí mismo (Ezadi et al., 2019).

Tras analizar los resultados obtenidos en las pruebas de IEH, se observó que la CE50 de la fracción Hex de basidiomas fue mayor respecto al extracto crudo etanólico (Cuadro 1). Por otro lado, al evaluar la fracción Hex de micelio, los resultados de las dos réplicas no coincidieron. La CE50 de la réplica 1 (R1) fue mayor a la del extracto crudo, mientras que la de la réplica 2 (R2) fue menor que la del extracto crudo (Cuadro 1). Sin embargo, ambas réplicas coincidieron en el modo de acción ovicida, es decir que mataron al huevo desde la fase de mórula. Estos resultados podrían significar una emulsión incompleta de los compuestos bioactivos en la R1, lo cual no pudo apreciarse a simple vista. Para este estudio, no fue posible realizar una tercera réplica para corroborar los resultados debido al bajo rendimiento del extracto de micelio y sus fracciones. Sin embargo, se puede destacar la relevancia del empleo de un emulsificante adecuado y la pericia para conseguir una mezcla completamente

dispersa que facilite, en este caso, la interacción entre los compuestos activos no polares de la fracción Hex y los huevos de *H. contortus* en el sistema *in vitro*.

Cuadro 1. Concentraciones eficaces al 50% (CE₅₀) e intervalos de confianza al 95% (IC₉₅) de las fracciones hexánicas del extracto etanol:agua (70:30) de micelio y basidiomas de *Pleurotus djamor* contra huevos de *Haemonchus contortus*.

Fracción	CE ₅₀ (µg·mL ⁻¹)	IC ₉₅ (µg·mL ⁻¹)
Basidiomas		
Extracto crudo etanólico	155.98	149.56 – 162.39
Hexano	378.93	357.57 – 400.29
Micelio		
Extracto crudo etanólico	229.19	220.68 – 237.71
Hexano R1	604.83	547.75 – 661.92
Hexano R2	121.38	115.02 – 127.73

Cabe destacar que un estudio bioprospectivo no pretende llevar el extracto o sus fracciones a escalas *in vivo*. Es decir, el objetivo no es encontrar una fracción activa para después ofrecer la fracción o extracto del hongo para desparasitar a los animales, sino para buscar moléculas nuevas que tengan gran actividad antihelmíntica. En un futuro, se podrán buscar alternativas para mejorar los rendimientos, por ejemplo, con fuentes diferentes del metabolito activo o empleando un biorreactor.

4. Conclusiones

El Tween-80 puede servir como dispersante de las fracciones Hexano de basidiomas y micelio de *P. djamor* contra huevos de *H. contortus*. Sin embargo, es necesario considerar que este material sea utilizado por personal con pericia en la disolución de extractos o fracciones en la prueba biológica *in vitro* a utilizar.

Agradecimientos

Al INIFAP por el Proyecto de recursos fiscales del No. 139335341, y a CONAHCYT por el Proyecto IxM No. 692.

Referencias Citadas

- Castañeda Ramírez, G.S., Torres Acosta, J.F.J., Cruz Arévalo, J., Leyte Lugo, M., García Rubio, V.G. & Aguilar Marcelino, L. (2022). Aplicaciones biotecnológicas y farmacológicas del hongo comestible *Pleurotus* spp. en el sector agropecuario y la salud pública. En: García Rubio, V.G. (Ed). Potencialidades de la ovinocultura y los hongos comestibles (*Pleurotus* spp.) en la seguridad alimentaria y el desarrollo ruralpp. Laberinto Ed. Ciudad de México (México), pp. 107-151.
- Ezadi, F., Ardebili, A. & Mirnejad, R. (2019). Antimicrobial susceptibility testing for polymyxins: challenges, issues, and recommendations. *Journal of Clinical Microbiology*, 57(4): 10-1128.

- García-Ceballos, C.A., Mancilla-Montelongo, M.G., Sandoval-Castro, C.A. & Torres-Acosta, J.F.J. (2021). Subproductos agroindustriales: alimentos nutraceuticos para cabras y borregos. *Bioagrobiencias*, 14(2): 32-40.
- Jackson, F. & Hoste, H. (2010). In vitro methods for the primary screening of plant products for direct activity against ruminant gastrointestinal nematodes. En: Vercoe, P.E., Makkar, H.P.S. & Schlink, A.C. (Eds.). *In vitro screening of plant resource for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies*. Springer, Dordrecht (Netherlands), pp. 25-45.
- Aguilar-Marcelino, L., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Sanchez, J.E., Gonzalez-Cortazar, M., Mancilla-Montelongo, M.G., González-Pech, P.G., Pineda-Alegría, J.A., Ventura-Cordero, J. & Castañeda-Ramírez, G.S. (2024). Research on chemical compounds from edible mushrooms for the control of gastrointestinal nematodes and phytoparasites. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1): 011.
- National Center for Biotechnology Information (2024a). PubChem Compound Summary for CID 679, Dimethyl Sulfoxide. Consultado 14 Febrero, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dimethyl-Sulfoxide>.
- National Center for Biotechnology Information (2024b). PubChem Compound Summary for NA, Polysorbate 80. Consultado 14 Febrero, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Polysorbate-80>.
- von Samson-Himmelstjerna, G., Coles, G. C., Jackson, F., Bauer, C., Borgsteede, F., Cirak, V. Y., Demeler, J., Donnan, A., Dorny, P., Epe, C., Harder, A., Hoglund, J., Kaminsky, R., Kerboeuf, D., Kuttler, U., Papadopoulos, E., Posedi, J., Small, J., Varady, M., Vercruysse, J. & Wirtherle, N. (2009). Standardization of the egg hatch test for the detection of benzimidazole resistance in parasitic nematodes. *Parasitology Research*, 105: 825-834.
- Weller, M.G. (2012). A unifying review of bioassay-guided fractionation, effect-directed analysis and related techniques. *Sensors*, 12: 9181–9209.

Determinación colorimétrica de alimentos en diferentes dispositivos como prueba de viabilidad y precisión

Jorge Miguel Martínez-González¹, Lorenzo Jarquín-Enríquez¹, Hugo Jiménez-Islas², Iván Zavala del Ángel¹, Norma Leticia Flores-Martínez^{1,*}

Resumen. El estudio del color de los alimentos es de gran importancia debido a su influencia en la preferencia del consumidor y en la percepción de la calidad de los productos. El color es el primer atributo evaluado, desempeñando un papel decisivo en la aceptación o rechazo de los alimentos. Sin embargo, los métodos instrumentales de medición de color, como los colorímetros especializados, presentan limitaciones significativas en términos de costo y accesibilidad, imponiendo barreras para que investigadores y estudiantes con recursos limitados, obtengan datos estadísticamente representativos. Este estudio se centró en evaluar la precisión de tres dispositivos de medición de color: el colorímetro Minolta CR-410, el colorímetro FRU WR10 y la aplicación "Color Analysis" de Lab Tools, aplicados en jitomates con diferentes estados de madurez. El objetivo principal fue analizar la variabilidad de los parámetros L^* , a^* y b^* obtenidos, así como obtener ecuaciones de regresión para los datos entre cada dispositivo y la zona de muestra. Los resultados mostraron una tendencia en cada uno de los parámetros de L^* , a^* y b^* con rangos de dispersión de 20 unidades entre el Minolta y la aplicación, y un rango de 60 unidades entre el Minolta y el FRU WR10. Mostrando un ajuste en las ecuaciones de regresión en modelos polinómicos de cuarto grado, indicando la complejidad de la relación entre los parámetros de color y la necesidad de explorar modelos alternativos. Es importante señalar que en mediciones realizadas en fragmentos homogéneos de la muestra se obtuvieron valores semejantes de los parámetros L^* , a^* y b^* caso contrario en fragmentos heterogéneos por lo que estas divergencias sugieren que la elección del dispositivo de medición puede impactar en las evaluaciones de color de productos alimenticios, lo que subraya la necesidad de disponer de herramientas de medición de color más asequibles y fiables.

Palabras clave: Colorimetría, Jitomates, Comparación de Dispositivos.

Abstract. The study of food color is of great importance due to its influence on consumer preference and the perception of product quality. Color is the first attribute evaluated, playing a decisive role in the acceptance or rejection of food. However, instrumental color measurement methods, such as specialized colorimeters, present significant limitations in terms of cost and accessibility, imposing barriers for researchers and students with limited resources to obtain statistically representative data. This study focused on evaluating the accuracy of three-color measurement devices: the Minolta CR-410 colorimeter, the FRU WR10 colorimeter, and the Lab Tools "Color Analysis" application, applied to tomatoes with different stages of maturity. The main objective was to analyze the variability of the L^* , a^* , and b^* parameters obtained, as well as obtain regression equations for the data between each device and the sample area. The results showed a trend in each of the parameters of L^* , a^* , and b^* with dispersion ranges of 20 units between the Minolta and the application, and a range of 60 units between the Minolta and the FRU WR10. Showing a fit in the regression equations in fourth-degree polynomial models, indicated the complexity of the relationship between color parameters and the need to explore alternative models. It is important to note that in measurements carried out on homogeneous fragments of the sample, comparable values of the parameters L^* , a^* , and b^* were obtained, otherwise in heterogeneous

¹Universidad Politécnica de Guanajuato, Guanajuato, México.

²Tecnológico Nacional de México en Celaya, Guanajuato, México.

*Autor para correspondencia: nlflores@upgto.edu.mx

fragments, these divergences suggest that the choice of the measurement device can impact the evaluations of food products, underscoring the need for more affordable and reliable color measurement tools.

Keywords: Colorimetry, Tomatoes, Device Comparison.

1. Introducción

Los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva y el color es el primer atributo que se juzga de los productos. Esto es decisivo ya que en innumerables pruebas se ha comprobado que cuando el color de un alimento cambia sin alterar su forma, aroma u otros atributos de textura, se obtiene una respuesta de rechazo por parte de los consumidores, o incluso de los catadores entrenados (Badui, 2006).

Los alimentos, tanto en su forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica. El color a menudo se utiliza para determinar el contenido de pigmentos de un producto, que a su vez es un índice de calidad, como lo es en el caso del salmón o del vino (González & Vicente, 2007). Además, el aspecto del color puede correlacionarse con la presencia de un perfil químico característico, puede revelar cambios relacionados con las tecnologías aplicadas, los tratamientos térmicos adoptados, la temperatura de almacenamiento o, por último, puede estar relacionado con adulteraciones (Cairone et al., 2020).

Incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad. En el caso de la medición instrumental, el color se expresa mediante las coordenadas cromáticas. Existe una serie de equipos, tales como los colorímetros Hunter Lab, Gardner, Color Eye, Color Master, Momcolor, Dr. Lange y Minolta (Figura & Teixeira, 2007). Diferentes sistemas permiten medir el color, entre los cuales el CIEL*a*b* es el método estándar propuesto por la Commission Internationale de l'Eclairage con el objetivo de responder a la percepción humana de los colores (Malacara, 2011). Hunter Lab es otro sistema utilizado, este tiene una superficie uniforme de color definida por tres coordenadas rectangulares: L, a, b. Sin embargo, la CIE recomienda hoy en día el uso de CIE L*, a*, b* (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Es importante que se comprenda que el color percibido de un alimento (o de cualquier objeto) no es algo absoluto sino relativo al entorno y por lo tanto su especificación va unida a las condiciones de observación, (Hough & Fiszman, 2005). Algunos factores a tener en cuenta al momento de realizar mediciones instrumentales de color son el iluminante. Otro factor es el observador, la utilidad de estos reside en evaluar la luminancia de una determinada luz desde el punto de vista perceptivo no fotométrico (Lozano, 1978). La forma, el tamaño y el color del fondo sobre el que se halla la muestra, pueden ejercer un importante efecto de contraste, modificando la sensación que produce un determinado color sobre el observador (Calvo & Durán, 1997). Debido a lo anterior es muy importante tener la mayor certeza posible de que las mediciones instrumentales de color se han realizado de forma correcta, así como de la validez de los valores L* a* b* obtenidos. Por tanto, es importante destacar que debido al elevado costo de aproximadamente \$324,000.00 MXN del colorímetro modelo CR-410 marca Kónica Minolta, no todos tienen acceso a este tipo de equipos. Esto plantea una barrera para aquellos investigadores y estudiantes con recursos limitados, quienes podrían enfrentar dificultades para obtener datos estadísticamente representativos.

Conscientes de esta situación, se busca una alternativa que proporcione resultados confiables y comparables. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño de dos diferentes colorímetros: el Minolta CR-410 de la marca Kónica Minolta con respecto a un colorímetro marca FRU modelo WR10 y una aplicación para teléfono móvil (Color analysis de Lab Tools). La intención es determinar si existe una variación significativa entre los valores $L^*a^*b^*$ obtenidos por los diferentes equipos al medir las mismas muestras. Esto permitirá confirmar o, en su caso, rechazar el uso del colorímetro marca FRU modelo WR10 o la aplicación móvil como una alternativa válida para trabajos académicos, ya que al tener costos más accesibles brindará la oportunidad de obtener resultados precisos sin incurrir en el alto costo del colorímetro CR- 410 Kónica Minolta.

2. Materiales y Métodos

Los frutos cosechados, se clasificaron de acuerdo a la carta de colores para la clasificación de jitomate, tomando 3 frutos para cada estado de madurez. Se clasificaron en 6 estados diferentes los cuales fueron: Green, Red, Light Red, Breakers, Turning, y Pink. Después de que los frutos fueron clasificados en sus 6 estados de madurez (Figura 2), fueron limpiados y se les retiró el cáliz, además se hicieron lecturas en 6 puntos distintos del fruto bajo el siguiente criterio: 2 en la parte distal, 2 en la parte proximal y 2 en el ecuador con la finalidad de homologar las zonas (Figura 1). Para dichas lecturas se utilizó un colorímetro marca Minolta CR-410, así como otro colorímetro marca FRU WR10 y una aplicación para celular llamada Color Analysis ver. 7.0.0 de Research Lab Tools, los tres dispositivos trabajaron con iluminante D65 y observador a 2°. Se reportaron los valores promedios de las 6 mediciones de L^* , a^* y b^* .

Método experimental. Los jitomates se limpiaron y separaron para su medición según su estado de maduración de acuerdo a la carta de colores de los productores de california. Se cuidó el entorno donde se realizaron las mediciones ya que este puede influir en los resultados $L^* a^*b^*$. Antes de realizar las mediciones, los colorímetros Minolta CR-410 y FRU WR10 fueron calibrados siguiendo las instrucciones del fabricante para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados. Se realizaron mediciones de color utilizando el colorímetro Minolta CR-410, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se realizaron 6 mediciones en total. Se registraron los valores $L^*a^*b^*$ obtenidos para cada muestra. El equipo se colocó directamente sobre el jitomate y se procedió a realizar la medición para registrar los datos. Se realizaron 6 mediciones en total (2 mediciones por Distal, Proximal y Ecuador). En el caso de este colorímetro, los datos se convirtieron a CIE Lab ya que la unidad de medición de este dispositivo es HunterLab. Se utilizó la aplicación "Color Analysis" para teléfono móvil específicamente diseñada para medir el color de objetos. Se realizaron mediciones de color con la aplicación para cada muestra, y se registraron los valores $L^*a^*b^*$ obtenidos. Se tuvo especial cuidado con la interferencia de la luz ambiental y las mediciones se realizaron a 5 cm de distancia del lente a la muestra (jitomate).

Organización y homologación de datos. Una vez finalizadas las mediciones, los datos se organizaron utilizando el software Microsoft Excel. Se dispusieron las mediciones de cada parámetro (L^* , a^* , b^*) para cada muestra de color en diferentes zonas (distal, proximal y ecuador). Esta disposición permitió una fácil observación de las variaciones entre los valores obtenidos por los tres dispositivos. Para asegurar la comparabilidad de los datos, se llevó a cabo una homologación de unidades. Mientras que los colorímetros Minolta CR-410 y la aplicación "Color Analysis" proporcionaron mediciones en la escala de CIE Lab, el colorímetro FRU WR10 utilizó la escala

Hunterlab. Por tanto, se realizó una conversión de los datos de la escala Hunterlab a la escala CIELab mediante la página de internet “convertingcolors” que ofrece el servicio de conversión de unidades de distintas escalas para medición de color.

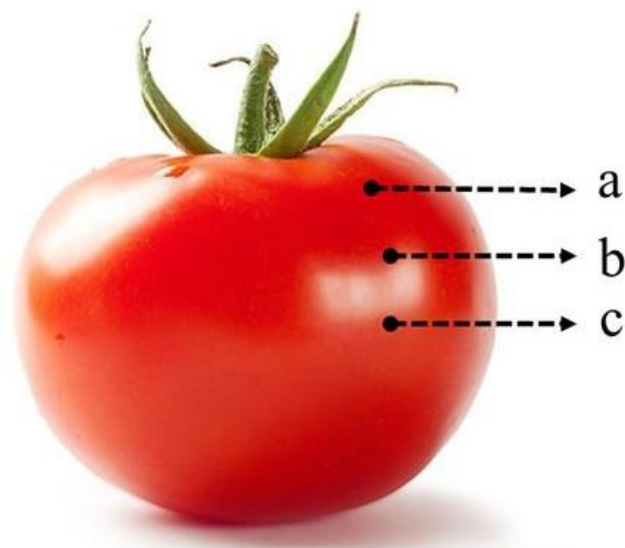


Figura 1. Zonas representativas de las posiciones donde se generaron los datos en el jitomate (a distal, b proximal, c ecuador).

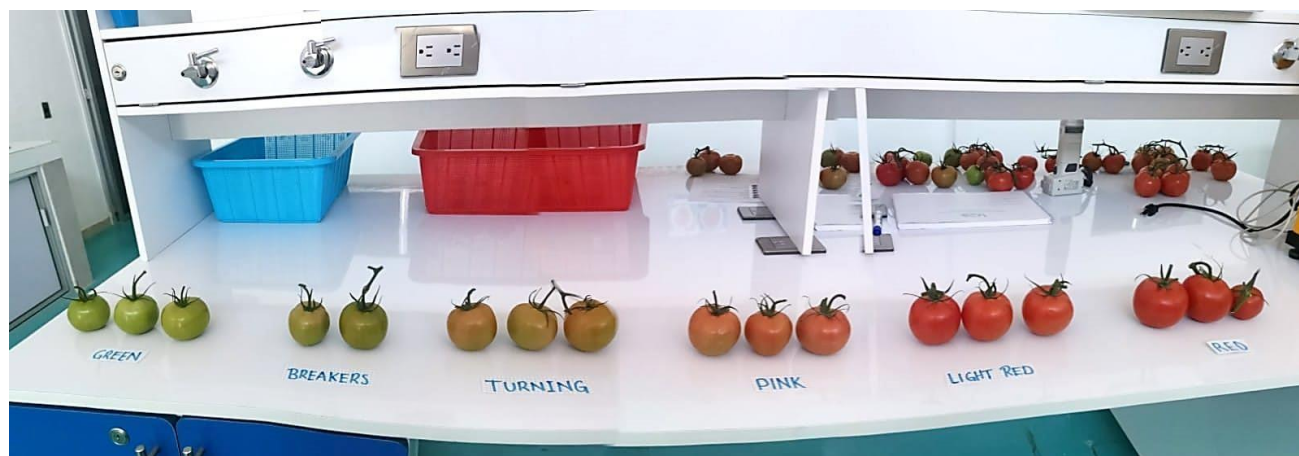


Figura 2. Clasificación de jitomates por estado de maduración y color.

En las columnas del archivo de Excel, se registraron los valores L^* , a^* y b^* obtenidos por cada dispositivo, mientras que las filas representaron las diferentes zonas de las muestras (distal, proximal y ecuador). Esta organización de datos facilitó el análisis y la comparación de los resultados entre los tres dispositivos utilizados, permitiéndonos evaluar si existen diferencias significativas en las mediciones del color.

Análisis de datos. Para el análisis de los datos obtenidos, se empleó el software Curve Expert ver. 2.2.3 con el objetivo de encontrar un modelo matemático que explicara la correlación entre los datos del colorímetro FRU WR10 y la aplicación "Color Analysis", en comparación con los datos del colorímetro Minolta CR-410.

Previo al análisis con Curve Expert, se realizó un ajuste en la disposición de los datos del archivo de Excel. Dado que Curve Expert requiere que los datos sean ingresados en columnas para cada método de medición, se reacomodaron los valores de acuerdo al formato adecuado. De esta forma, se permitió una correcta interpretación y análisis de los datos por parte del software. Mediante el uso de Curve Expert, se buscó establecer un modelo matemático que permitiera evaluar la relación entre las mediciones realizadas por los distintos dispositivos de colorimetría. Este análisis ayuda a determinar si existen diferencias significativas en los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos por el colorímetro FRU WR10 y la aplicación "Color Analysis" en comparación con el colorímetro Minolta CR-410.

Con este enfoque, se buscó obtener resultados precisos y confiables para respaldar la evaluación del desempeño de los diferentes métodos de medición de color, proporcionando así una base sólida para determinar la validez y comparabilidad de los dispositivos analizados.

3. Resultados y Discusión

Descripción de los datos recolectados. A continuación, se presenta un cuadro que organiza los datos L^* , a^* y b^* obtenidos de los colorímetros Minolta CR-410, FRU WR10 y la aplicación Color Analysis de Lab Tools. Este formato se eligió para facilitar el análisis y la identificación de tendencias según el dispositivo, los valores L^* , a^* y b^* y las zonas de análisis del jitomate. Como se muestra en el Cuadro 1, la disposición de los datos L^* , a^* y b^* en columnas permite una comparación eficaz entre los dispositivos.

Cuadro 1. Valores L^* , a^* y b^* obtenidos en estado de madurez Red.

Zona	Red								
	L^* Minolta	L^* app	L^* WR10	a^* Minolta	a^* WR10	a^* app	b^* Minolta	b^* app	b^* WR10
Distal	43.23	32.4	43.19	77.51	17.75	54.5	54.16	70.5	24.45
	44.77	38.1	45.57	73.32	20.55	60.8	54.48	46	30.49
Ecuador	42.66	38.3	45.05	73.37	20.59	60.2	52.34	46.2	32.51
	45.4	39.4	43.65	74.3	19.67	57.1	56.24	43.4	26.1
Proximal	43.67	36.8	44.97	75.58	22.28	57.3	54.39	44.3	31.06
	44.9	35.4	41.04	77.15	17.58	54.2	56.37	42.6	23.44

Comparación de los valores de L^* , a^* y b^* entre los dispositivos. La Figura 3 representa los datos L^* , a^* y b^* de los 6 estados de madurez, se puede observar que el parámetro a^* de los tres dispositivos, aumenta desde el estado de madurez verde maduro hasta rojo, posiblemente debido a la síntesis de licopeno y la disminución de la clorofila que representa el cambio de color de verde a rojo, de igual

manera se observa que el parámetro L^* disminuye conforme avanza el estado de madurez reflejando el oscurecimiento por la síntesis de carotenoides y la pérdida de color verde, los valores de b^* incrementan los primeros 4 estados de madurez y después disminuye, reflejando la síntesis de caroteno (el segundo carotenoide más importante del jitomate) que se enmascara con el incremento de la concentración de licopeno. El cambio en el valor de b^* es más notorio en el colorímetro FRU WR10 y la aplicación Color Analysis.

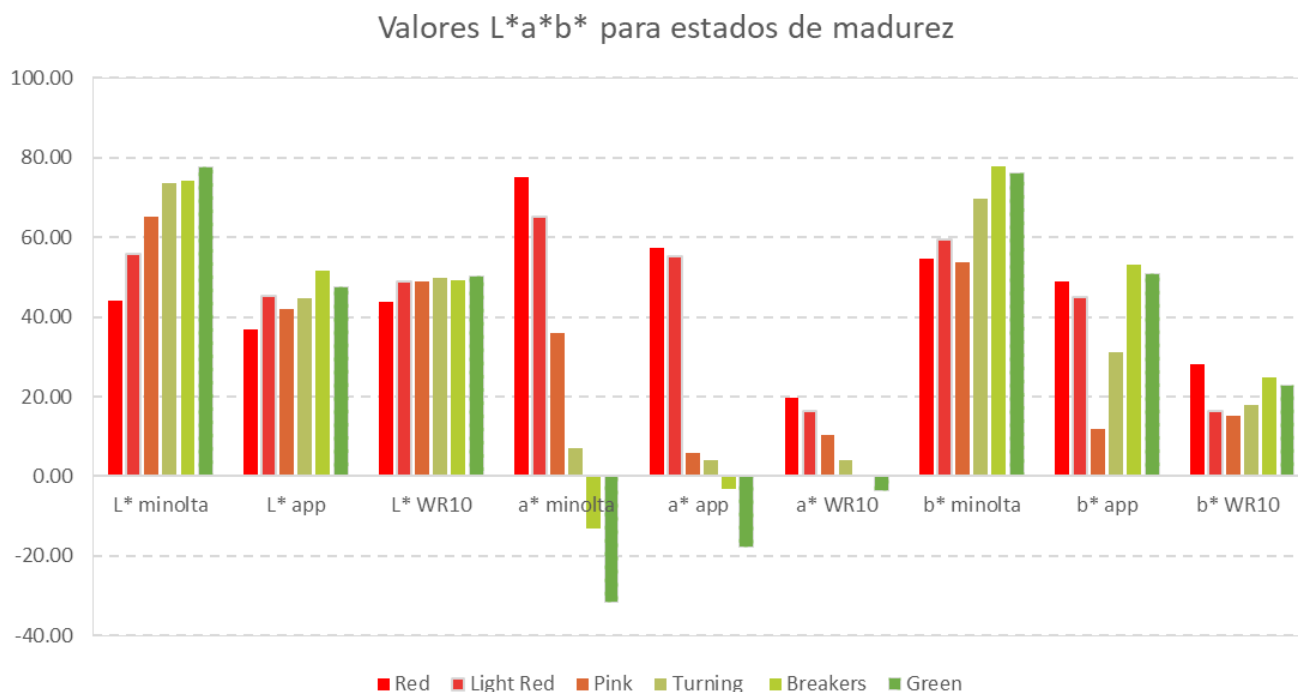


Figura 3. Valores $L^* a^* b^*$ para estados de madurez en el análisis colorimétrico.

Comparación de los dispositivos de medición. Se realizó una comparación entre los tres dispositivos de medición utilizados: el colorímetro Minolta CR-410, el colorímetro FRU WR10 y la aplicación "Color Analysis" de Lab Tools. El análisis de los valores de L^* , a^* y b^* proporcionó información sobre la consistencia y precisión de los dispositivos en la medición del color en muestras de jitomate en diferentes áreas.

En L^* se pudo observar una tendencia a la disminución en función del estado de madurez. Aunque esta tendencia parece ser compartida por los tres dispositivos de medición de color, es importante señalar las notables diferencias observadas. De hecho, tanto la aplicación "Color Analysis" como el colorímetro FRU WR10 exhibieron valores de L^* significativamente más bajos en comparación con el Minolta CR-410. En cuanto al comportamiento de a^* , se identificó una tendencia de incremento de acuerdo al estado de madurez verde al rojo. Esta evolución se manifestó de manera más uniforme en los dispositivos Minolta CR-410 y FRU WR10. En el análisis de b^* , se observó un patrón descendente en los primeros cuatro estados de madurez, seguido de un aumento en los dos estados de madurez posteriores. El comportamiento presentado es similar al reportado por Zapata et al. (2007) y Padrón et al. (2012). Resulta relevante destacar que las diferencias entre los valores L^* , a^* y

b^* reportados por la aplicación Color Analysis y el colorímetro FRU WR10 en comparación con el Minolta CR-410 son estadísticamente significativas (Figura 4).

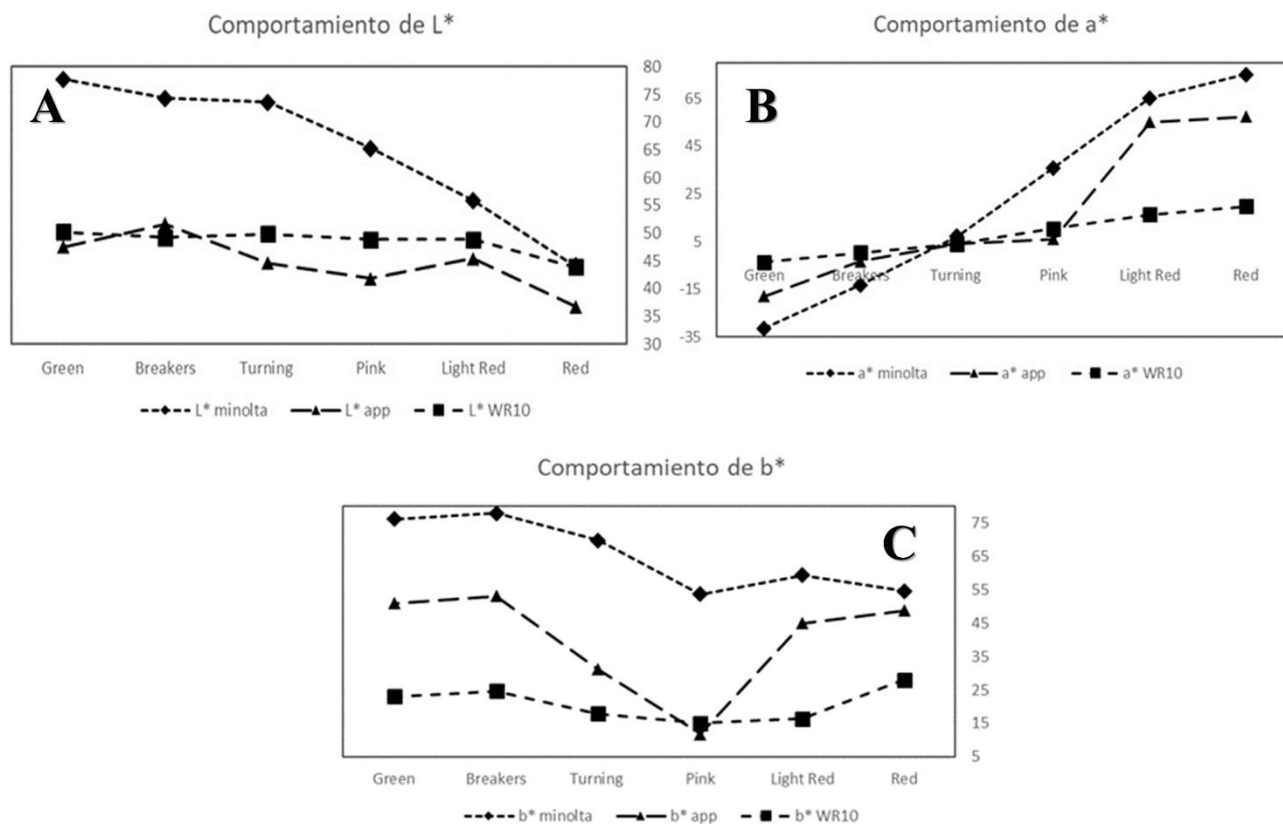


Figura 4. A) Comportamiento de L^* , B) Comportamiento de a^* , C) Comportamiento de b^*

La discrepancia en los resultados enfatiza la importancia de la calibración precisa de los dispositivos, la elección del área de medición y la distancia entre la muestra y el lente del dispositivo. El Minolta CR-410 tiene un área de medición más amplia (50 mm) en comparación con el FRU WR10 (8 mm), lo que podría influir en la variabilidad de los valores de color obtenidos. Además, la aplicación "Color Analysis" requiere una correcta iluminación y condiciones ambientales para obtener mediciones precisas, lo que destaca la necesidad de controlar cuidadosamente el entorno de medición, la distancia fijada entre la muestra y el lente, así como los posibles errores de medición humanos al colocar las muestras en los dispositivos.

Interpretación de los resultados. Se utilizó el software Curve Expert para analizar la correlación entre las mediciones de L^* , a^* y b^* obtenidas mediante el Minolta CR-410, la aplicación "Color Analysis" y el colorímetro FRU WR-10. Tras realizar un análisis de regresión, se obtuvo un modelo matemático que describe la relación entre los dos conjuntos de datos. El modelo matemático obtenido fue una regresión polinomial de 4to grado, como se muestra a continuación:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$$

El modelo sugiere una relación compleja y no lineal entre los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos por el Minolta CR-410, la aplicación "Color Analysis" y el colorímetro FRU WR-10. Los coeficientes a, b, c, d y e indican las contribuciones de diferentes grados de las mediciones de la aplicación en la predicción de los valores de L^* del Minolta. Estos resultados sugieren la influencia de factores no lineales en la relación entre los dispositivos de medición.

El objetivo fue obtener ecuaciones de regresión polinómica de grado 4 para cada parámetro de color (L^* , a^* y b^*) en los diferentes estados de madurez de las muestras de jitomate. Sin embargo, es importante destacar que no en todas las relaciones se pudo obtener una regresión polinómica de grado 4. Algunas relaciones pueden no haberse ajustado a un modelo polinómico de este grado debido a la naturaleza específica de los datos o a variaciones significativas en los valores de L^* , a^* y b^* .

Además, se observó que los valores de R^2 presentaron variaciones en función de las relaciones analizadas. Estas variaciones pueden estar relacionadas con la complejidad de la correlación y la cantidad de datos disponibles para cada relación. Se observó que algunas relaciones alcanzaron valores de R^2 altos (0.99 en a^* para la relación Minolta/app en Red), lo que sugiere un ajuste sólido del modelo a los datos, mientras que otras relaciones mostraron valores de R^2 más bajos (0.73 en L^* para la relación Minolta/WR10 en Red) (Cuadro 2), lo que indica que la correlación entre los dispositivos podría ser menos predecible en esas circunstancias en las que se obtuvieron los datos L^* , a^* y b^* . Otras investigaciones de medición de color en alimentos como Larraín et al., (2008) presentaron variaciones en sus valores de R^2 , en su estudio evaluaron el uso de imágenes digitales para estimar valores CIElab en comparación con un colorímetro en carne vacuna, obtuvieron altos valores de R^2 para a^* de hasta 0.96, mientras que para L^* y b^* obtuvieron 0.56 y 0.58 respectivamente, sugiriendo que los valores bajos podrían deberse a una baja gama de colores en la evaluación.

Cuadro 2. Ecuaciones obtenidas en Curve expert para Red.

Comparación	Parámetro	RED		
		Tipo de ecuación	Ecuación	R^2
Minolta/App	L^*	regresión		0.9445
	a^*	polinomial4	$y=ax+bx+cx$	0.9997
	b^*			0.934
Minolta/WR10	L^*	Sinusoidal	$y=a+b\cos(cx+d)$	0.7362
	a^*	regresión		0.9946
	b^*	polinomial4	$y=ax+bx+cx$	0.9613

4. Conclusiones

El análisis de los valores de L^* , a^* y b^* proporcionó valiosa información sobre la consistencia y precisión de estos dispositivos en la medición del color de los jitomates en diferentes estados de madurez. Se observó una tendencia general en los valores de L^* , a^* y b^* en función del estado de

madurez de los jitomates, lo que es consistente con la literatura científica. Demostrando que la zona de medición no es determinante en la variación de datos L^* , a^* y b^* además que, según los análisis de correlación, dependiendo de la variable analizada (L^* , a^* o b^*) la correlación entre los dispositivos podría ser menos predecible ya que los valores de R^2 variaron significativamente entre las relaciones analizadas. Estas diferencias y variaciones resaltan la importancia de comprender las limitaciones y alcances de cada dispositivo de medición de color, así como todas las variables que podrían influir en los valores $L^*a^*b^*$ reportados por cada dispositivo y aplicar métodos más asequibles para fomentar el desarrollo de nuevos enfoques y tecnologías en el campo de la medición del color de los alimentos.

Agradecimientos

El primer autor agradece el apoyo al Departamento de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Guanajuato (UPG) por el apoyo brindado para la realización de este estudio.

Referencias Citadas

- Badui, S. 2006. Química de los Alimentos. 4 ed. Pearson Educación. México.
- Cairone, F., Carradori, S., Locatelli, M., Casadei, M. A., & Cesa, S. (2020). Reflectance colorimetry: A mirror for food quality—A mini review. *European Food Research and Technology*, 246(2), 259-272.
- Calvo, C., Durán, L. 1997. Propiedades físicas II: Ópticas y color. Temas en Tecnología de Alimentos. Editado por J. M. Aguilera. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Figura, O., Teixeira, A. 2007. Food Physics: Physical Properties, Measurement and Applications. Heidelberg, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- González, A. M., Vicente, I. 2007. El color en la industria de los alimentos. Editorial Universitaria. La Habana.
- Hough, G., & Fiszman, S. (2005). Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Programa CYTED. Madrid, España.
- Larraín, R. E., Schaefer, D. M., & Reed, J. D. (2008). Use of digital images to estimate CIEcolor coordinates of beef. *Food Research International*, 41(4), 380-385.
- Lozano, R. D. 1978. "El color y su medición". Americalee S.R.L, Buenos Aires.
- Malacara, D., & SPIE (Society). (2011). Color vision and colorimetry: Theory and applications. Bellingham, Wash: SPIE.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57-66.
- Padrón Pereira, C. A., Padrón León, G. M., Montes Hernández, A. I., & Oropeza González, R. A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*lycopersicum esculentum* mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 97-111.
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L., & Schwab, M. (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, XVIII (34), 207-226.

Crianza de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en la región Nororiental del Estado de Puebla, México

Julieta del Carmen Villalobos-Espinosa^{1,*}, Jesus Daniel Chino-Rojas¹, Violeta Colón-Vega¹, Mayra Nicolás-García¹, Eréndira Ávila-Sánchez², Luis Omar Colombo-Mendoza¹

Resumen. Para el 2030 uno de los principales objetivos de la FAO, es lograr un desarrollo sostenible en el mundo, tomando en cuenta dos pilares imprescindibles para alcanzar esta meta: poner fin al hambre y poner fin a la pobreza. Uno de los prerrequisitos para lograr hambre cero, es que la sociedad tenga en todo momento seguridad alimentaria, es decir, que tenga disponibilidad, acceso y utilización de los productos de interés alimentario apropiados para alcanzar una alta calidad de vida. Por ello, el presente proyecto propone la crianza de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en la región VI del estado de Puebla para la elaboración de harina rica en proteína. Se evaluaron 3 temperaturas (10, 30 y 40 °C) para la crianza de *Eisenia*. Los resultados mostraron que la temperatura en la que presentó mejor crecimiento de las lombrices fue de 30 °C, con un pH de 6.5 – 7.5 y una humedad entre 70 y 80%. Se evaluaron las características físicas y microestructurales de la harina obtenida a partir de las lombrices, obteniéndose imágenes que muestran una diferencia microestructural dependiente de las temperaturas empleadas para la deshidratación. En el mejor de los casos, se obtuvo un rendimiento entre el 25 y 26% y adecuadas propiedades de flujo respecto al índice de Carr (9.99 – 32.39), Coeficiente de Hausner (1.11-1.48) y ángulo de reposo (16.69-24.40). Por lo que se concluye que es viable la crianza de la lombriz roja californiana en la región VI del estado de Puebla.

Palabras clave: Lombriz Roja Californiana, Lombricultura, Harina, Proteína.

Abstract. The FAO's main objective for 2030 is to achieve sustainable development in the world, considering two essential pillars to this goal: ending hunger and poverty. One of the prerequisites to achieve zero hunger is that society always has food security, that is, that society has availability, access, and use of the appropriate food products to improve its quality of life. Therefore, this project proposes raising the Californian red worm (*Eisenia foetida*) in region VI of the state of Puebla to produce protein rich flour. Three temperatures (10, 30 and 40 °C) were evaluated for *Eisenia* rearing. The results showed that the optimal growth temperature for the Californian red worm in Teziutlán, Puebla is 30°C, with pH of 6.5 – 7.5 and humidity between 70 and 80%. The images obtained from the flours show the microstructural difference depending on the temperatures used for dehydration. In the best-case scenario, the flour presented a yield between 25 and 26% and good flow properties regarding the Carr index (9.99 - 32.39), Hausner coefficient (1.11-1.48) and angle of repose (16.69- 24.40). Therefore, it is concluded the Californian red worm breeding is viable in region VI of the state of Puebla, Mexico.

Keywords: California Red Worm, Vermiculture, Flour, Protein.

¹Tecnológico Nacional de México/ ITS de Teziutlán, Puebla, México.

²Instituto Politécnico Nacional-CEPROBI, Morelos, México.

*Autor para correspondencia: julieta.ve@teziutlan.tecm.mx

1. Introducción

En 1948, la Declaración Universal de Derechos Humanos proclamó que "Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación" (Derechos Humanos, D. U. 1948). Sin embargo, asegurar este derecho no es una tarea fácil. En este contexto, en los años 70 se acuñó el concepto de seguridad alimentaria, cuya definición ha sido modificada a lo largo del tiempo, siendo 1996 el año en que la Cumbre Mundial de la Alimentación (FAO, 2013) concluyó que tiene seguridad alimentaria cuando "a nivel de individuo, hogar, nación y global, todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana".

La malnutrición que se vive actualmente comprende dos grupos amplios de afecciones: la desnutrición, que implica el retraso del crecimiento, y la obesidad. El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) reportó en 2016 que en México uno de cada ocho niños menores de 5 años presentaba una talla baja (moderada o severa) para su edad y que, por otra parte, los niños de entre 1 y 2 años presentaban los porcentajes más altos de desnutrición crónica, mientras que el 39.7% de la población de entre 9 y 12 años presentaba sobrepeso u obesidad (INEGI, 2018). En 2018 el INEGI reportó que solo el 44.5% de los hogares en México presentaban seguridad alimentaria, mientras que el 32.9% presentaba una inseguridad leve, siendo el 22.6% de los hogares en México los que presentan una inseguridad alimentaria moderada y severa. Particularmente, en 2013, el CONEVAL reportó que Puebla era el cuarto estado mexicano con la mayor cantidad de muertes por hambre.

Por otra parte, las lombrices de tierra son un componente principal de los ecosistemas terrestres que dominan la biomasa de los invertebrados del suelo en diferentes tipos de tierra y han sido reconocidos como los más importantes ingenieros de ecosistemas del suelo. En este contexto, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se ha convertido en la principal especie utilizada en la vermicultura para la producción de abono orgánico, además de ser empleada para evaluar la calidad del suelo (Katherine et al., 2020). En relación con la problemática de la inseguridad alimentaria, la cual se agudizó recientemente debido a la pandemia del COVID – 19, y con la aplicabilidad de la lombriz roja californiana (*E. foetida*) dentro de la vermicultura, la obtención de harina a partir de la lombriz y su aprovechamiento para el desarrollo de productos de interés alimentario podría ayudar a disminuir la malnutrición y con ello mejorar la seguridad alimentaria de la región VI del estado de Puebla. La harina de lombriz es una posible solución a la malnutrición, dado que contiene de 62- 82% de proteínas de calidad y la totalidad de aminoácidos esenciales. Considerando lo anterior y desde el reconocimiento de que la búsqueda continua de alimentos que puedan estar disponibles y sean accesibles para la sociedad, y que, al mismo tiempo, contengan la cantidad de proteínas necesarias para lograr la seguridad alimentaria de la sociedad, se ha vuelto una tarea urgente de realizar, el objetivo del presente proyecto es la crianza de la lombriz roja californiana (*E. foetida*) en la región nororiental del estado de Puebla, así como la caracterización física de la harina obtenida a partir de ella con miras a contribuir a la disminución de la inseguridad alimentaria.

2. Materiales y Métodos

Las lombrices rojas californianas se obtuvieron en la ciudad de Puebla, México. Estas se seleccionaron de manera aleatoria dentro de un grupo de lombrices en estado adulto (3 meses) con una longitud y

peso promedio de 8.5 cm y 0.45 g (Alcívar-Cedeño et al., 2016). Para la adaptación de las lombrices a la región en cuestión se procedió a un acondicionamiento de un mes. Las lombrices se almacenaron con compostaje de desechos orgánicos del municipio de Teziutlán del estado de Puebla, controlándose la temperatura, humedad (70-80%) y pH (6.5 – 7.5) para garantizar su óptimo crecimiento. Una vez adaptadas las lombrices, se realizaron cinéticas de crecimiento, para lo cual se utilizaron recipientes con dimensiones de 50 x 33 x 28 cm y con capacidad de 25 kg. Las temperaturas empleadas para las cinéticas de crecimiento fueron 10, 30, 40 °C y temperatura ambiente (sin control). El proceso se realizó bajo la siguiente metodología: Se colocó en el fondo de una caja una maya que permitió dejar fluir el lixiviado; Posteriormente, se colocó una capa verde (hojas, pasto) u hojarasca seca; Como siguiente capa, se colocó tierra negra que permitió simular el hábitat de la lombriz; se colocaron las lombrices dispersas en toda el área de la caja; se colocaron desechos orgánicos, teniendo en cuenta las condiciones de pH y humedad; se colocó una capa de serrín que permitió mantener humedad al interior de la caja; se cuidó el grado de acidez de la materia orgánica para no afectar el establecimiento y reproducción de la lombriz.

Para el control del crecimiento, se realizó el conteo de las lombrices durante 0 (inicial) 45, 90 y 120 días. Para la elaboración de la harina a partir de la lombriz roja californiana (*E. foetida*), las lombrices se mantuvieron en agua durante 24 h para retirar impurezas. Posteriormente, se lavaron con NaCl (1%) para limpiar los tractos intestinales durante 20 min. Las lombrices se lavaron y se colocaron en una solución con NaCl al 15% durante 24 h para purgar los tubos digestivos; pasadas las 24 h, las lombrices se limpiaron y se sometieron a un proceso de esaldado y secado (60 y 90 °C), finalmente se procedió al proceso de molienda. Las harinas obtenidas se caracterizaron de forma física mediante densidad aparente y densidad empacada utilizando la metodología propuesta por Porras-Saavedra et al. (2015). El índice de Carr y el coeficiente de Hausner se calcularon utilizando la metodología propuesta por Shah et al. (2008). El ángulo de reposo se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Moreira et al. (2009). Para la adquisición de la imagen se utilizó un microscopio electrónico de barrido ambiental (Carl Zeiss EVO LS10, Jena, Germany) con una magnitud de 300x, detector NTS BSD y EHT de 30 kV. Para el análisis de textura se utilizó el software ImageJ v.1.50d (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA).

3. Resultados y Discusión

Efecto de la temperatura en el crecimiento de la lombriz roja. El municipio de Teziutlán se localiza en la parte nororiental del Estado de Puebla, México; en donde se pueden identificar tres climas: 1) clima templado húmedo con lluvias en verano, el cual se presenta en una pequeña área del extremo sur del Municipio; 2) clima templado húmedo con lluvias todo el año y 3) clima semicálido húmedo con abundantes lluvias todo el año en las regiones colindantes al norte con los municipios de Hueyapan y Hueytamalco. Por lo que, mantener el control de la temperatura es de suma importancia para la crianza de la lombriz roja californiana.

En este contexto, las lombrices se llevaron a un ambiente controlado a temperaturas de 10, 30 y 40 °C y temperatura ambiente (muestra sin control). La selección de las temperaturas se debió a la variabilidad de temperaturas existentes en Teziutlán, Puebla. En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en la cinética de crecimiento de las lombrices, mostrándose el comportamiento de la lombriz roja californiana a temperaturas de 10 y 30 °C se caracterizó por un incremento significativo del número de lombrices. Sin embargo, el aumento para los 10 °C fue lento, a pesar de que se encuentran

en el rango de temperaturas óptimas para el crecimiento; esto se atribuye a que a temperaturas bajas la lombriz ralentiza su metabolismo, lo que se ve reflejado en su lenta reproducción.

La temperatura ambiente (sin control) afectó el crecimiento de las lombrices, debido a la oscilación de las temperaturas mínimas y máximas de entre 10 y 28°C, lo que resultó en una oscilación en el crecimiento de las lombrices que se reflejó en descensos e incrementos de biomasa. Por otra parte, la temperatura de 40 °C afectó significativamente el crecimiento de las lombrices, presentándose la muerte del 85% de las lombrices en las primeras semanas, a pesar de haberse mantenido la humedad y pH en las condiciones adecuadas para su crecimiento. Es importante mencionar que la muestra en la que se presentó un mayor aumento de lombrices jóvenes fue la temperatura de los 30 °C.

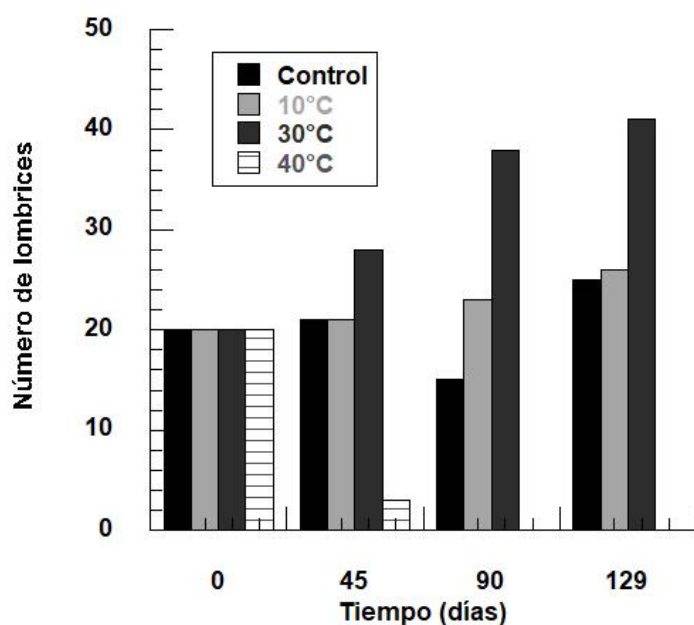


Figura 1. Cinética de crecimiento para el acondicionamiento de la lombriz roja (*Eisenia Foetida*) en diferentes temperaturas (sin control de temperatura, 10, 30 y 40 °C).

Caracterización de la harina. En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos para las propiedades de flujo de las harinas, en donde DN_90_2h corresponde a las lombrices que fueron alimentadas con residuos orgánicos y deshidratadas a 90 °C durante 2 h; DN_60_3h corresponde a las muestras que fueron alimentadas con residuos orgánicos y deshidratadas a 60 °C durante 3 h.

En cuanto a la densidad aparente (DA), las propiedades de flujo de las harinas mostraron resultados similares a los presentados por Bressani et al. (2001) para harinas de maíz nixtamalizadas (0.410 – 0.547 g/ml). En este sentido, la ventaja de obtener polvos con valores de alta densidad es que es posible almacenar grandes cantidades dentro de contenedores pequeños (Carneiro et al., 2012). Respecto a la densidad empacada (DE), las harinas presentan valores en un intervalo de 0.59 – 0.68 g/cm³, parámetro que se encuentra influenciado por el tamaño y forma de las partículas sólidas.

Cuadro 1. Propiedades de flujo de las muestras: DN_90_2h y DN_60_3h.

Muestra	DA (g/cm ³)	DE (g/cm ³)	IC (%)	CH
DN_90_2h	0.53	0.59	10.17	1.11
DN_60_3h	0.54	0.63	14.29	1.48

IC: Índice de Carr; CH: Coeficiente de Hausner.

A partir de la DA y DE se obtuvieron la compresibilidad y cohesividad de los polvos, comúnmente expresadas como índice de Carr (IC) y Coeficiente de Hausner (CH). Estas características permiten predecir el comportamiento de los polvos durante su manejo, envasado, almacenamiento, transporte y compresión mecánica (Juliano et al., 2006). Las muestras (DN_90_2h y DN_60_3h) presentaron una excelente fluidez para los parámetros de IC y CH, lo que se relaciona con materiales poco cohesivos. Estos resultados concuerdan con la superficie del material. Respecto al ángulo de reposo (Cuadro 2), las muestras DN_90_2 y DN_60_3h presentaron un excelente flujo de acuerdo con Santomaso et al. (2003), parámetro que está asociado con la fricción entre partículas y la resistencia al movimiento entre estas (Ileleji & Zhou, 2008).

Cuadro 2. Rendimiento y ángulo de reposo de las muestras: DN_90_2h y DN_60_3h.

Muestra	Rendimiento (%)	Ángulo de reposo
DN_90_2h	25.43	16.69
DN_60_3h	26.76	23.07

Se evaluaron los parámetros de textura como segundo momento angular (SMA) y contraste, respecto a los cuales se ha reportado que las superficies más rugosas o irregulares de las imágenes presentan valores más altos de SMA y contraste (Hernández-Carrión et al. 2015). En particular, como se puede apreciar en la Figura 2, se encontró diferencia estadísticamente significativa en las muestras analizadas respecto a los parámetros de SMA y contraste (SMA: 6.82×10^{-4} para DN_60_3h y 0.001 para DN_90_2h/Contraste: 158.754 para DN_60_3h y 64,752 para DN_90_2h, respectivamente). El parámetro de contraste indicó que la muestra DN_60_3h presentó mayor heterogeneidad de la imagen, es decir, presentó una imagen más compleja en comparación con la imagen DN_90_2h, resultados que concuerdan con los obtenidos en fluidez de los materiales, en donde una menor homogeneidad de la superficie presenta una menor fluidez de los materiales. En la Figura 2, se muestran los gráficos de superficie en 3D de las texturas de las harinas evaluadas, en donde se pueden observar los cambios que estas sufren dependiendo de la temperatura de deshidratación empleada.

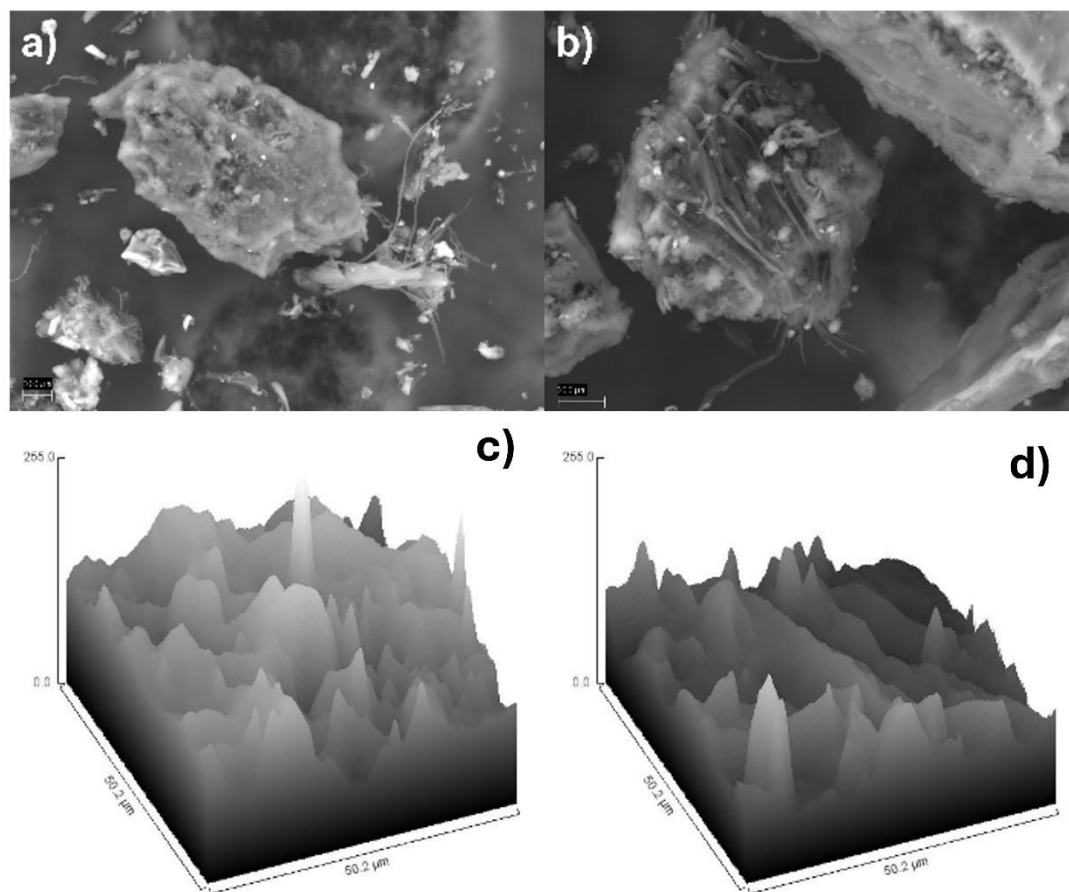


Figura 2. Imágenes obtenidas por microscopio electrónico de barrido ambiental (20 μm) a) DN_60_3h; b) DN_90_2h; c) gráfico de superficie en 3D de la harina DN_60_3h; d) gráfico de superficie en 3D de la harina DN_90_2h.

4. Conclusiones

Los resultados mostraron la viabilidad de la crianza de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en la región Nororiental del estado de Puebla a una temperatura de 30 °C, un pH en el rango de 6.5 – 7.5 y una humedad de entre 70 y 80%. Esto permite el desarrollo de lombrices jóvenes y mantiene lombrices adultas, brindando una materia prima adecuada para la elaboración de harina con un rendimiento de entre el 25 y 26%. El análisis de textura de imagen mostró un cambio de la microestructura de las harinas obtenidas en función de la temperatura de deshidratación empleada, lo que se ve reflejado en las propiedades de flujo de las harinas (IC: 10.17-14.29 y CH: 1.11 – 1.48). Las 2 muestras analizadas presentaron un buen flujo respecto al parámetro de ángulo de reposo (16.69 – 23.07). Esto evidencia la viabilidad de la harina de lombriz roja californiana como fuente altamente rica en proteína, lo que ayudaría a disminuir la inseguridad alimentaria de la región VI del estado de Puebla y, con ello aportaría al objetivo 2 “Hambre Cero” de los 17 objetivos planteados por ONU como parte de la

Agenda 2030. Sin embargo, se propone continuar con la caracterización de las harinas elaboradas a partir de *Eisenia foetida* con el objetivo de verificar que su consumo es apto para la población.

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen al Centro de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI/IPN) por el apoyo prestado para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias Citadas

- Alcívar-Cedeño, U., Dueñas-Rivadeneira, A., Sacon-Vera, E., Bravo-Sánchez, L., & Villanueva-Ramos, G. (2016). Influencia de los tipos de secado para la obtención de harina de Lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*) a escala piloto. *Tecnología Química*, 36(2), 187-196.
- Bressani, R., Turcios, J. C., Reyes, L., & Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309-313.
- Carneiro, H. C., Tonon, R. V., Grosso, C. R., & Hubinger, M. D. (2012). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*.
- Coneval, C. N. (2013). Manual para el diseño y la construcción de indicadores. México, Distrito Federal.
- Derechos Humanos, D. U. (1948). Declaración Universal de los Derechos humanos. Asamblea General de las Naciones Unidas, 10. UNICEF
- FAO, FIDA y PMA. 2013. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2013. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria. Roma, FAO.
- Hernández-Carrión, M., Hernando, I., Sotelo-Díaz, I., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Quiles, A. (2015). Use of image analysis to evaluate the effect of high hydrostatic pressure and pasteurization as preservation treatments on the microstructure of red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 69-78.
- Ileleji, K. E., & Zhou, B. (2008). The angle of repose of bulk corn stover particles. *Powder Technology* 187, 110-118.
- INEGI [internet]. México: INEGI; 2018 [Citado 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ensanut/2018/>
- Juliano, P., Muhunthan, B., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2006). Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders. *Journal of Food Engineering* 72, 157-166.
- Katherine, C. S. D., Antonio, V. M. L., & David, A. M. W. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. *Conciencia Digital*, 3(3.1), 22-35.
- Moreira, G. G., Costa, M. M., de Souza, R. A., de Brito, S. E., de Medeiros, D. M., & de Azeredo, H. M. (2009). Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 641-645.
- Porrás-Saavedra, J., Palacios-González, E., Lartundo-Rojas, L., Garibay-Febles, V., Yáñez-Fernández, J., Hernández-Sánchez, H., & Alamilla-Beltrán, L. (2015). Propiedades microestructurales y distribución de componentes en micropartículas obtenidas por secado por aspersión. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 152, 105-112.
- Santomaso, A., Lazzaro, P., & Canu, P. (2003). Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chemical Engineering Science*, 58(13), 2857-2874.

Shah, R. B., Tawakkul, M. A., & Khan, M. A. (2008). Comparative Evaluation of Flow for Pharmaceutical Powders and Granules. *An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists*, 9(1), 250-258.

Uso de *Glomus intraradices* para el crecimiento de frijol Azufrado Higuera en etapa vegetativa en riego y sequía

Celia Selene Romero-Félix^{1,*}, Cesar Alejandro Sanchez-Inzunza¹, Jesús del Rosario Ruelas-Islas¹, Blanca Elvira López-Valenzuela¹, Salomón Buelna-Tarin¹, Víctor Gabriel Almada-Ruiz¹

Resumen. El uso de bioestimulantes como las micorrizas, es una opción viable para mitigar el estrés por sequía. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la micorriza *Glomus intraradices* sobre el crecimiento de plantas de frijol variedad de frijol Azufrado Higuera en etapa vegetativa, bajo riego y sequía. El experimento se estableció en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte bajo condiciones de luz artificial. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, dos niveles de humedad (NH; riego y sequía) y dos niveles de la micorriza (M; con y sin aplicación) y el genotipo de frijol Azufrado Higuera, con cinco repeticiones. Se evaluó la biomasa seca de tallo (BMT), biomasa seca de hoja (BMH), biomasa aérea total (BMA), área foliar (AF, m²), tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g día⁻¹) y tasa de asimilación neta (TAN, g m⁻² día⁻¹). La sequía afectó el crecimiento de las plantas, expresado en acumulación de biomasa seca y área foliar, mientras que la micorriza *Glomus intraradices*, aplicada en condiciones de riego y sequía, tuvo efecto positivo sobre el crecimiento del área foliar y el aumento de la tasa de asimilación neta de las plantas de frijol variedad de frijol Azufrado Higuera.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., Micorriza, Riego, Sequía.

Abstract. The use of biostimulants such as mycorrhizae is a viable option to mitigate drought stress. The objective of this work was to evaluate the effect of the *Glomus intraradices* mycorrhiza on the growth of bean plants of the Azufrado Higuera bean variety in the vegetative stage, under irrigation and drought. The experiment was established at the Faculty of Agriculture of Valle del Fuerte under artificial light conditions. A randomized complete block design was used, two levels of humidity (NH; irrigation and drought) and two levels of mycorrhiza (M; with and without application) and the Azufrado Higuera bean genotype, with five repetitions. The dry stem biomass (BMT), dry leaf biomass (BMH), total aerial biomass (BMA), leaf area (AF, m²), crop growth rate (TCC, g day⁻¹) and growth rate were evaluated. net assimilation (TAN, g m⁻² day⁻¹). The drought affected the growth of the plants, expressed in accumulation of dry biomass and leaf area, while the mycorrhiza *Glomus intraradices*, applied under irrigation and drought conditions, had a positive effect on the growth of the leaf area and the increase in the rate of net assimilation of bean plants Azufrado Higuera bean variety.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., Mycorrhiza, Irrigation, Drought.

1. Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado uno de los cultivos más importantes para el consumo humano directo (Refaay et al., 2021), por su alta concentración de proteínas, energía y micronutrientes (Petry et al., 2015). Sin embargo, su producción es afectada por factores bióticos y abióticos; dentro de los factores abióticos, está la sequía, la cual afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, ocasionando reducción en el crecimiento del área foliar y biomasa seca acumulada en los

¹Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

*Autor para correspondencia: celiaromero@uas.edu.mx

órganos aéreos y radicular de la planta (Castro-Acosta et al., 2021). La aplicación de bioestimulantes representan una alternativa sostenible para los cultivos, más cuando estos son afectados por factores abióticos, ya que inducen respuestas fisiológicas y morfológicas en las plantas, lo que conduce a mejorar su crecimiento, calidad de la producción, el uso eficiente de nutrientes y sobre todo tolerancia al estrés ambiental (Prisa, 2024). El uso de hongos micorrícicos arbusculares (MA), es un ejemplo de bioestimulante comúnmente utilizado para mejorar el crecimiento de los cultivos bajo condiciones de sequía, ya que ocupan mayor superficie para mejorar la absorción de agua y nutrientes (Palacios-Chávez, 2023). Motivo por el cual son importantes, más aún bajo condiciones de deficiencias hídricas, buscando con su uso mitigar el estrés. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la micorriza *Glomus intraradices* sobre el crecimiento de la variedad de frijol Azufrado Higuera en etapa vegetativa, bajo riego y sequía.

2. Materiales y Métodos

Este estudio se llevó a cabo en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, en condiciones de luz artificial. Se utilizaron semillas de frijol Azufrado Higuera, la siembra se llevó a cabo en charolas de unisel de 242 cavidades; ocho días después de la siembra (dds) las plántulas se trasplantaron en macetas de unisel de 2 kg de suelo (60% tierra y 40% arena). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2, dos niveles de humedad (NH; riego y sequía) y dos niveles de aplicación del bioestimulante M-300 MycoEvolution® formulado a base de la micorriza *Glomus intraradices* (M; con y sin aplicación) aplicado al suelo al momento del trasplante (2 g por maceta) y cinco repeticiones. Antes de iniciar los tratamientos, las macetas se llevaron a capacidad de campo (CC), determinando su peso inicial a CC (PICC), cada cuatro días se determinó la cantidad de agua perdida por medio del pesaje de las macetas, con la finalidad de agregar el agua requerida para llevar el suelo de cada maceta al PICC y mantener la humedad cercana a CC. Al iniciar los tratamientos (16 dds), las macetas siguieron pesando, sin embargo, sólo se aplicó agua a las macetas del tratamiento de riego, mientras que en sequía únicamente se registró el peso de la maceta sin aplicar agua (la sequía tuvo una duración de 12 días). Se realizaron muestreos destructivos de planta a los 11, 15, 19, 25 y 30 dds. Las variables evaluadas y determinadas fueron biomasa seca de tallo (BMT), biomasa seca de hoja (BMH), biomasa aérea total (BMA), área foliar (AF, m²; largo x ancho de hoja x 0.62 factor de corrección), tasa de crecimiento del cultivo [TCC, g m⁻² día⁻¹; (BMA₂-BMA₁)/t₂-t₁)] y tasa de asimilación neta (TAN, g m⁻² día⁻¹):

$$TAN = \left[\frac{(W_2 - W_1) (\log_e AF_2 - \log_e AF_1)}{(t_2 - t_1) (AF_2 - AF_1)} \right]$$

Donde, W_1 , W_2 , representan la materia seca de la parte aérea del cultivo en los tiempos t_1 y t_2 ; $\log_e AF_1$ y $\log_e AF_2$, logaritmo de base 10 del área foliar del cultivo AF_1 y AF_2 , área foliar determinados en tiempos t_1 y t_2 , respectivamente.

Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS v. 9.2, en forma combinada, para determinar las diferencias entre los niveles de humedad del suelo (NH), niveles de aplicación de la micorriza (M) *Glomus intraradices* y la interacción NH x M. Se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

3. Resultados y Discusión

El crecimiento del área foliar fue afectado significativamente ($P \leq 0.05$) por los NH a los 25 dds para la BMH, BMT, AF; TCC entre los periodos de 11-15, 15-19 y 19-25 dds; TAN entre 11-15 y 19-25 dds; para la BMH y AF a los 30 dds; y para la interacción NH x M para el AF a los 25 y 30 dds y TAN a los 19-25 dds. No hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la biomasa aérea total (BMA).

En condiciones de riego, la biomasa acumulada en las hojas (Figura 1A), en tallo (Figura 1B) y el crecimiento del área foliar (Figura 1C), fueron mayores en condiciones de riego que en sequía; en otros estudios, también se ha observado disminución en la acumulación de biomasa en los órganos aéreos de la planta (Godoy et al., 2020; Romero-Félix et al., 2021) y en el crecimiento del área foliar (Zhou et al., 2020) por efecto de la sequía.

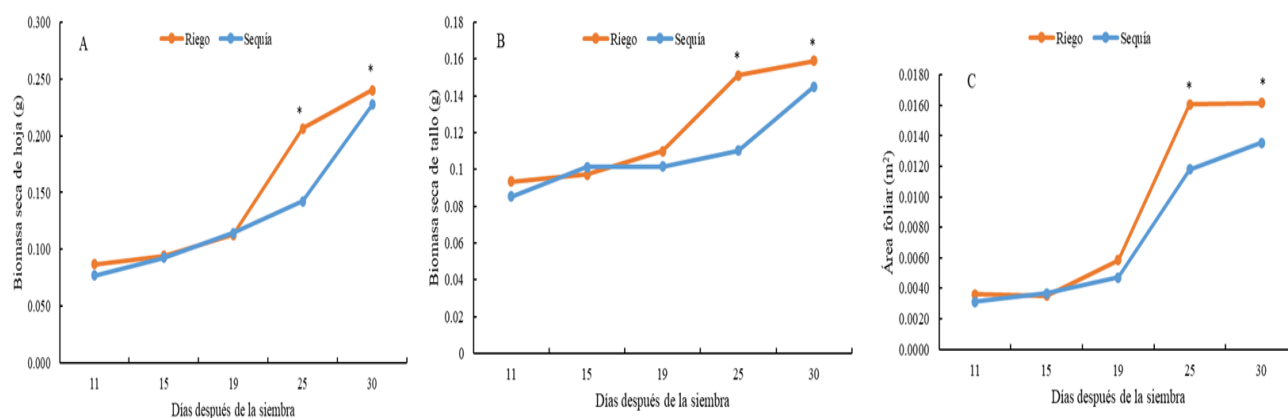


Figura 1. Biomasa seca de hoja (A), biomasa seca de tallo (B) y área foliar (C), de la variedad de frijol Azufrado Higuera en condiciones de riego y sequía. *($P \leq 0.05$).

El crecimiento de la parte aérea de la planta expresado como tasa de crecimiento del cultivo (Figura 2A) y tasa de asimilación neta (Figura 1B) fueron mayores bajo condiciones de riego que en sequía; la sequía tuvo un efecto negativo sobre el crecimiento de la parte aérea de la planta, el cual puede ser expresado por la acumulación de biomasa o materia seca, así como por la expansión del área foliar (Zhou et al., 2020), reflejándose en disminución de los parámetros del crecimiento.

La condición de riego, en interacción con la aplicación de la micorriza, mostró incremento en la expansión del área foliar, con respecto a riego sin micorriza, y sequía con y sin la aplicación de micorriza (Figura 3A). La tasa de asimilación neta fue superior en condiciones de riego con micorriza, seguido de la sequía con micorriza, resultando con menores valores medios bajo las condiciones de riego y sequía sin el uso de la micorriza (Figura 3 A y B). Al respecto, Raviv (2010) menciona que las micorrizas mejoran las características físicas del suelo y proveen una mayor tolerancia a la sequía, así como también al estrés salino. Además, mejoran la absorción de nutrientes, incrementan los caracteres morfológicos como el área foliar y materia seca acumulada en los órganos aéreos y radicular de la planta, y fisiológicos como la conductancia estomática, al inducir mayor captura de CO_2 , lo cual se refleja en mayor peso seco acumulado en los órganos aéreos y radicular de la planta (Anli et al. 2020, Ikan et al. 2023), aumentando con esto la tasa de asimilación neta.

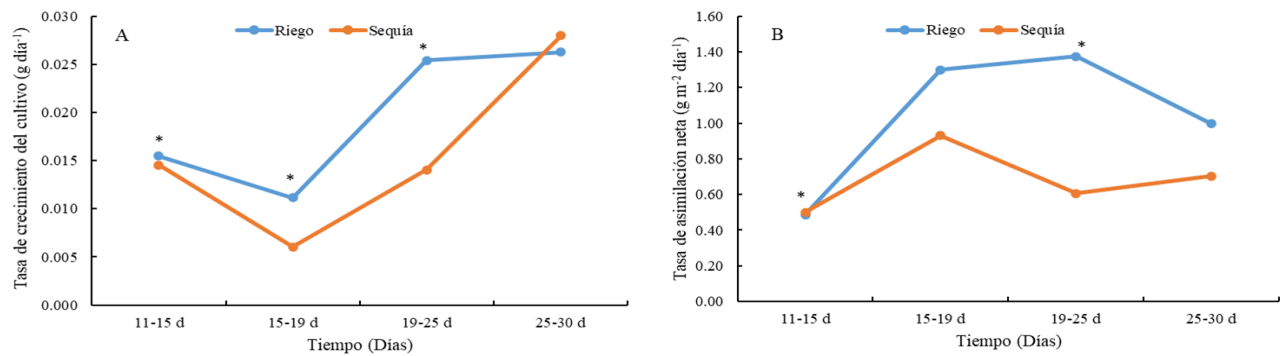


Figura 2. Tasa de crecimiento del cultivo (A) y tasa de asimilación neta (B), de la variedad de frijol Azufrado Higuera, en condiciones de riego y sequía. *($P \leq 0.05$).

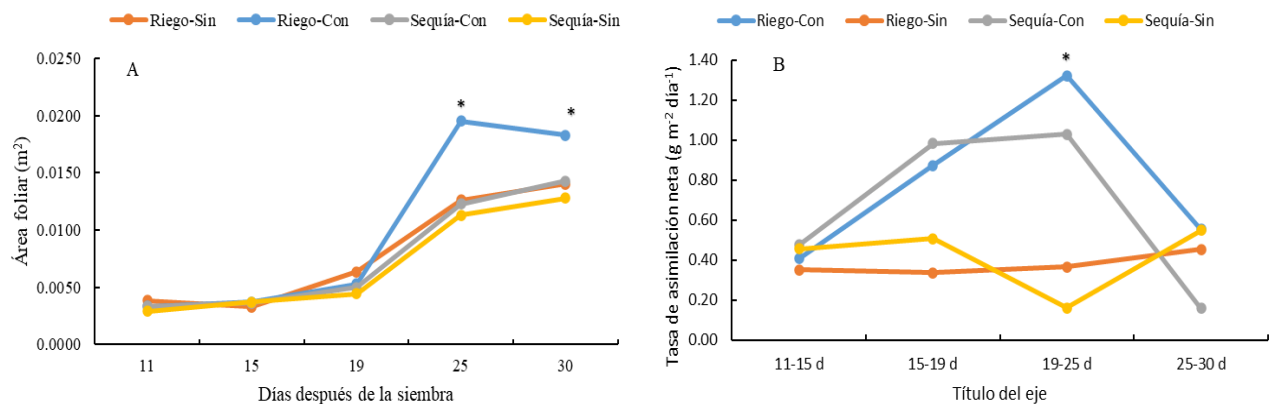


Figura 3. Área foliar (A) y tasa de asimilación neta (B) de la variedad de frijol Azufrado Higuera en interacción con la condición de riego y sequía con y sin aplicación de la micorriza *Glomus intraradices*. *($P \leq 0.05$).

4. Conclusiones

La sequía afectó el crecimiento de las plantas, expresado en acumulación de biomasa seca y área foliar. La micorriza *Glomus intraradices*, aplicada en condiciones de riego y sequía, tuvo efecto positivo sobre el crecimiento del área foliar y el aumento de la tasa de asimilación neta de las plantas de frijol variedad de frijol Azufrado Higuera.

Referencias Citadas

Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Toubali, S., Ait Rahou, Ait Chitt, M., Oufdou, K., Mitsui, T., Hafidi, M and Meddich, A. (2020). Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date Palm. *Frontiers in Plant Science* 11: 516818.

- Castro-Acosta, M. de la Luz., Sánchez-Soto, B. H., Ruelas-Islas, J. R., Romero-Félix, C. S., Buelna-Tarín, S. y Almada-Ruíz, V. G. (2021). Morpho-physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) affected by drought during its vegetative stage. *Agro Productividad*, 14(8). 71-77.
- Godoy, A. L., Mariani, D. Z., Soares, D. A. Pires, J. T. and Moda-Cirino, V. (2020). Effect of water deficit on morphoagronomic and physiological traits of common bean genotypes with contrasting drought tolerance. *Water*, 12:217.
- Ikan, C., Ben-Laouane, R., Ouhammadou, R., Anli, M., Boutasknit A., Lahbouki, S., Benchakour, A., Jaouad, A., Bouchdoug, M., El-Moatasime, A., Ouhammou, M., Jaouad, Y., Baslam, M., Meddich, A. (2023). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungus and indigenous compost improve salt stress tolerance in wheat (*Triticum durum*). *South African Journal of Botany* 158: 417-428.
- Palacios-Chávez, Y. L. (2023). Rhizobium y hongos formadores de micorrizas: alternativa biotecnológica en cultivos de carotas (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Crítica con Ciencia*, 1:359-372.
- Petry N., Boy, E., Wirth, J.P. and Hurrell, R.F. (2015) The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. *Nutrients* 7:1144-1173.
- Prisa, D. (2024). Application of innovative biostimulants for growth and quality improvement in vegetable and ornamental crops. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 26(02): 10-16.
- Raviv M. 2010. The use of mycorrhiza in organically grown crops under semiarid conditions: A review of benefits, constraints and future challenges. *Symbiosis* 52:65-74.
- Refaay, D. A., El-Marzoki, E. M., Abdel-Hamid, M. I. and Haroun, S. A. (2021) Effect of foliar application with *Chlorella vulgaris*, *Tetrademus dimorphus*, and *Arthrospira platensis* as biostimulants for common bean. *Journal of Applied Phycology* 33: 3807-3815.
- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., Aguilar-Rincón, V. H. (2021). Variabilidad en características morfo-fisiológicas del frijol común bajo sequía terminal. *Agrociencia*, 55, 471-485.
- Zhou, H., Zhou, G., Hee, Q., Zhoub, L., Ji, Y. and Zhou, M. (2020). Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. *Journal Experimental Botany*, 171: 103932.

Las harinas de insectos como alternativa en la inclusión de dietas para el cultivo de tilapia

Tamara Aquino-Aguilar¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández^{1,*}, Teodulfo Aquino-Bolaños¹, María Elena Tavera-Cortés².

Resumen. La harina y el aceite de pescado son los principales alimentos en la acuicultura. Sin embargo, se pueden introducir ingredientes alternativos de bajo impacto ambiental que satisfagan los requisitos necesarios para el crecimiento de la tilapia. Los insectos son una alternativa debido a su alto contenido de proteínas y aminoácidos esenciales, rápidas tasas de crecimiento y bajo impacto ambiental durante su ciclo biológico. El objetivo de este trabajo fue recopilar información sobre el uso de insectos en dietas de tilapia. Se buscaron artículos en diversas bases de datos sobre la alimentación de tilapia con insectos, su contenido nutricional y los niveles de inclusión. También se evaluó el efecto de estas harinas en el crecimiento de la tilapia (peso y talla), su aporte nutricional y la supervivencia. Se encontró que el uso de insectos puede ser una alternativa viable de alimentación para la tilapia, ya que produce un crecimiento similar al de un alimento comercial que contiene harina de pescado y soya. Se recomiendan diferentes porcentajes de inclusión de harina de insectos, dependiendo de factores como la especie de insecto, su etapa de desarrollo, el contenido nutricional y la etapa de desarrollo de la tilapia.

Palabras clave: Formulación de dietas, Alimento para Peces, Proteína.

Abstract. Fishmeal and fish oil are the main feeds in aquaculture. However, alternative ingredients with low environmental impact can be introduced to meet the necessary requirements for tilapia growth. Insects are an alternative due to their high protein and essential amino acid content, fast growth rates and low environmental impact during their life cycle. The objective of this work was to gather information on the use of insects in tilapia diets. Articles were searched in several databases on the feeding of tilapia with insects, their nutritional content and inclusion levels. The effect of these meals on tilapia growth (weight and size), nutritional intake and survival was also evaluated. It was found that the use of insects can be a viable feeding alternative for tilapia, since it produces growth similar to that of a commercial feed containing fishmeal and soybean meal. Different percentages of insect meal inclusion are recommended, depending on factors such as insect species, developmental stage, nutritional content and developmental stage of the tilapia.

Palabras clave: Diet formulation, Fish Feed, Protein.

1. Introducción

En la actualidad ha surgido la necesidad de encontrar nuevas fuentes proteicas para la formulación de dietas para peces, hasta ahora el sector de la acuicultura suministra alimentos formulados, donde su principal ingrediente es la harina y aceite de pescado, debido a su alto valor nutricional (Muin & Taufek, 2024). No obstante, el mercado de harina de pescado es fuertemente explotado porque es un producto que se comercializa a nivel mundial a precios bajos sin acatar con los estándares mínimos y

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²Instituto Politécnico Nacional. UPIICSA. Granjas México, Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: yortiz@ipn.mx

generan sobrepesca (Macusi et al., 2023). La FAO menciona que una estrategia para disminuir la presión sobre la escasez de recursos marinos, es disminuir la cantidad de harina de pescado que se utiliza en la elaboración de los alimentos. Los insectos se han estudiado como una alternativa sostenible para su uso en la acuicultura (Teroa et al., 2021), debido a que su producción intensiva puede ser en corto tiempo, menor consumo de agua y tierra, bajas emisiones de gases de efecto invernadero, así como la utilización de bioresiduos (Pulido et al., 2022).

Estudios recientes demostraron que este tipo de alimento comprenden aminoácidos esenciales (Orkusz, 2021), un 75% de proteínas y grasas de un 20 a 40 %. Sin embargo, las características nutricionales de los insectos se modifican dependiendo de la especie, etapa de desarrollo, tecnología de cría y fuente de alimentación (Barragan-Fonseca et al., 2017).

La tilapia (*Oreochromis* sp.), es la segunda especie más cultivada en México (CONAPESCA, 2024). De ahí que es un cultivo que depende ampliamente de alimento formulado, pero su valor es caro, llegando a representar el 70% de los gastos operacionales del cultivo (Macusi et al., 2023) y en ocasiones es insostenible para los pequeños productos (granjas de subsistencia). Por lo que el objetivo de este trabajo es dar a conocer y proponer insectos que se pueden utilizar para la elaboración de harinas como ingredientes en la formulación de piensos para tilapia.

2. Materiales y Métodos

La metodología utilizada fue de tipo cualitativa. Utilizando para recopilación de la información de fuentes primarias técnicas como la observación directa, así como de artículos científicos publicados en diversas revistas y libros publicados en la última década sobre los insectos utilizados para la alimentación de tilapia (*Oreochromis* sp.) como una alternativa de fuente proteica, formas de alimentación y costos.

3. Resultados y Discusión

Los insectos son una alternativa a la seguridad alimentaria debido a que pueden ser utilizados como ingredientes de alimentos y esto debido a ciertas características que presenta como lo son; gran distribución geográfica, reproducción rápida y fácil, tasas elevadas de crecimiento y bajo impacto ambiental durante su ciclo biológico (Cuadro 1) (Teroa et al., 2021). Sin embargo el aspecto más importante y por el cual se ha investigado como fuente alternativa es por su valor nutritivo que proporciona altos contenidos de proteína, ácidos grasos y aminoácidos esenciales, que pueden ser utilizados para su inclusión en dietas para tilapia (Figura 1), debido a que son peces omnívoros que necesitan altos niveles de proteína y aminoácidos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los dos insectos más estudiados para su inclusión en la acuicultura y especialmente en el cultivo de tilapia son el gusano amarillo de la harina (*Tenebrio molitor*) y la mosca soldado (*Hermetia illucens*), ambos en su etapa de larva.

El gusano amarillo de la harina. Es un insecto del orden de los coleópteros de la familia *Tenebrionidae*, se alimenta de harinas y granos almacenados: arroz, trigo, maíz, avena, maní, cebada, etc., por lo que llegan a considerarse insectos plaga sino se les controla. Presenta un desarrollo holometábolo, debido a que tienen tres fases de desarrollo: larva, pupa y adulto (Figura 2). Su ciclo de vida es de 6 a 12 meses, el cual depende del alimento suministrado, temperatura y humedad relativa.

Cuadro 1. Comparación de los recursos naturales requeridos para producir un Kg de animal vivo (Markel Rojo Gonzales, 2023).

Animal	Parte comestible %	Conversión alimenticia (comida para animales (Kg/ peso vivo)	Huella de agua (water L/ proteína g)	Calentamiento global (CO ₂ eq)	Uso de suelo (Área m ³ / proteína Kg)
Res	40	25	112	88	201
Cerdo	55	9.1	57	27	55
Pollo	55	4.5	34	19	47
Insecto	80	2.1	23	14	18



Figura 1. Organismo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

La harina del gusano amarillo, surge como una alternativa para la sustitución de harina de pescado en los alimentos formulados para tilapia, debido al buen contenido nutrimental (Cuadro 2 y 3) de las larvas secas de *T. molitor* 29.50% de proteína, 4.79 % de grasa y 6 % fibra (Li et al., 2023), su fácil manejo (cría y reproducción) y a su sistema productivo de bajo impacto ambiental (Medrano, 2019).

Los trabajos donde han probado la inclusión de harina de gusano amarillo (GA) incluyen tres etapas de desarrollo de tilapia (cría, juvenil y adulto). Arroyave-Eusse et al. (2021) obtuvo el mejor rendimiento en ganancia de peso y talla cuando alimentó a crías de tilapia con gusano amarillo vivo de 0.5 cm de crecimiento en comparación con un alimento comercial balanceado. Tubin et al. (2020) probó diferentes concentraciones de GA en juveniles de tilapia y menciona que la inclusión de un 10 % de GA expresa un crecimiento lineal, sin afectar los índices hematológicos de tilapia ya que una

inclusión superior a 10.83% conduce a una menor sobrevivencia y afecta la productividad. Además, un estudio realizado en adultos de tilapia con un nivel de inclusión del 30 % mostraron relativamente bajas tasas de crecimiento específico en comparación con la etapa juvenil; sin embargo, no mostraron diferencias en la composición de aminoácidos y ácidos grasos que son indicadores de valor nutricional, y la calidad de la carne disminuyó cuando se hizo una inclusión del 45 % de GA, porque aumento la dureza y gomosidad, mientras que la elasticidad del musculo disminuyó (Zhang et al., 2023).



Figura 2. Etapas de desarrollo de *Tenebrio molitor*. A) Larva, B) Pupa y C) Adulto.

Mosca negro soldado. Pertenece a la familia Stratiomyidae de la orden Diptera, es originaria de América, sin embargo, se encuentra en regiones tropicales y templadas de todo el mundo. Es una especie que se alimenta de desechos orgánicos. El tiempo de duración de cada estadio de vida de *H. illucens* depende de diversos factores (bióticos y abióticos), por lo que en su estadio larvario puede tener una duración de tres semanas.

Estudios realizados demuestran que las larvas de *H. illucens* llegan a tener niveles altos de proteína que van del 37-63 % de materia seca, de un 7-39 % grasas, cenizas de 9-28 %, así como otros macros y micronutrientes. Estas variaciones de contenido nutricional (Cuadro 2 y 3) dependen del tipo de procesamiento para la obtención de la harina de las larvas (Barragan-Fonseca et al., 2017).

De acuerdo a sus cualidades nutritivas se han realizado estudios en donde se incluye la harina de la mosca soldado (MS) al 100% en juveniles de tilapia, en el cual se obtuvo un mejor rendimiento en el crecimiento y una mayor disposición de aminoácidos, sin embargo, presentó un menor porcentaje de sobrevivencia (92.67%) en comparación a una dieta que no tuvo inclusión de MS (Shati et al., 2022). (Dietz & Liebert, 2018) evaluaron la inclusión de MS desgrasada al 50 % con lo cual mejoro la calidad de la proteína del alimento dando como efecto un mayor rendimiento en el crecimiento, sin embargo, encontró que una mayor inclusión de MS tiende a perjudicar el crecimiento, pero no la calidad de la proteína del pez. Devic et al. (2018) menciona que los factores de conversión alimentaria son más bajos cuando las dietas contienen altos niveles de inclusión de MS y esto está relacionado con el desequilibrio en los aminoácidos y una actividad de quitinasa inadecuada.

Otros insectos, han sido estudiados para la alimentación de tilapia, tal es el caso de la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) que es un coleóptero considerado plaga para diversos cultivos (maíz, frijol, cultivos de granos, entre otros). Churuchumbi-Cachago (2020) demostró que la inclusión del 3 % de

harina de larvas de gallina ciega en crías de tilapia obtuvo resultados de crecimiento, pero sin tener diferencia significativa con respecto al alimento comercial. Nephale et al. (2024) comentan que la harina de termitas alates (*Macrotermes falciger*) en juveniles de tilapia Mozambique bajan el rendimiento en el crecimiento cuando el nivel de inclusión es mayor al 50 %. La inclusión de harina de grillo de campo (*Gryllus bimaculatus*) al 100 % puede generar una deficiencia en el crecimiento y sobrevivencia de crías de tilapia, por lo que recomiendan usar al 80% (Perera & Bhujel, 2021). Por otra parte Cadena-Cadena et al. (2023) utilizaron 35 % de grillos (*Acheta domesticus*) y obtuvieron un crecimiento similar a los de la dieta control. Otro estudio realizado al 100 % de inclusión con mosca doméstica (*Musca domestica*), tuvo resultados similares en crecimiento y sobrevivencia que un alimento comercial en tilapia (Corbalá-Bermejo et al., 2019).

Cuadro 2. Contenido nutrimental de los insectos utilizados en dietas para tilapia.

	Gusano amarillo de la harina	Mosca negro soldado	Grillo común	Mosca domestica
Proteína (%)	29.50	43.17	63.3	48.0
Grasas (%)	4.79	31.08	8.5	14.9
Fibra (%)	6	16.19	10	6.7

Muin & Taufek (2024), Li et al. (2023), Ajani et al. (2004).

Cuadro 3. Contenido de aminoácidos de los insectos utilizados en dietas para tilapia y los requerimientos de aminoácidos de tilapia.

Aminoácidos (% proteína)	Gusano amarillo de la harina	Mosca negro soldado	Requerimiento de tilapia
Histidina	0.67	1.00	0.48
Arginina	1.55	1.71	4.0
Treonina	1.17	1.39	1.05
Valina	1.65	2.41	0.78
Metionina	0.48	0.72	0.75
Isoleucina	1.27	1.71	0.87
Leucina	2.38	2.70	0.95
Fenilalanina	1.53	1.60	1.05
Lisina	1.87	2.08	1.43

Muin & Taufek (2024), Li et al. (2023).

4. Conclusiones

La utilización de insectos podría ser una alternativa para formular alimentos para los cultivos de tilapia de subsistencia de una forma más flexible y sostenible. Sin embargo, falta hacer investigaciones al respecto para generar mayor información. Así como estandarizar los métodos de cultivo, alimentación y etapas de desarrollo de los insectos que se van a utilizar para ciertas etapas de desarrollo de tilapia. Además de los porcentajes de inclusión en las dietas, porque estos aspectos influyen en las propiedades

nutrimentales de las harinas de insectos y en el efecto que tienen estas harinas sobre el crecimiento en cada una de las etapas de desarrollo de la tilapia.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Oaxaca por los recursos financieros y espacios proporcionado para esta investigación. Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo otorgado a la primera autora para realizar estudios de posgrado en Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Naturales en el CIIDIR Oaxaca y al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores SNII-CONAHCYT por el apoyo otorgado a los profesores del Instituto Politécnico Nacional.

Referencias Citadas

- Ajani, E. K., Nwanna, L. C., Musa, B. O. (2004). Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *World Aquaculture Magazine*, 35(1): 52–54.
- Arroyave-Eusse, D., Cardona-Santiago, L., Restrepo-Zapata, D., Gaviria-Galeano, L., Yepes-Blandón, J., Calle Velásquez C. y Lnis-Sucerquia, G. (2021). Alimentación de alevinos de tilapia *Oreochromis spp.* Con larvas de gusano de harina *Tenebrio molitor*. *World Aquaculture Society*.
- Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M. Van Loon, J.J.A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed- a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2): 105–120.
- Cadena-Cadena, F., Cuevas-Acuña, D. A., Frias, B. C., Hernández, R. C., Nuñez, J. C. G., Martinez, B. A., Arias-Moscoso, J. L. (2023). Replacement of fishmeal by common cricket (*Acheta domesticus*) meal in diets for juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 75: 1–12.
- CONAPESCA. Consejo Nacional de Acuicultura y Pesca (2022). Acuicultura en México. <https://www.gob.mx/inapesca/articulos/acuicultura-en-mexico-320890> consultado el 08 octubre de 2023.
- Corbalá-Bermejo, J. A., Vargas-Magaña, J. J., López-Téllez, N. A., Lastra-del Rivero, C. A., Cu-Contreras, J., Castollos-Salas, J. M. (2019). Uso de proteína derivada de larvas de mosca doméstica (*Musca domestica*) para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 6(1): 1-10.
- ChuruchumbiCachago, V. H. (2020). Evaluación de la dieta con harina de larva de cutzo (*Phyllophaga Spp.*) en la alimentación de cría y juvenil de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en la parroquia La Carolina, Ibarra. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Devic E., Leschen, W., Murray, F., Little D. C. (2018). Growth performance, feed utilisation and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal *Aquacult Nutr*, 24: 416-423.
- Dietz, C., Liebert, F. (2018). Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports*, 12: 43–48.
- Li, H., Xue, R., Sun, J., Ji, H. (2023). Improving flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by completely replacing dietary soybean meal with yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). *Animal Nutrition*, 12: 375–387.
- Macusi, E. D., Cayacay, M. A., Borazon, E. Q., Sales, A. C., Habib, A., Fadli, N., Santos, M. D. (2023). Protein Fishmeal Replacement in Aquaculture: A Systematic Review and Implications on Growth and Adoption Viability. *Sustainability* 15 (16), 12500.

- Medrano, L.C. (2019) Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal. UNAD.
- Muin, H., Taufek, N. M. (2024). Evaluation of growth performance, feed efficiency and nutrient digestibility of red hybrid tilapia fed dietary inclusion of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), 46–51.
- Nephale, L. E., Moyo, N. A. G., Rapatsa-Malatji, M. M. (2024). Utilization of an insect-based diet by a herbivorous fish (*Oreochromis mossambicus*) and an opportunistic predator (*Clarias gariepinus*). *Scientific African*, (24) e02125.
- Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat—nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, 13(4), 1207.
- Perera, A. D., & Bhujel, R. C. (2021). Field cricket (*Gryllus bimaculatus*) meal (FCM) to replace fishmeal in the diets for sex reversal and nursing of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture Research*. 15328.
- Pulido, L., Secci, G., Maricchiolo, G., Gasco, L., Gai, F., Serra, A., Conte, G., Parisi, G. (2022). Effect of dietary black soldier fly larvae meal on fatty acid composition of lipids and sn-2 position of triglycerides of marketable size gilthead sea bream fillets. *Aquaculture*, 546, 737351.
- Shati, S. M., Apiyo, M. A., Nairuti, R. N., Shoko, A. P., Munyi, F., Ogello, E. O. (2022). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal improves growth performance, feed utilization, amino acids profile, and economic benefits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquatic Research*, 5(3): 238–249.
- Rojo Gonzales, M. (2023). El grillo doméstico (*Acheta domestica*) como nuevo alimento en la Unión Europea. Usos y aplicaciones en la industria alimentaria. Universidad del país Vásc.
- Terova, G., Gini, E., Gasco, L., Moroni, F., Antonini, M., Rimoldi, S. (2021). Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(30).
- Tubin, J. S. B., Paiano, D., Hashimoto, G. S. de O., Furtado, W. E., Martins, M. L., Durigon, E., Emerenciano, M. G. C. (2020). *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. *Aquaculture*, 519, 30.
- Zhang, L., Wu, H. X., Li, W. J., Qiao, F., Zhang, W. B., Du, Z. Y., Zhang, M. L. (2023). Partial replacement of soybean meal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal influences the flesh quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Nutrition*, 12, 108–115.

Estrategia de ahorro mediante huertos familiares en comunidades rurales de la Chinantla, Oaxaca, México

Marco Aurelio Acevedo-Ortiz^{1,*}, Gema Lugo-Espinosa¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹, Fernando Elí Ortiz-Hernández¹

Resumen. Los bosques y selvas, vitales para la biodiversidad y el clima, son fuentes de sustento para las comunidades rurales. En la región de la Chinantla, en Oaxaca, México, se ha practicado una agricultura tradicional que respeta el medio ambiente. Sin embargo, esta producción se ha visto amenazada por factores sociales y económicos, obligando a los habitantes a explotar más intensamente los recursos naturales, poniendo en riesgo la conservación de los bosques y selvas. Ante esto, y en busca de mejorar las condiciones de vida sin comprometer el equilibrio ecológico, se analizó un esfuerzo comunitario que implementó huertos familiares bajo un modelo de financiamiento social colectivo. Este modelo afrontó el costo incremental de las plantas y verduras de consumo regular, generando ahorros y disminuyendo la presión sobre los bosques. Se realizaron entrevistas semiestructuradas, talleres participativos y visitas de acompañamiento para obtener información. Los resultados muestran que las personas han perdido capacidades para producir sus alimentos pese a conocimientos ancestrales y que necesitan capacitación para proteger su territorio ante amenazas externas. Se concluye que los esfuerzos conjuntos y el financiamiento social mejoran las condiciones comunitarias, siempre que haya participación y compromiso en la toma de decisiones, permitiendo que se apropien de su propio desarrollo.

Palabras clave: Huertos familiares, Economía Solidaria, Conservación.

Abstract. Forests and jungles, vital for biodiversity and climate, are sources of livelihoods for rural communities. In the Chinantla region of Oaxaca, Mexico, traditional agriculture that respects the environment has been practiced. However, this production has been threatened by social and economic factors, forcing the inhabitants to exploit natural resources more intensively, putting the conservation of forests and jungles at risk. In view of this, and in order to improve living conditions without compromising the ecological balance, a community effort that implemented home gardens under a collective social financing model was analyzed. This model addressed the incremental cost of plants and vegetables for regular consumption, generating savings and reducing pressure on the forests. Semi-structured interviews, participatory workshops and monitoring visits were conducted to obtain information. The results show that people have lost the capacity to produce their food despite ancestral knowledge and that they need training to protect their territory from external threats. It is concluded that joint efforts and social financing improve community conditions, as long as there is participation and commitment in decision-making, allowing them to take ownership of their own development.

Keywords: Home Gardens, Solidarity Economy, Conservation.

1. Introducción

Los recursos naturales y la biodiversidad de la región Chinantla Oaxaca son fundamentales para la subsistencia de las familias rurales que protegen y viven cerca de las zonas de conservación (Acevedo-

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: macevedoo@ipn.mx

Ortiz et al., 2021), protegiendo además los bosques y selvas mediante esfuerzos voluntarios por generaciones, vinculando prácticas sustentables y desarrollo. Esta forma de producción y desarrollo se ha visto trastocada por factores políticos, sociales y económicos que han transformado el territorio, para transicionar hacia una producción ganadera y agrícola extensiva (de Alba-Rosano et al., 2020; Teresa, 1999), lo que ha roto el equilibrio existente en los ecosistemas amenazando el estado de conservación de los bosques y selvas, aunado al cambio climático (Zúñiga-González et al., 2020).

Sin embargo, los cambios generados lejos de detonar el desarrollo utópico propiciaron una disminución en la calidad de vida de los habitantes de la región y una dependencia de los bienes de consumo de la canasta básica que se traen de fuera y se comercializan en los mercados locales, pero cuyo se varía en relación al poder adquisitivo de las familias (Torres, 2022) y en situaciones de crisis dichos incrementos se descontrolan (Jiménez-Salomón, 2021). En la búsqueda de soluciones a esta problemática y bajo un enfoque de desarrollo rural territorial en donde los actores sociales se convierten en gestores del desarrollo, mediante la participación colectiva en la toma de decisiones (Acevedo-Ortiz et al., 2022; Schejt & Berdegú, 2004), se ha impulsado en la región Chinantla, Oaxaca (Acevedo-Ortiz et al., 2021, 2023) acciones de conservación y desarrollo, en donde los huertos familiares tienen un papel fundamental. Los huertos familiares por la variedad de especies que albergan, cumplen funciones ecológicas en la conservación de la biodiversidad, funciones sociales en la distribución del trabajo familiar y usos determinados por factores socioculturales, así como funciones económicas al contribuir al bienestar familiar por autoconsumo (Colín et al., 2012). A su vez, los huertos familiares forman parte de la cosmovisión de las comunidades rurales como señalan Godínez-Bazán & Rindermann-Schünemann (2022) al definirlos como los espacios más importantes para la transmisión y generación de conocimiento. En la Chinantla, se impulsaron huertos familiares con familias rurales bajo un mecanismo de financiamiento social (Acevedo-Ortiz et al., 2023), para desarrollar capacidades de autogestión en los participantes y una vinculación con las acciones de conservación en las comunidades.

El objetivo de la investigación fue: analizar los esfuerzos de un grupo comunitario que implementó huertos familiares bajo el modelo de financiamiento social, frente al costo incremental de las plantas y verduras de consumo regular en la comunidad.

2. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en dos comunidades de la región Chinantla, Oaxaca: Vega del Sol y San José Chiltepec como se muestra en la Figura 1. Las comunidades poseen una alta biodiversidad en sus bosques y selvas, las cuales protegen mediante el mecanismo de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC). Sin embargo, en el municipio de Santa María Jacatepec existe un alto índice de marginación, por otro lado en el municipio de San José Chiltepec el índice es medio (CONEVAL, 2020), pero el nivel de pobreza es moderado en ambos tal como se muestra en el Cuadro 1.

La metodología se considera de tipo mixta por la recolección de datos cualitativos y cuantitativos (Acevedo-Ortiz et al., 2022) en el periodo de enero a noviembre 2023. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con las personas de las comunidades para conocer su perspectiva de la puesta en marcha de huertos familiares con el financiamiento colectivo y los costos relacionados. Se llevo a cabo una revisión y registro de los materiales requeridos para la implementación de huertos en función de los cultivos solicitados por los destinatarios para su producción. Asimismo, se implementaron talleres participativos con los involucrados para validar la información recabada y se

complementó la información con visitas de seguimiento a las actividades relativas a los huertos familiares para conocer los patrones de consumo de las familias.

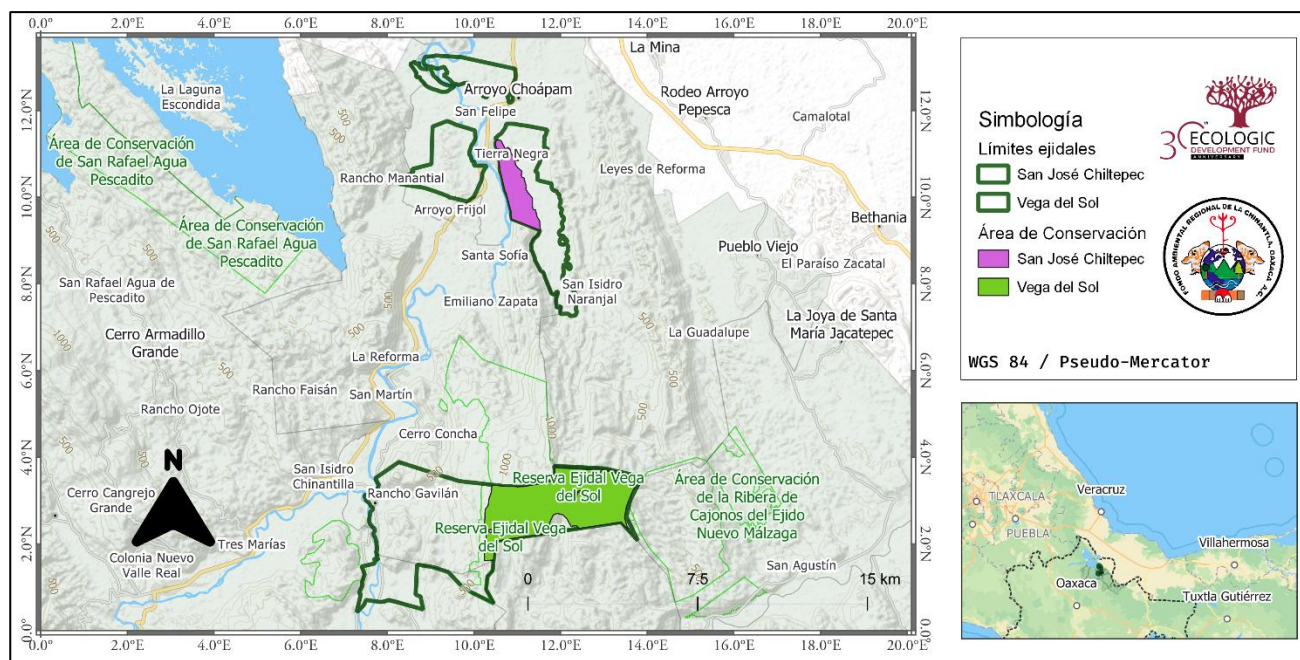


Figura 1. Mapa de ubicación ejidos y zonas de conservación voluntaria

Cuadro1. Características contextuales de las comunidades de estudio

Comunidad	Habitantes	Nivel de marginación	Nivel de pobreza moderada	Lengua indígena
Santa María Jacatepec	9,682	Alto	45.8%	Chinanteco
San José Chiltepec	11,310	Medio	40%	Chinanteco

CONEVAL (2020)

3. Resultados y Discusión

La implementación de huertos familiares se realizó gracias a la vinculación comunitaria que se tuvo con organizaciones de la sociedad civil EcoLogic Development Fund (2020) y el Fondo Ambiental Regional de la Chinantla, Oaxaca (2022). El proceso implicó el involucramiento de los destinatarios para la procuración de fondos como señalan Acevedo-Ortiz et al. (2023) y a la construcción de capacidades para la producción, debido a la pérdida de conocimientos locales para la producción existente en las comunidades, tal como señala Solís-García (2023), así como a la poca confianza en las semillas locales por la desinformación de comercializadores para vender semillas de marca y que

atentan contra la soberanía alimentaria (Mariscal-Méndez et al., 2017). Los participantes dentro del proceso de capacitación para la implementación de huertos familiares consideraron que para ellos, significaba una oportunidad para recuperar sus semillas locales y plantas medicinales, reaprendiendo de los saberes tradicionales y prácticas sustentables para avanzar en la consecución de una seguridad alimentaria, tal como lo señala Sánchez-Vera (2023), al plantear a los huertos familiares como una nueva estrategia de resistencia ante los embates de la globalización. Durante los talleres, con los participantes se identificaron las semillas a producir, aprendió a preparar bioinsumos para el control de plagas y enfermedades durante la producción, así como el manejo del huerto familiar, tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Semillas colectadas, huerto implementado y preparación de microorganismos de montaña.

La inversión necesaria para establecer un huerto familiar se calculó considerando las semillas específicas identificadas durante los talleres participativos, detalladas en el Cuadro 2. El kit de semillas necesario para la implementación del huerto familiar tiene un valor de \$1,175 pesos mexicanos. Además de este costo, se deben tener en cuenta los costos indirectos asociados a la mano de obra requerida para la preparación del terreno.

Cuadro 2. Costo unitario del Kit de semillas para implementación de huerto familiar

No.	Cultivo	Nombre científico	Costo unitario
1	Ejote	<i>Phaseolus vulgaris</i>	\$25.00
2	Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	\$50.00
3	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	\$25.00
4	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	\$25.00
5	Cebollin	<i>Allium schoenoprasum</i>	\$25.00
6	Epazote	<i>Dysphania ambrosioides</i>	\$25.00
7	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	\$25.00
8	Chile de arbol	<i>Capsicum anuum</i>	\$25.00
9	Chile habanero	<i>Capsicum chinense</i>	\$25.00
10	Chayote	<i>Sechium edule</i>	\$25.00
11	Jitomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	\$50.00

No.	Cultivo	Nombre científico	Costo unitario
12	Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i>	\$25.00
13	Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>	\$25.00
14	Calabaza	<i>Cucurbita argyrosperma</i>	\$25.00
15	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	\$25.00

Datos a nivel local de semillas comerciales en 2023.

Por otro lado, si consideramos que en 2021 se registraba un ingreso de 3,000 a 6,000 pesos por familia (Jiménez-Salomón, 2021), destinando hasta un 60% de su ingreso en productos de la canasta básica y que el incremento se debió en gran medida al efecto residual de la pandemia de COVID-19, situación que se normalizó ligeramente en 2022 cuando destinaban únicamente el 30% de sus ingresos (Torres, 2022), entonces el costo de implementación de los huertos familiares representa un ahorro del 4% al 7% por lo que dejan de comprar en los centros de comercialización, aun cuando la inversión necesaria representa de un 10% al 20% en relación a los ingresos promedio percibidos, tal como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ingresos promedio de familias en Tuxtepec y gasto promedio mensual en hortalizas.

Ingreso Promedio Mensual	Costo del Kit	% de inversión requerido del ingreso	Gasto mensual en hortalizas	% destinado a compra de hortalizas	% de ahorro por producir en huerto familiar
\$ 6,000.00	\$ 1,175.00	20%	\$ 1,400.00	23%	4%
\$ 12,000.00	\$ 1,175.00	10%	\$ 2,000.00	17%	7%

Información de los destinatarios, validada con dato periodístico de Jiménez-Salomón (2021) y Torres (2022).

4. Conclusiones

La suma de esfuerzos y el financiamiento social contribuye a mejorar las condiciones de las comunidades, siempre que exista participación y compromiso en el proceso de toma de decisiones, para apropiarse de su propio desarrollo. A su vez de generar un ahorro al implementar huertos familiares, se contribuye a la conservación de la biodiversidad, mejorar los lazos de unión familiar por la distribución del trabajo, además de contribuir a asegurar la soberanía alimentaria.

Agradecimientos

Se agradece a EcoLogic Development Fund y el Fondo Ambiental Regional de la Chinantla, Oaxaca A.C., por el trabajo que realizan con las comunidades rurales y facilitar la investigación; a los ejidos de Rancho Faisán y Vega del Sol por su colaboración y trabajo para mantener las zonas de conservación, al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), al Instituto Politécnico Nacional (IPN), CIIDIR – Oaxaca por su apoyo para realizar la esta investigación y al SNII-CONAHCYT por el apoyo a los profesores investigadores del IPN.

Referencias Citadas

- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., & Ortiz-Hernández, Y. D. (2021). Percepciones comunitarias sobre mecanismos de conservación de recursos naturales bajo un enfoque paisajístico en tres ejidos de la Chinantla, Oaxaca. En S. E. Martínez-Pellegrini, J. F. Sarmiento-Franco, & M. C. Valles-Aragón (Eds.), *Aproximaciones teórico-metodológicas para el análisis territorial y el desarrollo regional sostenible*. (Vol. 1). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional.
- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., Ortiz-Hernández, Y. D., & Ortiz-Hernández, F. E. (2022). Herramientas metodológicas en procesos participativos en comunidades rurales para la conservación de recursos naturales (M. E. Tavera-Cortés, Ed.; pp. 93–106). Editorial ASMIIA.
- 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 (M. E. Tavera-Cortés, Ed.; 1a ed., pp. 112–124). ASMIIA.
- Colín, H., Hernández, C., & Monroy, R. (2012). El Manejo tradicional y agroecológico en un huerto familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etnobiología*, 10(2), 28.
- CONEVAL. (2020). Informe de pobreza y evaluación 2020. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- de Alba-Rosano, C. F., Ceccon, E., Romero-Calcerrada, R., & Rosete-Vergés, F. (2020). Revisión sistemática de cuarenta años de análisis de cambio de uso del suelo en México mediante sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Espacios*, 10(20), 139–162.
- EcoLogic Development Fund. (2020). Forests and biodiversity conservation in community-managed areas. EcoLogic.
- Fondo Ambiental Regional de la Chinantla, Oaxaca. (2022). Fondo Ambiental Regional de la Chinantla, Oaxaca A. C. FARCO.
- Godínez-Bazán, G., & Rindermann-Schünemann, R. S. (2022). Huertos familiares: Hacia dónde apunta la estrategia. *Cosmovisión, adaptación y funcionamiento* (1a ed., p. 23). ASMIIA, A.C.
- Jiménez-Salomón, L. (2021, abril 28). Amas de casa destinan 60% de ingresos en productos básicos en Tuxtepec. Noticias. Voz e Imagen de la Cuenca.
- Mariscal-Méndez, A., Ramírez-Miranda, C. A., & Pérez-Sánchez, A. (2017). Soberanía y seguridad alimentaria: Propuestas políticas al problema alimentario. *Análisis Del Medio Rural Latinoamericano*, 69, 9–26.
- Sánchez-Vera, F. (2023). Transformación y pérdida del patrimonio etnobotánico en los huertos familiares del campo de cartagena (murcia). La cibercultura y las nuevas formas de transmisión del conocimiento como estrategia de resistencia. *AIBR: Revista de Antropología Iberoamericana*, 18(3), 533–559.
- Schejt, A., & Berdegú, J. A. (2004). Desarrollo territorial rural Debates y temas rurales (1; Desarrollo Territorial, p. 54). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Solís-García, M. (2023). Pérdida de la cultura del uso de huertos de traspatio en poblaciones jóvenes de Soyatitán, municipio de Venustiano Carranza, Chiapas [Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Teresa, A. P. de. (1999). Población y recursos en la región chinanteca de Oaxaca. *Desacatos. Revista de Ciencias Sociales*, 1, 125–151.
- Torres, A. (2022, junio 25). Amas de casa destinan 30% de sus ingresos a canasta básica en Tuxtepec | NVI cuenca. Noticias. Voz e Imagen de la Cuenca.
- Zúñiga-González, N., Martínez-Olvera, R. E., & Reyes-Reza, I. (2020). El cambio climático: Un obstáculo ambiental y económico en el agotamiento de los recursos naturales para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria. *RILCO DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 2(11 (septiembre), 9.

Competencia de *Trichoderma asperelloides* vs hongos fitopatógenos foliares en diferentes sustratos orgánicos

Ángel R. Ceballos-Chávez¹, Blanca E. López-Valenzuela^{1,*}, Glenda J. Lizárraga-Sánchez¹, Everardo López-Bautista¹, Fernando Alberto Valenzuela-Escoboza¹, Quintín A. Ayala-Armenta¹, Javier A. Garza-Hernández¹, Alejandro Márquez-Lujan¹

Resumen. Las enfermedades de las plantas causan pérdidas significativas en cultivos a nivel mundial y representan una amenaza para la seguridad alimentaria. El uso de extractos vegetales para el control de plagas y enfermedades en una agricultura sostenible es una alternativa prometedora debido a su efectividad, bajo costo y no ser contaminantes. El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad biológica de reproducción conidial de *Trichoderma asperelloides* en diferentes sustratos orgánicos comerciales contra fitopatógenos foliares. Se consideró la cepa número 3 de *T. asperelloides*, realizando la inoculación de 50 mL con una concentración de 1×10^6 sobre los géneros *Monilinia* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Epicoccum* sp. y *Colletotrichum* sp. en sustratos de aserrín, eucalipto, trigo y maíz. Después de tres días, se inyectaron 50 mL de la solución conidial de *T. asperelloides* sobre cada sustrato con 500 g en bolsas de polietileno, realizando un conteo conidial a través de la fórmula $V2 = C1 \times V1 / C2$, empleando un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los resultados mostraron un crecimiento notable a los tres días en el sustrato de maíz sobre *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. y *Monilinia* sp. con una cantidad total de esporas de 3692 conidios/mL, ya que la invasión fue más rápida en comparación con los otros sustratos. En todos los sustratos, inicialmente se evidenció la formación de micelio blanco de *T. asperelloides* sobre el material vegetativo, que luego se tornó verde pino durante 21 días de crecimiento. Se recomienda aplicar *T. asperelloides* en sustratos orgánicos en suelos de cultivos agrícolas.

Palabras clave: Hongo, Material Vegetativo, Micoparasitismo, *Trichoderma asperelloides*.

Abstract. Plant diseases cause significant crop losses worldwide and represent a threat to food security. The use of plant extracts for the control of pests and diseases in sustainable agriculture is a promising alternative due to their effectiveness, low cost and non-pollution. The objective of this work was to evaluate the biological activity of *Trichoderma asperelloides* conidial reproduction on different commercial organic substrates against foliar phytopathogens. Strain number 3 of *T. asperelloides* was considered, performing the inoculation of 50 mL with a concentration of 1×10^6 on the genera *Monilinia* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Epicoccum* sp. and *Colletotrichum* sp. on sawdust, eucalyptus, wheat and corn substrates. After three days, 50 mL of *T. asperelloides* conidial solution was injected on each substrate with 500 g in polyethylene bags, performing a conidial count through the formula $V2 = C1 \times V1 / C2$, using a completely randomized design with factorial arrangement. The results showed a remarkable growth at three days in the corn substrate on *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. and *Monilinia* sp. with a total number of spores of 3692 conidia/mL, since the invasion was faster compared to the other substrates. In all substrates, white mycelium formation of *T. asperelloides* was initially evident on the vegetative material, which then turned pine green during 21 days of growth. It is recommended to apply *T. asperelloides* on organic substrates in agricultural crop soils.

Keywords: Fungus, Vegetative Material, Mycoparasitism, *Trichoderma asperelloides*.

¹Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Sinaloa, México.

*Autor para correspondencia: blancavzla.18@uas.edu.mx

1. Introducción

Las enfermedades de las plantas son responsables de importantes pérdidas de cultivos en todo el mundo y representan una amenaza para la seguridad alimentaria mundial (Bevacqua et al., 2019). El empleo de extractos vegetales para el control de plagas y enfermedades en el marco de una agricultura sostenible constituye una alternativa promisorio, debido a su elevada efectividad, bajo costo y no ser contaminantes del ambiente (Rodríguez et al., 2000). No obstante, en la aplicación en campo podría verse influenciada por factores bióticos y abióticos, como las condiciones ambientales, los genes del huésped, las interacciones entre el microbiota vegetal y la diferenciación geográfica (Ren et al., 2019) por lo cual esto puede reducir los resultados favorables en su aplicación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad biológica de reproducción conidial de *Trichoderma asperelloides* en diferentes sustratos orgánicos comerciales contra fitopatógenos foliares. Existen al menos dos géneros de fitopatógenos que sean susceptibles a la competencia por espacio y nutrientes contra *T. asperelloides* en diferentes sustratos orgánicos. Estos resultados científicos proveerán información a los productores que les permitirá tomar decisiones adecuadas y proporcionará alternativas sustentables para lograr un mayor rendimiento, mejorando la inocuidad de los cultivos de la región y reducir la contaminación por agroquímicos del ambiente, favoreciendo el uso de *T. asperelloides* como estrategia de control biológico.

2. Materiales y Métodos

Obtención de sustratos comerciales. Para la reproducción masiva de *T. asperelloides* en sustratos sólidos de origen comercial se tomó en cuenta el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum*), eucalipto (*Eucalyptus*) y aserrín de pino (*Pinus arizonica*) nativo de la región. Se consideró evaluar la cepa número tres de *T. asperelloides* previamente identificada como T-S-P-M1-ACCH (Ceballos, Datos por publicar), obtenida del municipio de Morelos, Chihuahua con una variación climatológica de 12 a 49 °C (Porras et al., 2021). Con el propósito de eliminar las impurezas de los sustratos se tomó en cuenta la técnica de Gato (2010), para ello se vertió maíz, hojas de eucalipto, trigo y aserrín en agua del grifo durante 24 horas, posteriormente se lavó profundamente hasta eliminar el almidón, enseguida se agregaron 50g de cada uno de los sustratos en bolsas de polietileno y se esterilizaron en autoclave a 121°C por 60 minutos.

Inoculación de fitopatógenos y *T. asperelloides*. Se preparó una solución de cada género de los hongos fitopatógenos de *Monilinia* sp, *Fusarium* sp, *Alternaria* sp, *Epicoccum* sp y *Colletotrichum* sp a través de un raspado del hongo de la caja Petri con un asa bacteriológica y se le inoculó agua esterilizada hasta formar una solución de 10mL y posteriormente se aforó con agua destilada hasta llegar a los 40mL, concentración de 1×10^6 conidios/mL (Bastidas, 2018). Con ayuda de una aguja de inserción se inocularon 15mL de la solución en las bolsas con los sustratos. Tres días después se realizó el raspado e inoculación de *Trichoderma asperelloides* utilizando la metodología de inoculación. Después se observaron a través de microscopio, estereoscopio y de lupa.

Conteo de esporas. Una vez obtenido el promedio final realizo la siguiente fórmula propuesta por Bastidas (2018) $v2 = C1XV1/C2$ donde: C1 = Concentración inicial (conocida en el conteo), V1 = Volumen inicial (establecido arbitrariamente al preparar el inóculo), C2 = Concentración final deseada (según el estudio a realizar), V2 = Volumen final (desconocido)

Análisis estadístico. Para llevar a cabo el análisis del tratamiento con mayor producción conidial en sustratos se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con respecto a los cuatro sustratos orgánicos inoculados con cinco fitopatógenos contra de *T. asperelloides*. Para el análisis de varianza y la comparación de medias se utilizó la prueba de media de Tukey-Kramer, con un valor alfa de 0.05%, con cinco repeticiones. Estos análisis se llevaron a cabo utilizando el paquete estadístico JMP, versión 9.0.1 (Statistical Analysis System, [SAS Institute Inc.], 2011).

3. Resultados y Discusión

El desarrollo de *T. asperelloides* sobre los fitopatógenos en los diferentes sustratos se comenzó a observar en maíz con los géneros *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. y *Monilinia* sp. mientras que para los géneros restantes a simple vista se visualizaron los efectos fisiológicos de los fitopatógenos sobre los sustratos (Figura 1). Para el resto de los sustratos, a excepción del inóculo de *Colletotrichum* spp. en trigo (el cual mostró notablemente que fue este el que predominó), no era distinguible la presencia de uno u otro de los fitopatógenos observados en el estereoscopio se pudo notar que *T. asperelloides* estaba presente en la mayoría de ellos y que continuaba su desarrollo; finalmente, a través de montajes en portaobjetos con de safranina, azul de algodón y glicerina como colorantes para observación en microscopio, se identificaron fácilmente las esporas de *T. asperelloides*, presentando en mayor visibilidad de esporas que el resto de los hongos a los cuales se estaba realizando el micoparasitismo en la mayoría de los sustratos comprobando que el antagonista supera a los fitopatógenos.

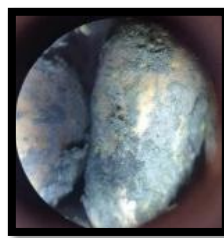
Sustrato

Maíz

Lupa



Estereoscopio



Microscopio



Maíz

Alternaria sp.

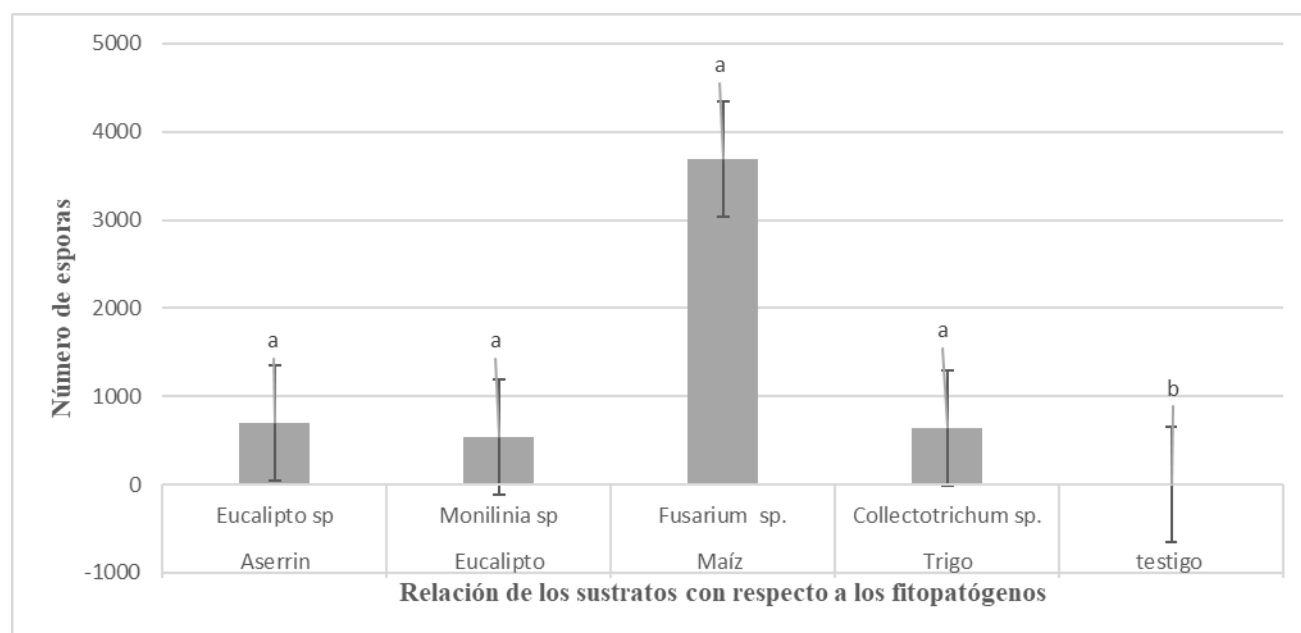


Fusarium sp.



Figura 1. Competencia por espacio y nutrientes del sustrato de maíz de *T. asperelloides* sobre los fitopatógenos de mayor dominancia

Se realizó el conteo de esporas por sustrato determinando el fitopatógeno con mayor susceptibilidad al efecto de *T. asperelloides* en los diversos sustratos a través del valor más alto de esporulación del hongo antagonístico (Figura 2).



*a.b.c literales diferentes, entre renglones indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figura 2. Conteo de esporas por sustrato el fitopatógeno con mayor susceptibilidad al efecto de *T. asperelloides*.

En general en todos los sustratos inicialmente se evidenció la formación de micelio de color blanco de *T. asperelloides* sobre el material vegetativo, posteriormente se tornó a verde pino, durante 21 días de crecimiento. Los resultados indican que la reproducción conidial fue más efectiva en granos de maíz debilitando a *Fusarium* spp. con una totalidad de 3692 conidios/mL ya que la invasión fue en su

totalidad en menos tiempo en comparación con el resto, estos resultados se asimilaran a los presentados por Mulatu et al. (2021) al evaluar especies de *Trichoderma* bajo fermentación en estado sólido, mediante 14 sustratos de orgánicos después de los 21 días de incubación, encontrando que una mezcla de salvado de trigo y el arroz apoya el crecimiento máximo de *T. asperellum* (3.2×10^7 esporas/g de sustrato seco) y *T. longibrachiatum* (3.5×10^7 esporas/g de sustrato seco).

Por otro lado, Silva et al. (2018) utilizaron la técnica planteada en este estudio para la inoculación de *T. asperelloides* y *T. asperellum* sobre gránulos de trigo con una concentración de 1×10^6 conidios mL^{-1} para determinar el micoparasitismo sobre *Sclerotinia sclerotiorum*, obteniendo resultados de 100% de inhibición del hongo sobre el sustrato, no obstante estudios realizados en Cuba han demostrado la reproducción masiva de *T. harzianum* en aserrín de pino blanco obteniendo 29.87% de reproducción conidial sobre el bagazo de caña (Antomarchi et al., 2023) difiriendo de esta investigación ya que el aserrín de pino solo fue sobresaliente en el género *Alternaria*.

4. Conclusiones

En general en todos los sustratos inicialmente se evidenció la formación de micelio de color blanco de *T. asperelloides* sobre el material vegetativo, posteriormente se tornó a verde pino, durante 21 días de crecimiento. Los resultados indican que la reproducción conidial fue más efectiva en granos de maíz debilitando a *Fusarium* spp. con una totalidad de 3692 conidios/mL ya que la invasión fue en su totalidad en menos tiempo en comparación con el resto.

Agradecimientos

Agradezco a CONAHCyT quien me otorgó la beca de estudios de posgrado lo cual me permitió participar en esta investigación, así como también a la Universidad Autónoma de Sinaloa, Universidad Tecnológica de la Tarahumara y a la Universidad Tecnológica de la Babicora por proporcionar equipos tecnológicos para la ejecución de este trabajo y la colaboradora Gema Idaly Bustillos.

Referencias Citadas

- Antomarchi, O.Y.; Tamayo, R.E.; Guerra, B.J.L.; Siannah, M.M.D. y Barrera, A.A.L. 2023. Producción de hongo *Trichoderma harzianum* a-34 en sustratos sólidos alternativos. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria. 5(1): 259-267.
- Bastidas O. 2018. Conteo celular con hematócitometro (uso elemental del hematócitometro). Nota técnica No 1 Neubauer chamber cell counting. Celeromics. 6p
- Bevacqua, D.; Génard, M.; Lescouret, F.; Martinetti, D.; Vercambre, G.; Valsesia, P. and Mirás-Avalos, J. M. 2019. Coupling epidemiological and tree growth models to control fungal diseases spread in fruit orchards. Scientific Reports. 9(1): article e8519.
- Gato CY. (2010). Métodos de conservación y formulación de *Trichoderma harzianum* rifai. Revista de Fitosanidad. 14:189-195.
- Mulatu, A.; Alemu, T.; Megersa, N. and Vetukuri, R. R. 2021. Optimization of culture conditions and production of bio-fungicides from *Trichoderma* species under solid-state fermentation using mathematical modeling. Microorganisms 9(8): 1675.
- Porras, F.D.; Anchondo, P.C.; González, A.A.; Piñón M.M.A. y Anchondo, A.A. 2021. Diagnosis, technology transfer and technical support for the development of family production units in the municipality of Morelos, Chihuahua. Revista Biologica Agripecuaria Tuxpan 9 (2):62-71.

- Ren, F.; Dong, W. and Yan, D.H. 2019. Organs, cultivars, soil, and fruit properties affect structure of endophytic mycobiota of pinggu peach trees. *Microorganisms*. 7(9): article e322.
- Rodríguez, T.; Morales D. y Ramírez, M. A. 2000. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento in vitro de hongos fitopatógenos cultivos tropicales. 21(2): 79-82.
- SAS. Statistical Analysis System, [SAS Institute Inc]. 2011. JMP versión 9.0.1. Statistical Discovery. From SAS. USA: Author. A Business Unit of SAS Campus Drive Cary, NC 27513.
- Silva, M. A. F.; De Moura, K. E.; De Salomão, D. and Patricio, F. R. A. 2018. Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop. *Summa Phytopathologica* 44(2): 137–142.

Estudio de caracterización morfológica de especies de calabaza en la Sierra Mixe, Oaxaca, México

Hazael Obed Ramírez-Maces^{1,*}, Sara González-Bautista¹, José Abimael Campos-Ruiz¹, Flavio Aragón-Cuevas², Carlos Granados-Echegoyen³

Resumen. La diversidad del género *Cucurbita* sigue evolucionando debido a los diferentes intereses antropocéntricos en cada región en cuanto al consumo de las diversas estructuras comestibles de estas especies. El objetivo de esta investigación fue caracterizar morfológicamente 21 colectas de semillas de calabaza de las especies *C. argyrosperma* (6), *C. moschata* (7), *C. ficifolia* (4) y *C. pepo* (4), obtenidas en cinco localidades de la Sierra Mixe (1477-2439 msnm), durante el ciclo primavera-otoño de 2021. Se evaluaron caracteres morfológicos de las semillas: largo, ancho, grosor, ancho/largo, grosor/largo, peso de 100 semillas y número de semillas por kilogramo. Se determinaron diferencias significativas ($P<0.5$) dentro y entre los grupos mediante un modelo lineal generalizado (GLM). Con el análisis de componentes principales se identificaron las variables más descriptivas y con el análisis de conglomerados jerárquicos se identificaron grupos morfológicos. Para explorar la variación entre grupos se realizó la comparación de medias con la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$). Hubo diferencias significativas ($p<0.5$) en las ocho variables evaluadas. *C. moschata* y *C. argyrosperma* mostraron mayor diversidad que *C. pepo* y *C. ficifolia*. El 95% de la variación total fue explicada con los dos primeros componentes principales en *C. argyrosperma*, el 96% en *C. moschata*, el 98% en *C. ficifolia* y el 97% en *C. pepo*. Los caracteres de largo y ancho de semilla fueron los más descriptivos. Se identificaron dos grupos asociados con los estratos altitudinales de cada especie, con una proporción de varianza del 86%, mostrando una estrecha relación entre el estrato altitudinal y la especie. La variación morfológica está asociada a los estratos altitudinales y a la selección tradicional basada en intereses antropocéntricos.

Palabras clave: Morfotipos, Caracteres Morfológicos, Intereses Antropocéntricos.

Abstract. The diversity of the genus *Cucurbita* continues to evolve due to the different anthropocentric interests in each region regarding the consumption of the various edible structures of these species. The objective of this research was to morphologically characterize 21 pumpkin seed collections of the species *C. argyrosperma* (6), *C. moschata* (7), *C. ficifolia* (4) and *C. pepo* (4), obtained in five localities of the Sierra Mixe (1477-2439 masl), during the spring-autumn cycle of 2021. Seed morphological characters were evaluated: length, width, thickness, width/length, thickness/length, 100-seed weight and number of seeds per kilogram. Significant differences ($p<0.5$) within and between groups were determined using a generalized linear model (GLM). Principal component analysis was used to identify the most descriptive variables and hierarchical cluster analysis was used to identify morphological groups. To explore the variation between groups, comparison of means was performed with Duncan's test ($\alpha=0.05$). There were significant differences ($P<0.5$) in the eight variables evaluated. *C. moschata* and *C. argyrosperma* showed greater diversity than *C. pepo* and *C. ficifolia*. Ninety-five percent of the total variation was explained by the first two principal components in *C. argyrosperma*, 96% in *C. moschata*, 98% in *C. ficifolia* and 97% in *C. pepo*. Seed length and width characters were the most descriptive. Two groups associated with the altitudinal strata of each species were identified, with

¹Universidades para el Bienestar Benito Juárez García UBBJG Oaxaca, Oaxaca, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Valles Centrales de Oaxaca, México.

³CONAHCYT- Instituto Politécnico Nacional, Bioplanta – Unidad de Investigación y Colaboración para Bioensayos Entomológicos, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: obedmaces1989@gmail.com

a proportion of variance of 86%, showing a close relationship between altitudinal stratum and species. Morphological variation is associated with altitudinal strata and traditional selection based on anthropocentric interests.

Keywords: Morphotypes, Morphological Characters, Anthropocentric Interests.

1. Introducción

México es considerado como centro de domesticación y diversificación de cuatro especies del género *cucurbita*: *C. pepo*, *C. ficifolia*, *C. moschata* y *C. argyrosperma* (Kerrick, 2020). Actualmente se reportan 15 especies, donde cinco son las más sembradas: Chilacayota (*Cucurbita ficifolia*), calabaza de la india (*Cucurbita pepo*), calabaza de castilla (*Cucurbita moschata*), calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*) y calabaza kabocha (*Cucurbita maxima*) (CONABIO, 2021; UNAM, 2022).

El estado de Oaxaca se caracteriza por presentar una amplia variabilidad genética debido a sus condiciones de suelo, clima, topografía variada, recursos hídricos y grupos étnicos que tienen una relación estrecha con las especies que cultivan (Mera-Ovando et al., 2011; Kerrick, 2020). En calabaza se tiene registro de cinco especies de importancia económica; *C. argyrosperma*, *C. pedatifolia*, *C. ficifolia*, *C. pepo* y *C. moschata*. En la Sierra Mixe se han identificado las especies *C. pepo*, *C. ficifolia*, *C. moschata*, *C. argyrosperma* (UNAM, 2022).

Estas variantes locales siguen evolucionando derivado de los diferentes mecanismos de dispersión y diversificación, propios de cada región (Torres-Escamilla et al., 2019). La importancia de la caracterización de estas variantes recae en el valor estratégico como materia prima en diferentes industrias (SADER, 2021). Sin embargo, muchas de estas variantes no han sido descritas o se encuentran en proceso de domesticación por lo que se desconoce su potencial agroalimentario (Ronald et al., 2017). Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización de la diversidad morfológica en colectas de calabaza pertenecientes a la Sierra Mixe, del estado Oaxaca.

2. Materiales y Métodos

La colecta se realizó en cinco localidades (Nejapa, Tejas, Rancho Red, Santa Cruz y Santa María Tlahuitoltepec) en el distrito Mixe, del estado de Oaxaca. La ubicación, altitud y condiciones edafoclimáticas de las localidades se muestran en el Cuadro 1.

Variables evaluadas. Para la caracterización morfológica en las semillas de calabaza, se tomaron los datos de cinco semillas por colecta, en las cuales se midieron las siguientes variables cuantitativas: largo de semilla (LS), grosor de semilla (GS) y ancho de semilla (AG). Con los datos obtenidos se generaron las variables; ancho/largo (ASLS), grosor/ancho (GSAS) y grosor/largo (GSLs). Posteriormente se determinó el peso de 100 semillas (PS100), realizando cinco repeticiones por colecta. Con la variable de PS100 se generó la variable de número de semillas por kilogramo (NKg).

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se sometieron a pruebas de normalidad, las variables que no presentaron una distribución normal fueron transformadas mediante logaritmo (X). El análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento del modelo lineal generalizado (GLM), utilizando a las colectas como fuentes de variación, con el fin de precisar entre el total de las colectas las variables con diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Con la matriz de correlaciones se descartaron las variables

altamente correlacionadas, en base al análisis de componentes principales se seleccionaron las variables de mayor valor descriptivo. A partir de las variables de mayor valor se realizó un análisis de conglomerados de agrupación jerárquica con el método de media no ponderada, el punto de corte se basó en el pseudo estadístico T. Para la exploración de la variación entre los grupos se realizó una comparación de medias por la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$). Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2022).

Cuadro 1. Ubicación, altura, suelo y clima de localidades.

Nº	Localidad	Altura (msnm)	Ubicación	Suelo	Clima
1	Nejapa	1477	96° 3' 45.64" W 17° 5' 42.32" N	Luvisol	Semsub
2	Tejas	2345	96° 0' 54.46" W 17° 5' 57.83" N	Acrisol	TemHúm
3	Red	2410	96° 1' 58.58" W 17° 5' 20.72" N	Acisol	TemHúm
4	Santa Cruz	2392	96° 2' 42.46" W 17° 5' 17.95" N	Acrisol	TemHúm
5	Santa María Tlahuitoltepec	2439	96° 3' 46.8" W 17° 5' 39.62" N	Luvisol	TemHúm

Fuente: INEGI (2022); SemSub: semicálido subhúmedo, TemHum: templado húmedo, TemSub: templado subhúmedo. msnm: metros sobre el nivel del mar.

3. Resultados y Discusión

Se realizó la caracterización morfológica de 21 colectas, de las especies *C. argyrosperma* (6), *C. moschata* (7), *C. ficifolia* (4) y *C. pepo* (4), la diferencia entre colectas se observa en el análisis de varianza, donde se determinó una alta diferencia significativa ($P \leq 0.05$), en las ocho variables evaluadas, como se muestra en el Cuadro 2. El estudio de esta variabilidad es fundamental en el mejoramiento del género *Cucurbita* y es mantenida por los productores quienes son capaces de reconocer variantes agromorfológicas aprovechables en las estructuras comestibles, relacionando las dimensiones de semillas en algunas especies con el contenido de aceites, proteínas y ácidos grasos (Canul-Ku et al., 2015).

Análisis de componentes principales. La matriz de covarianza permitió eliminar la variable que estaba altamente correlacionada, siendo la variable de peso de 100 semillas (PS100) en las cuatro especies, cuyo coeficiente de correlación fue mayor a 0.7. Los valores del análisis de los dos componentes principales (CP) muestran que para la especie *C. argyrosperma* explicaron el 95% de la variación total, en *C. moschata* el 96%, en *C. ficifolia* el 98% y para *C. pepo* el 97%. Las variables de mayor peso descriptivo en las cuatro especies fueron largo y ancho de semilla como se muestra en el Cuadro 3. La predominancia de los caracteres de largo y ancho de semillas, se asocian a que, durante el proceso de selección, este se enfoca hacia la venta, debido a que esta estructura comestible es de alta demanda en el mercado local, representando un platillo pluricultural propio de la región. Según estudios realizados por Bochi (2015), los caracteres de semilla pueden representar hasta el 3% del peso total en frutos.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza de las características morfológicas en 21 colectas de calabaza.

Variable	CME	Media	C.V. (%)
Largo de semilla (mm)	4.91**	20.27	10.93
Ancho de semilla (mm)	1.12**	9.87	10.72
Grosor de semilla (mm)	0.18**	2.92	14.56
Ancho/Largo (mm) [†]	0.005**	0.49	15.35
Grosor/Largo (mm) [†]	0.0006**	0.14	17.28
Grosor/Ancho (mm)	0.003**	0.3	19.32
Peso de 100 semillas (gr)	1.50**	22.28	5.51
Semillas/Kg	75484.69**	4649.94	5.9

CME=cuadrado medio del error, CV=Coeficiente de variación. **altamente significativo ($p \leq 0.05$); *significativo ($p \leq 0.05$); ^{NS} no significativo ($p > 0.05$). Datos transformados [†]ln(X).

Cuadro 3. Valores y vectores propios, de los dos componentes principales, que describen la variación morfológica de 21 colectas de calabaza (*Cucurbita* spp), en la Sierra Mixe del estado de Oaxaca.

Variable	<i>C.argyrosperma</i>		<i>C.moschata</i>		<i>C.ficifolia</i>		<i>C.pepo</i>	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Largo de grano	0.92	-0.38	0.99	-0.12	0.97	-0.22	0.89	-0.43
Ancho de grano	0.38	0.91	0.12	0.97	0.22	0.96	0.43	0.89
Grosor de grano	0.05	0.07	0.012	-0.16	0.05	0.06	0.04	-0.01
Ancho/Largo	-0.01	0.04	-0.03	0.06	-0.02	0.06	0.001	0.05
Grosor/Largo	-0	0.003	-0.01	-0.01	-0.004	0.005	-0.004	0.002
Grosor/Ancho	-0.01	-0.02	-0	-0.05	0.001	-0.01	-0.01	-0.03
Valor propio	6.13	1.15	6.2	1.28	5.26	0.45	4.44	2.14
Variación explicada	80	15	79	16	90	0.08	66	31
Variación acumulada	80	95	79	96	90	98	66	97

Análisis de conglomerados. Con base a las variables morfológicas de mayor importancia evaluadas en las 21 colectas y mediante un análisis de conglomerados jerárquicos, se puede observar que a una distancia euclidiana de 1.0 unidades, separa a las poblaciones en dos grandes grupos (Figura 1), estos a su vez definieron cuatro subgrupos (pseudo T=5.2, $P < 0.05$), con un coeficiente de determinación de 0.05, con una proporción de varianza representada por los conglomerados mayor al 86%. La separación dentro de los grupos 1 y 2, se asoció a los estratos altitudinales característicos de cada especie descritos por Lira-Saade (1995).

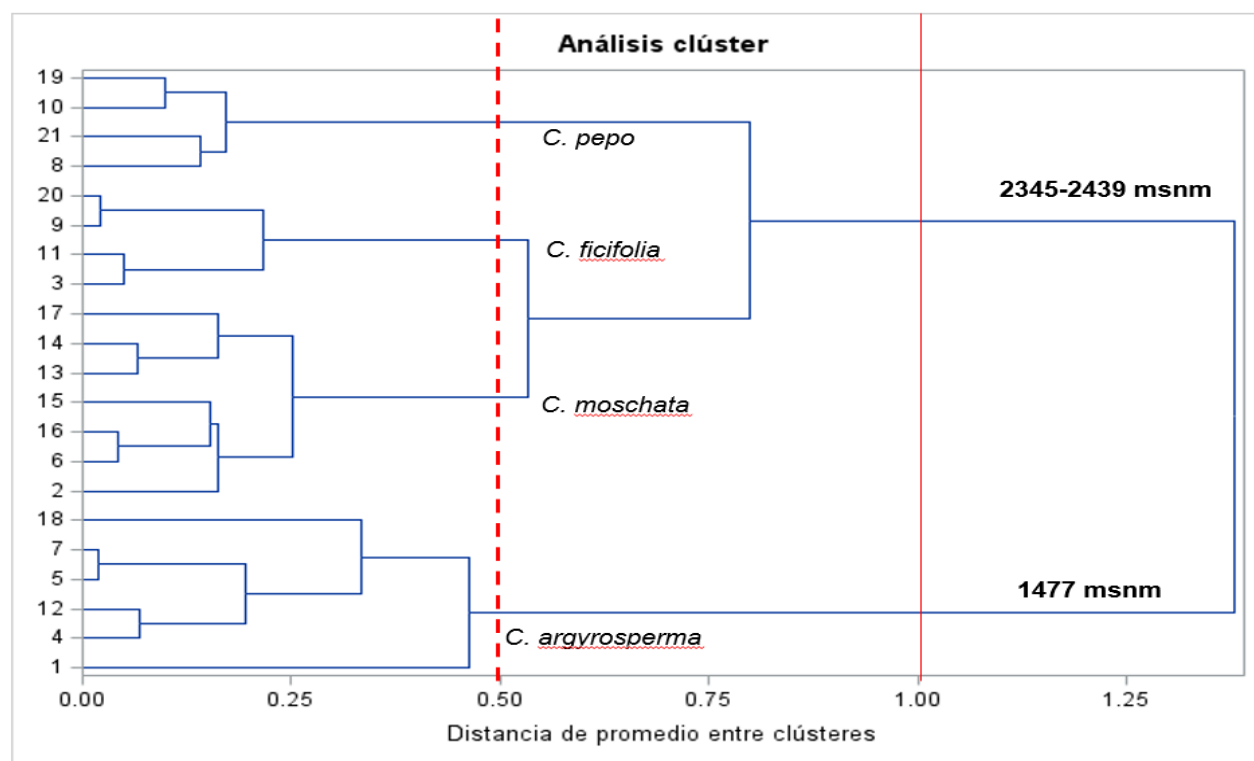


Figura 1. Dendrograma de cuatro especies de calabaza, en base a las variables morfológicas de mayor peso descriptivo, construido por el método de agrupamiento average.

Entre colectas de la especie *C. argyrosperma* el 62.5% de las variables no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), como se muestra en el Cuadro 4. Lo que supone que la diversidad de la especie es homogénea y ha sido conservada por los productores, debido a la preferencia de consumo local. Esto presenta una discrepancia con lo descrito por Lira-Saade (1995), donde señala que la diversidad de esta especie es menor con respecto a *C. pepo*.

Entre colectas pertenecientes a *C. moschata* el 87.05% de las variables evidenciaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), lo que representa una alta variabilidad en la especie, esto indica un proceso de selección y mejoramiento constante por parte de los productores y coincide con lo descrito por Lira-Saade (1995) y Mera-Ovando et al. (2011), en la alta variabilidad de la especie derivado de su compatibilidad genética.

Para el caso de las colectas de *C. ficifolia* no existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en ninguna de las ocho variables evaluadas, lo que indica que la variabilidad genética es homogénea, los resultados coinciden con la descripción de Lira-Saade (1995), en la diversidad de la especie. Aunque el chilacayote es la especie de menor importancia económica con respecto a las demás especies, esta se sigue cultivando en la Sierra Mixe, debido a la tolerancia presentada a condiciones adversas, donde puede ser cultivada de manera indistinta, tanto en sistemas agrícolas de alta competencia y de manejo intensivo (Lira-Saade, 1995). En la especie de *C. pepo* el 75% de las variables no evidenciaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), lo que indica que la variabilidad genética es homogénea, los

resultados contrastan con lo descrito por Lira-Saade (1995), siendo un indicador que los productores mantienen la homogeneidad de la misma, a través de la conservación de caracteres morfológicos específicos, que cumplan con los intereses de consumo, venta, culturales y de adaptabilidad.

Cuadro 4. Promedios de grupos y subgrupos de ocho variables morfológicas en 21 colectas de calabaza. Sierra Mixe del Estado de Oaxaca, 2021.

Colecta	LS	AS	GS	GS/AS	AS/LS	GS/LS	P100	N/Kg
<i>C. Argyrosperma</i>								
NA01	23.42a	8.47 ^a	3.2ab	0.36a	0.14a	0.37 ^a	21.70cd	4607ab
NA04	24.33a	9.69 ^a	3.48ab	0.39a	0.14a	0.37 ^a	31.68a	3157d
NA05	23.65a	10.21 ^a	3.55a	0.43a	0.15a	0.35a	26.82abc	3137cd
NA07	23.61a	10.28 ^a	2.94ab	0.43a	0.12a	0.28a	24.49bcd	4082bc
NA12	21.05a	8.7 ^a	2.48b	0.41a	0.11a	0.29a	19.65d	5111a
NA18	25.06a	10.59 ^a	3.06ab	0.42a	0.12a	0.29a	29.42ab	3407cd
Promedio	23.52A	9.66B	3.12^a	0.41B	0.13B	0.32A	25.62A	4014c
<i>C. Moschata</i>								
NM02	20.04a	11.62 ^a	2.76b	0.58ab	0.17ab	0.30bc	28.38a	3530c
NM06	19.40a	9.07b	3.48ab	0.46b	0.18ab	0.39ab	21b	4785ab
NM13	20.48a	10.21ab	3.51ab	0.50ab	0.13b	0.27c	19.46b	5137a
NM14	16.21a	10.19ab	3.48ab	0.68a	0.22a	0.34abc	24.42ab	4096b
NM15	19.74a	9.69b	3.06b	0.49ab	0.15b	0.31abc	20b	4985ab
NM16	18.52a	9.20b	3.90a	0.49ab	0.21a	0.42a	23.74ab	4211abc
NM17	18.73a	10.47ab	2.83b	0.55ab	0.15b	0.27c	23.53ab	4251abc
Promedio	19.04A	10.06B	3.29A	0.53A	0.17A	0.33A	22.94AB	4423BC
<i>C. Ficifolia</i>								
RF03	18.19a	11.52 ^a	2.39a	0.65a	0.13a	0.20a	18.82a	5312a
SMTF09	18.95a	10.82 ^a	2.03a	0.57a	0.10a	0.18a	20.75a	4819a
SCF11	20.06a	11.37 ^a	2.37a	0.56a	0.11a	0.21a	23.40a	4300a
RF20	18.93 ^a	10.74 ^a	2.35a	0.56a	0.12a	0.22a	20.64a	4845a
Promedio	19.03^a	11.11^a	2.28B	0.59^a	0.12B	0.20B	20.90BC	4820B
<i>C. Pepo</i>								
TP08	18.45 ^a	10.48 ^a	2.68a	0.56 ^a	0.14a	0.27a	21.26a	4703a
SMTP10	19.47 ^a	7.93b	2.75a	0.41b	0.14a	0.35a	17.50a	5724a
SCP19	19.26 ^a	8.28ab	2.63a	0.43b	0.14a	0.32a	16.30a	6175a
RP21	17.97 ^a	7.74b	2.35a	0.43b	0.13a	0.30a	14.95a	6686a
Promedio	18.79^a	8.61C	2.60B	0.46B	0.13B	0.31A	17.50C	5822A

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Duncan, $p < 0.05$).

La dispersión de las poblaciones en base a los dos primeros componentes principales concordó con el análisis de conglomerados, donde se puede apreciar la formación de dos grupos, la formación de estos grupos muestra una relación estrecha entre la especie y el estrato altitudinal al que se encuentran, como se observa en la Figura 2.

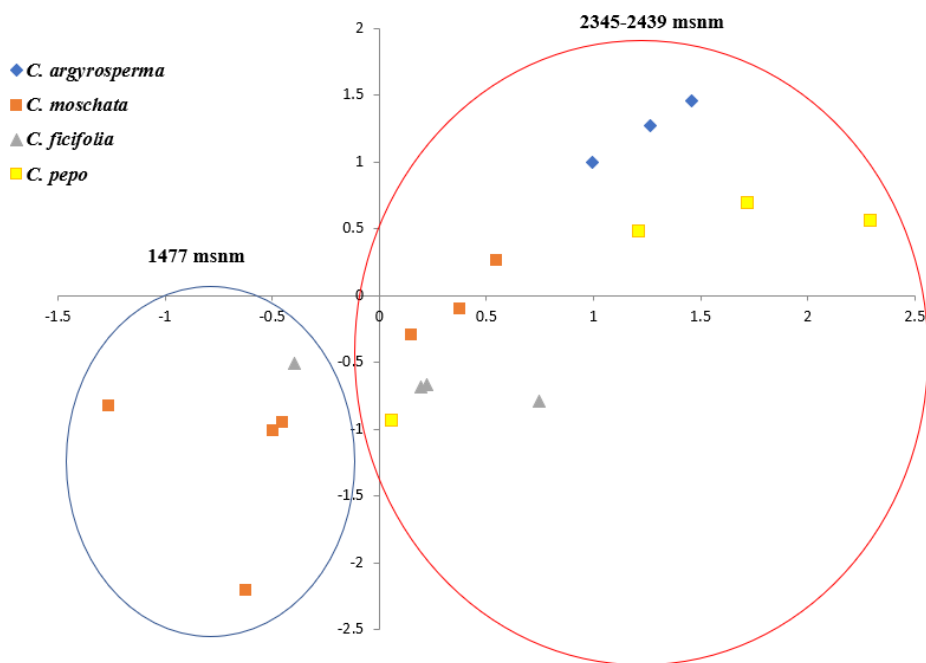


Figura 2. Dispersión de las 21 colectas de calabaza, en base al estrato altitudinal al que pertenecen las colectas.

4. Conclusiones

Las especies *C. argyrosperma*, *C. moschata*, *C. ficifolia* y *C. pepo* presentaron diferencias significativas en el total de las variables evaluadas, lo cual permite realizar agrupaciones por especie con claridad. Las poblaciones de *C. moschata* y *C. argyrosperma* presentaron mayor diversidad que las especies *C. pepo* y *C. ficifolia*. El largo y ancho de semilla fueron las variables con mayor valor descriptivo, descartar la variable de peso de 100 semillas permitió agrupar con claridad las especies de *Cucurbita*, debido a su alto grado de correlación con algunas variables.

La variabilidad observada en las poblaciones de *C. moschata* y *C. argyrosperma* puede ser explicada en base a las diferentes demandas de las estructuras comestibles en el mercado. La homogeneidad de las poblaciones de *C. pepo* y *C. ficifolia*, se han conservado por sus características de resistencia a la variabilidad edafoclimática presente en la región y los caracteres morfológicos específicos en semilla, que cumplen con los intereses de consumo, en el mercado local.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras (INIFAP), campo experimental Valles Centrales, por abrirme las puertas y brindarme las herramientas para realizar este trabajo, en especial al M.C. Flavio Aragón Cuevas por su apoyo, enseñanzas, compromiso y dedicación.

Referencias Citadas

- Boschi, K. 2015. Caracterização das propriedades químicas e antioxidantes da semente, germinados, flores, polpa e folha desenvolvida de abóbora (*Cucurbita pepo* L.). Instituto Politécnico Escola Superior Agrária de Bragança. Braga, Portugal. pp. 80-85.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). Biodiversidad Mexicana.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Mapas territoriales.
- Canul-Ku, J., P. Ramírez-Vallejo, F. Castillo-González y J. L. Chávez-Servia. (2005). Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28 (4): 339-349.
- Kerrick, E. D. (2020). *Cucurbita: Biology, Distribution and Habitat*. Nova Science Publishers. New York, USA. pp 3-25.
- Lira-Saade, R. (1995). Estudios Taxonómicos y Ecofisiográficos de las cucurbitaceae Latinoamericanas de importancia económica. International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italia. pp. 23-65.
- Mera-Ovando, L. M., R. A. Bye-Boettler, C. Villanueva-Verduzco y A. Luna-Vera. (2011). Documento de diagnóstico de las especies cultivadas de cucurbita L. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. pp. 25-33.
- SAS, Institute (2022) *The SAS System for Windows User's Guide*. Release 9.4 SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 38 p.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2021). Recursos fitogenéticos, seguridad alimentaria para el futuro.
- Ronald, E., J. G. Pozas-Cárdenas, F. Soria-Miranda y J. Cruz-González. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Revista Tierra Latinoamericana* 35 (2): 149-160.
- Torres-Escamilla, F., J. L. Chávez-Servia, P. Diego-Flores y J. C. Carrillo-Rodríguez. (2019). Variabilidad agromorfológica entre poblaciones de maíz azul y rojo de la Mixteca Oaxaqueña, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 44 (1): 157-171.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2022). Portal de datos abiertos UNAM; colecciones biológicas.

Tasa de absorción nutrimental y distribución en frijol común variedad Reyna

Jesús del Rosario Ruelas-Islas^{1*}, Cándido Mendoza-Pérez², Hernán Celaya-Michel³, Celia S. Romero-Félix¹, Blanca E. López-Valenzuela¹

Resumen. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa crucial en la alimentación de Latinoamérica y otros países. Su valor nutricional se debe a su contenido de proteínas y minerales como hierro, potasio, zinc y magnesio, esenciales para la nutrición humana. La baja disponibilidad de nutrientes en el suelo limita su crecimiento vegetativo y radicular. Algunos autores sugieren ajustar las prácticas de fertilización para mejorar la productividad y sostenibilidad del suelo. En esta investigación, se establecieron experimentos de campo para determinar la respuesta del frijol común variedad Azufrado Reyna a diferentes dosis de fertilización NPK en la absorción de nutrientes. Los tratamientos incluyeron tres dosis: T1 (45, 30, 60 kg ha⁻¹), T2 (90, 60, 120 kg ha⁻¹), T3 (150, 100, 200 kg ha⁻¹) y un control (100 kg ha⁻¹ urea). El experimento se diseñó en bloques completos al azar con tres repeticiones. Según los datos, la absorción total de macro y micronutrientes siguió este orden: K > N > Ca > Mg > P, Fe > Mn > Zn > B > Cu, con el período más intenso a los 75 días después de la siembra (llenado de vaina). Al final del ciclo, la tasa de absorción de macronutrientes fue N > K > Ca > Mg > P con 3.5, 2.4, 1.5, 0.9 y 0.18 kg ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente, mientras que la absorción de micronutrientes fue Fe > Mn > Zn > B > Cu con 284, 56, 20, 8 y 4 g ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: Tasa de Absorción Nutrimental, Frijol Común.

Abstract. The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crucial legume in the diet of Latin America and other countries. Its nutritional value is due to its content of proteins and minerals such as iron, potassium, zinc and magnesium, which are essential for human nutrition. The low availability of nutrients in the soil limits its vegetative and root growth. Some authors suggest adjusting fertilization practices to improve soil productivity and sustainability. In this research, field experiments were established to determine the response of common bean variety Azufrado Reyna to different doses of NPK fertilization on nutrient uptake. The treatments included three doses: T1 (45, 30, 60 kg ha⁻¹), T2 (90, 60, 120 kg ha⁻¹), T3 (150, 100, 200 kg ha⁻¹) and a control (100 kg ha⁻¹ urea). The experiment was designed in randomized complete blocks with three replications. According to the data, the total uptake of macro and micronutrients followed this order: K > N > Ca > Mg > P, Fe > Mn > Zn > B > Cu, with the most intense period at 75 days after sowing (pod filling). At the end of the cycle, the macronutrient uptake rate was N > K > Ca > Mg > P with 3.5, 2.4, 1.5, 0.9 and 0.18 kg ha⁻¹ day⁻¹ respectively, while micronutrient uptake was Fe > Mn > Zn > B > Cu with 284, 56, 20, 8 and 4 g ha⁻¹ day⁻¹ respectively.

Keywords: Nutrient Uptake Rate, Common Bean.

¹Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS, Sinaloa, México.

²Departamento de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

³³Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, Mexico.

*Autor para correspondencia: chuyitaruelas@favf.mx

1. Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa muy importante a nivel mundial por su alto contenido proteico, minerales (Delgado et al. 2013), contenido de lisina, fibra y vitaminas (Quintana-Blanco et al., 2016). Actualmente este cultivo es adaptado a una gran diversidad de ambientes, tipos de suelos, sistemas de producción y manejo agronómico. Sin embargo, sigue siendo fuertemente afectado por factores bióticos y abióticos (Urrea et al., 2009) que disminuyen el potencial productivo. La disponibilidad de nutrientes en el suelo es cada vez menor debido al rango de pH que tienen la gran mayoría de los suelos del norte de Sinaloa; además, del aumento progresivo por efecto de ciertos fertilizantes. Hoy en día, se aplican estrategias de manejo que han favorecido la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo y con ello disminuir la cantidad de fertilizantes sintéticos; entre las que destacan la aplicación de enmiendas naturales al suelo (composta-estiércol), el uso de microorganismos y mejoradores de suelo de carácter orgánico. La fertilización balanceada es uno de los factores clave para maximizar el potencial productivo de un cultivo. Sin embargo, no siempre es aplicable especialmente en cultivos de ciclo corto como el frijol. Se documenta que a pesar de que este cultivo necesita una alta dosis de nitrógeno, es actualmente la disponibilidad de fósforo, el factor más limitante para expresar el potencial genético (Meseret & Amin, 2014). Westerman et al. (2011) argumentan que la productividad de un cultivo no está únicamente relacionada a la alta disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo, sino de la capacidad de absorción por parte de la planta.

De acuerdo a lo reportado por Sanchez & Doerge (1999), la disponibilidad de nutrientes independientemente de la fuente, debería ser disponible a una tasa casi igual a lo requerido en absorción; para ello, recomiendan utilizar las mejores estrategias de fertilización y manejo que favorezcan los procesos de absorción nutrimental. En ese sentido, Mweetwa et al. (2016) encontraron que la fertilización sintética N-P favoreció mayormente los procesos de absorción en el cultivo de frijol común, y que las plantas que fueron inoculados con *Trichoderma* o *Rhizobia* no favorecieron la absorción de nutrientes en la biomasa, y que, por tanto, la inoculación con microorganismos puede no resultar en un aumento de rendimiento o mayor producción de biomasa. Se menciona que es importante conocer la cantidad de nutrientes removidos en la cosecha con el propósito de conservar los niveles de fertilidad y sustituir únicamente los nutrientes tomados por el cultivo. Zanão-Júnior et al. (2018) sugieren cambiar la densidad de plantación en cada ciclo ya que se favorece el microclima del cultivo y por consiguiente el rendimiento del frijol; enfatizando que dicha densidad afecta la eficiencia en el uso de agua, fertilizantes, costo de semilla y facilita/dificulta las prácticas de manejo del cultivo. No obstante, Masa et al. (2017) exhiben también que la densidad de plantas afecta directamente o indirectamente el potencial de producción del cultivo de frijol ya que la óptima densidad difiere de la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Finalmente, diversos autores enfatizan en realizar patrones de absorción nutrimental como una herramienta para identificar etapas de máxima demanda y definir mejor los programas de fertilización (Fageria et al. 2011; Pagani & Mallarino, 2012; Crusciol, 2013). Actualmente, la fertilización del de frijol en Sinaloa se basa principalmente en aplicaciones de nitrógeno y a pesar de su gran importancia, existe únicamente información limitada en términos de máxima acumulación de nutrientes durante todo el ciclo del cultivo y etapas críticas de máxima absorción. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue determinar la tasa de absorción nutrimental del cultivo de frijol e identificar etapas de máxima demanda para fraccionar la cantidad de nutrientes de manera más eficiente y racional.

2. Materiales y Métodos

Se condujo un experimento de campo en el ciclo agrícola 2021-2022 en el valle del Fuerte, Sinaloa, México (25° 47'48" N, 108° 47'51" W). El suelo de la región se clasifica como franco-arcilloso. Las técnicas de labranza empleadas fueron las recomendadas en la guía técnica para productores (INIFAP). Antes de la siembra se llevó a cabo un muestreo de suelo a una profundidad de 30 cm para determinar características físicas y químicas mediante los criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000).

La siembra se realizó en suelo húmedo utilizando la variedad Azufrado Reyna y se controlaron malezas y plagas durante todo el ciclo del cultivo. Los tratamientos consistieron en tres dosis de NPK: T1 45, 30, 60 kg ha⁻¹), T2 (90, 60, 120 kg ha⁻¹), T3 (150, 100, 200 kg ha⁻¹) y testigo (100 kg ha⁻¹ urea). El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Para estimar la concentración de nutrientes en tejidos y grano, se realizaron muestreos destructivos de plantas en diferentes etapas fenológicas (3ra hoja trifoliada, floración, llenado de vaina, madurez fisiológica); los órganos fueron separados y después secados en horno de aire forzado a 70 °C hasta alcanzar peso constante.

El nitrógeno total fue estimado por digestión Kjeldahl, el contenido de fósforo por digestión húmeda con ácido nítrico (HNO₃) y ácido perclórico (HClO₄). El potasio mediante el método de flama mientras calcio y magnesio usando espectrofotómetro de absorción atómica.

Con los datos de concentración de nutrientes (contenido por unidad de peso seco expresados en g kg⁻¹ o mg kg⁻¹), se determinó la absorción nutrimental total (peso seco x concentración kg ha⁻¹). La tasa de absorción fue calculada con la primera derivada de la acumulación nutrimental con respecto al tiempo [d NA/d t].

3. Resultados y Discusión

Tasa de absorción nutrimental. La absorción total de macronutrientes aumentó gradualmente en respuesta a las dosis de fertilización. La preferencia en la absorción hasta la etapa de llenado de vaina fue en el siguiente orden: K> Ca> N> Mg>. En madurez fisiológica fue N> Ca> K> Mg> P aproximadamente. Al final del ciclo, la absorción total fue K> N> Ca> Mg> P, siendo las últimas etapas las más activas para el proceso de absorción nutrimental. Se observó que en la etapa de llenado todos los nutrientes fueron absorbidos en cantidades superiores debido a la mayor demanda de las vainas (tamaño y peso). Sin embargo, dicho proceso declinó ligeramente en la última etapa para casi todos los nutrientes a excepción del nitrógeno que permaneció relativamente constante. Este proceso de asimilación de nutrientes fue muy similar a lo reportado por Lata-Tenesaca et al. (2017) quienes encontraron una absorción total de N>K>Ca>Mg>P con aproximadamente 221, 186, 163, 29 and 24 kg ha⁻¹. Por otro lado, Vieira et al. (2009), también encontraron que la absorción máxima fue N>K>Ca>Mg>P en diferentes cultivares bajo distintas técnicas de labranza y densidad de plantas. Mientras que Pergoraro et al. (2014) reportaron que la absorción de nutrientes fue K>N>Ca>P>Mg con 138, 112, 66, 16, 7 kg ha⁻¹ respectivamente.

Peres-Soratto et al. (2013) reportaron que la preferencia en absorción fue de N> K> Ca> P> Mg> S. Finalmente, Bray, (1954) propuso que la movilidad de nutrientes es determinada por el estado iónico al cual los nutrientes alcanzan la superficie radicular y que eso favorece la efectividad de la aplicación de nutrientes (Havlin et al., 2005). La tasa de absorción nutrimental diaria para todos los

nutrientes incrementó durante el ciclo observándose que la etapa de máxima demanda coincidió con la etapa más crítica de desarrollo y de máxima acumulación de materia seca (datos no mostrados).

La tasa promedio para todos los tratamientos en llenado de vaina (75 dds) fue $K > N \sim Ca > Mg > P$ con 5, 3.8, 3.8, 1.3 y 0.3 kg ha⁻¹ día⁻¹. A madurez, la tasa de absorción fue $N > K > Ca > Mg > P$ con 3.5, 2.4, 1.5, 0.9 y 0.2 kg ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente (Figura 1). De acuerdo a lo observado, el proceso de absorción en etapa inicial fue bajo, para posteriormente incrementar en las siguientes etapas, proceso que está relacionado con la movilidad de los nutrientes en el suelo, concentración en la solución del suelo y nivel de humedad. Esta tendencia fue consistente a lo reportado por Peres-Soratto et al. (2013) quienes reportaron que la mayor demanda de macronutrientes ocurrió en el periodo de 45 a 70 dds.

La preferencia en absorción de micronutrientes fue en el siguiente orden: $Fe > Mn > Zn > B > Cu$ con 16, 4.3, 2.8, 1.2 y 0.540 kg ha⁻¹, el cual fue el requerimiento promedio. La absorción de Fe aumentó durante todo el ciclo, hasta madurez. Estos resultados coinciden con lo reportado por Biddulph & Woodbridge (1952) quienes determinaron que las plantas absorben fósforo en relación directa con el hierro. En este estudio, la absorción total de fósforo fue 14 kg ha⁻¹, ligeramente menor a la absorción total de hierro (16 kg ha⁻¹). Se menciona que, en muchos casos, los procesos de inmovilización más que la deficiencia afecta el suministro de hierro para las plantas. La absorción de zinc fue mucho menor que la de manganeso; por lo que trabajos de Joshi et al. (2010) y Velu et al. (2014) mencionan que la concentración de fósforo en el suelo inhibe el proceso de absorción de zinc. De manera general se puede observar que la tasa de absorción nutrimental incrementó durante el ciclo, siendo la etapa de máxima demanda la que coincidió con la etapa de desarrollo más crítica. La tasa promedio en etapa de llenado de vaina fue $Fe > Mn > Zn > B > Cu$ con 144, 66, 31, 18 y 10 g ha⁻¹ día⁻¹. A madurez fue $Fe > Mn > Zn > B > Cu$ con 284, 56, 20, 8 and 4 g ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente (Figura 2).

Con el propósito de explicar este proceso más claramente, Jungk & Claassen (1997) argumentan que los nutrientes alcanzan la superficie radicular vía crecimiento radicular morfológico y el transporte químico de esos nutrientes a las superficies absorbentes. Estos principales métodos explican tres mecanismos específicos de absorción nutrimental: 1) intercepción radicular, 2) flujo de masas, 3) difusión de nutrientes en solución. El primer mecanismo principal constituye el modo primario de absorción que resulta del crecimiento de raíces a través del intercambio de iones entre el suelo y la superficie radicular (Havlin et al., 2005). Es por ello que las propiedades físicas y químicas del suelo juegan un rol importante en la magnitud de las reacciones que favorecen o inhiben el proceso de absorción en las plantas. Finalmente, reportes de Guttieri et al. (2017) y Sadras (2006) argumentan que las variaciones en los patrones de absorción tienen implicaciones directas en el posterior manejo del suelo, el comportamiento del cultivo y en la calidad nutrimental.

La distribución de macronutrientes en los órganos vegetativos fue del 100% hasta floración, en etapas posteriores, alrededor del 30% fue distribuido a los órganos reproductivos. En llenado de vaina, la distribución fue de la siguiente manera: $Ca > K > N > Mg > P$ en órganos vegetativos, mientras que en órganos reproductivos fue $P > Mg > N > K > Ca$. A madurez fisiológica, la distribución fue $N > Ca \sim K > Mg > P$ y $P > Mg > K \sim Ca > N$ para órganos vegetativos y reproductivos. En las últimas etapas, el N se distribuyó aproximadamente en un 70% en la vegetación y el resto a las estructuras reproductivas. Durante la etapa de llenado de vaina, 40% del fósforo fue translocado a las vainas y el 60% a la vegetación. A madurez, se observó un giro en el patrón de distribución con un porcentaje mayor de translocación hacia las vainas. Aproximadamente, el 82 y 70% del K fue distribuido a los órganos vegetativos en las últimas dos etapas. Algunos hallazgos han reportado que el K usualmente es

absorbido temprano en la etapa vegetativa y después es translocado a otras partes de la planta. También se observa que el 88% del calcio fue tomado en etapa de llenado, y al final del ciclo, únicamente el 30% fue translocado a las vainas.

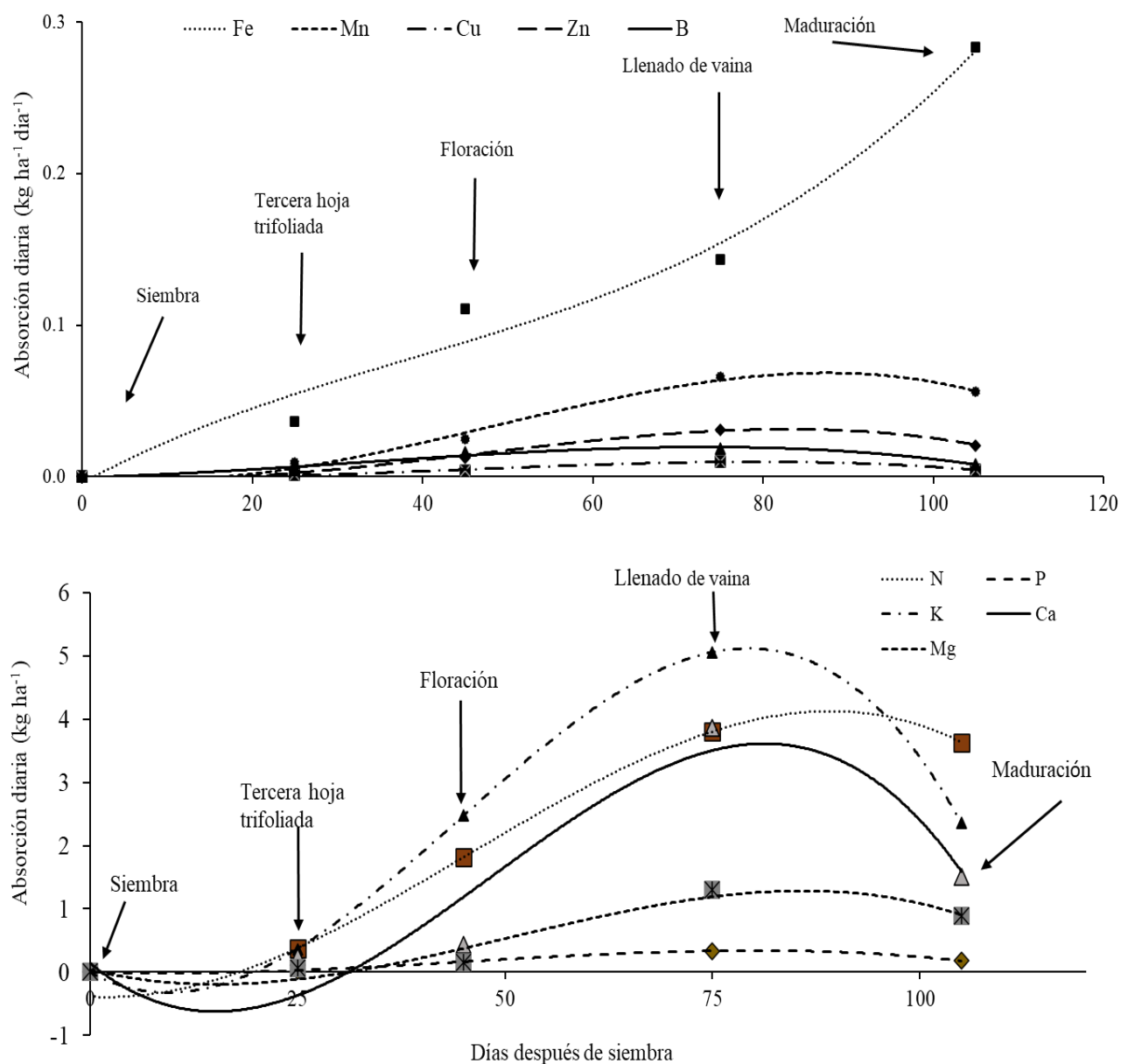


Figura 1. Tasa de absorción nutrimental resultantes de los tratamientos evaluados.

La distribución de Mg en la vegetación fue alrededor de 65% mientras que el resto se distribuyó a las vainas. Considerando la absorción total, aproximadamente 200 kg ha⁻¹ del nitrógeno fue distribuido a

la vegetación y únicamente 68 kg ha^{-1} a los frutos (Figura 2 A). La distribución de fósforo en los frutos fue de 11 kg ha^{-1} y 8 kg ha^{-1} a la vegetación (Figura 2 B). La distribución de potasio fue similar a la de nitrógeno ya que únicamente 86 kg ha^{-1} fueron distribuidos al fruto (Figura 2 C). el proceso de partición de calcio fue de 157 kg ha^{-1} en la vegetación y 65 kg ha^{-1} a los frutos (Figura 2 D). Finalmente, 4 kg ha^{-1} de magnesio fueron distribuidos a la vegetación y 0.2 kg ha^{-1} a los frutos (Figura 2 E).

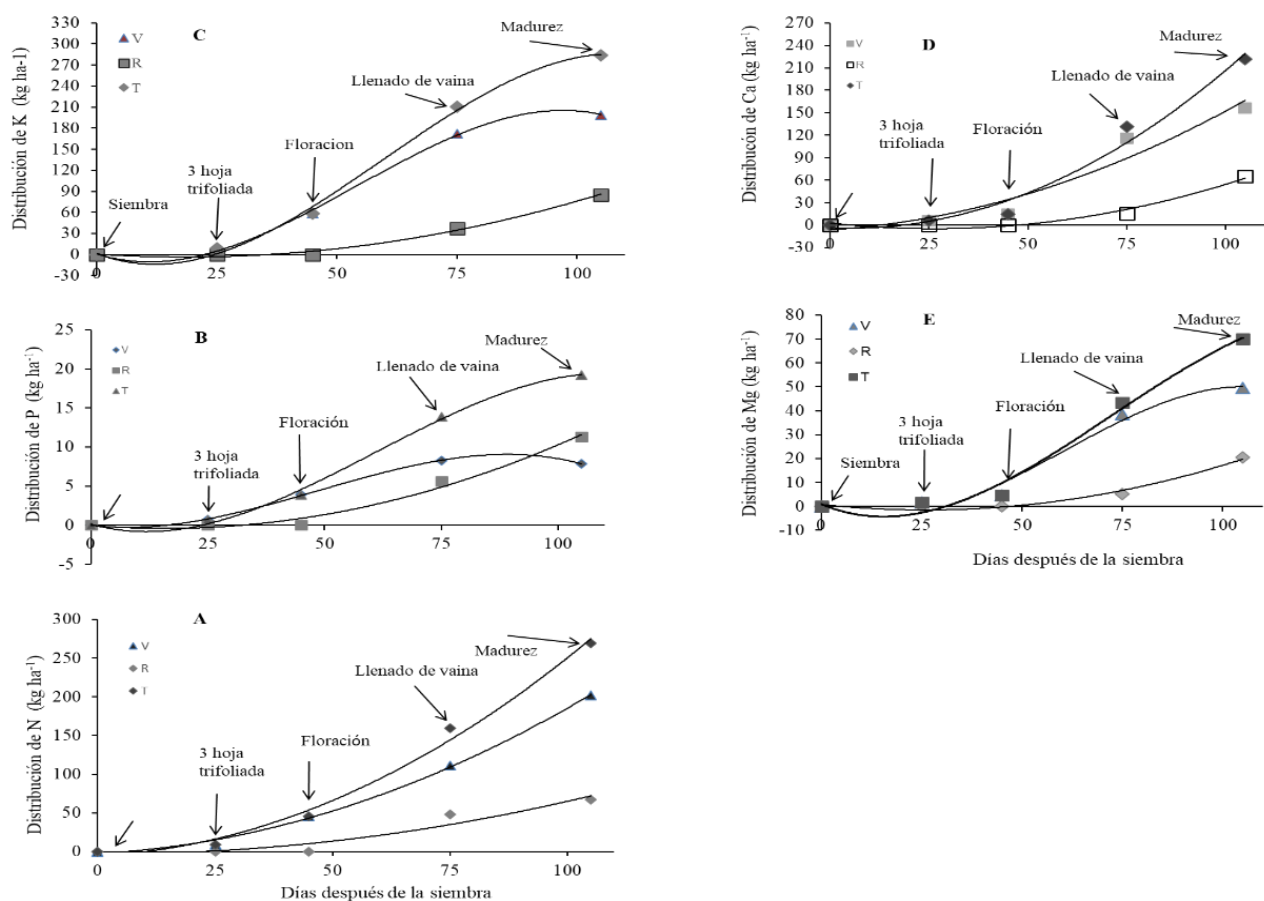


Figura 2. Distribución de macronutrientes en órganos vegetativos y reproductivos.

3. Conclusiones

La región de crecimiento entre llenado de vaina hasta madurez fisiológica representó los periodos de demanda máxima para la adquisición de nutrientes. La demanda nutricional total fue en el siguiente orden $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$ and $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$. Aproximadamente el 30% de la absorción fue distribuida a los órganos reproductivos mientras que el resto a los órganos vegetativos. El suministro de nutrientes en la solución del suelo durante estas etapas es crítico, por lo que el productor debe asegurar el requerimiento antes de esa etapa especialmente en campos donde se aplique riego por superficie.

Agradecimientos

Se agradece a todos los participantes por sus valiosas contribuciones en la ejecución de este proyecto.

Referencias Citadas

- Biddulph, O. & Woodbridge, C.G. (1952). The uptake of phosphorus by beans plants with particular reference to the effect of iron. *Plant Physiology*, 27(3): 431-444.
- Bray, R.H. (1954). A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Science*. 78:9-22.
- Crusciol, C.A.C. (2013). Upland rice growth and mineral nutrition as affected by cultivars and sulfur availability. *Soil Science Society of America Journal*, 77(1): 328-335.
- Delgado, H., Pinzón, E.H., Blair, M. & Izquierdo, P.C. (2013). Evaluación de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de retrocruce avanzado entre una accesión silvestre y radical cerinza. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1):79-86.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. & Jones, C.A. (2011). Growth and mineral nutrition of field crops. Third Edition. Boca Ratón, CRC Press.
- Guttieri, M.J., Frels, K., Regassa, T., Waters, B.M. & Baenziger, P.S. (2017). Variation for nitrogen use efficiency traits in current and historical Great Plains hard winter wheat. *Euphytica*, 213: 87.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*, 7th edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 154 pp.
- Joshi, A.K., Crossa, J., Arun, B., Chand, R., Trethowan, R., Vargas, M. & Ortiz-Monasterio, I. (2010). Genotype × Environment interaction for zinc and iron concentration of wheat grain in eastern Gangetic plains of India. *Field Crops Research*, 116(3): 268-277.
- Jungk, A. & Claassen, N. (1997). Ion Diffusion in the Soil-Root System. *Advances in Agronomy*, 61: 53-110.
- Lata-Tenesaca, L., Villaseñor-Ortiz, D. & Chabla-Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de frijol. *Universidad y Sociedad*. 9(1): 20-27.
- Masa, M., Tana, T. & Ahmed, A. (2017). Effect of plant spacing on yield and yield related traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties at Areka, Southern Ethiopia. *Plant Biology & Soil Health*, 4: 1-13.
- Meseret, T. & Amin, M. (2014). Effect of Different Phosphorus Fertilizer Rates on Growth, Dry Matter Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Agricultural Research*, 2(3): 88-92.
- Mweetwa, A.M., Chilombo, G. & Gondwe, B.M. (2016). Nodulation, nutrient uptake and yield of common bean inoculated with *Rhizobia* and *Trichoderma* in an Acid Soil. *Journal of Agricultural Science*, 8(12): 61-70.
- NOM-021-RECNAT-2000. Aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales de Suelos y Costas. Norma Oficial Mexicana. 227 pp.
- Pagani, A. & Mallarino, A.P (2012). Soil pH and crop grain yield as affected by the source and rate of lime. *Soil Science Society of America Journal*, 76(5): 1877-1886.
- Pergoraro, R.F. (2014). Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum. *Revista Caatinga*, 27(3): 41-52.
- Peres-soratto, R., Fernandes, A.M., Dos Santos, L.A. & Gomes A.L. (2013). Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I- Macronutrients. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 37: 1027-1042.

- Quintana-Blanco, Wilmer Alejandro., Pinzón-Sandoval, Elberth Hernando & Torres, David Fernando. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*phaseolus vulgaris* l.) cv ica cerinza, bajo estrés salino. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 19(1): 87-95.
- Sadras, V.O. (2006). The N: P stoichiometry of cereal, grain legume and oilseed crops. Field Crops Research, 95: 13-29.
- Sanchez, C.A. & Doerge, T.A. (1999). Using nutrient uptake Patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables. Hortechonology, 9(4): 601-606.
- Urrea, C.A., Yonts, C.D., Lyon, D. J. & Koehler, A.E. (2009). Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in western Nebraska. Crop Science, 49: 2005-2010.
- Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y. & Singh, R.P. (2014). Bio-fortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. Journal of Cereal Science, 59(3): 365-372.
- Vieira, N.M.B., Andrade, M.J.B., Carvalho, L.P. & Rezende, P.M. (2009). Accumulation of macronutrients by different common bean cultivars grown in different plant densities in no-tillage crop system. Annals. Rep. Bean. Improvment. Cooperative, 52: 132-133.
- Westermann, D.T., Teran, H., Muñoz-Perea, C.G. & Singh, S.P. (2011). Plant and seed nutrient uptake in common bean in seven organic and conventional production systems. Canadian Journal of Plant Science, 91: 1089-1099.
- Zanão-Júnior, Luiz Antônio., Anderson, Rosa., Pereira, Natalia., Bissolli-Pescador, Rafael & Aparecida de Andrade, Edna. (2018). Yield and nutrient uptake of common bean cultivars as affected by plant population and growing season. Journal of Agricultural Science, 10(10): 308-315.

Patogenicidad de aislamientos identificados en el complejo de especies de *Fusarium oxysporum* a *Capsicum* sp.

Carmen Medina-Mendoza^{1,*}, Ernestina Valadez-Moctezuma²

Resumen. El cultivo de chile (*Capsicum* sp.) es de gran importancia a nivel mundial y ha experimentado un aumento en la producción en los últimos años. Cinco especies han sido domesticadas, de las cuales cuatro se cultivan en México: *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens*. Sin embargo, la producción se ha visto afectada por el patógeno *Fusarium oxysporum*, que causa la marchitez. El objetivo de este trabajo fue evaluar la patogenicidad de representantes del Complejo de Especies de *Fusarium oxysporum* (FOSC) en diferentes cultivares del género *Capsicum*. Se utilizaron cuatro aislamientos identificados mediante secuencias genéticas como pertenecientes a FOSC, aislados de garbanzo y chile manzano. Las cepas se inocularon en siete cultivares de chile (*Capsicum annuum* y *Capsicum pubescens*). Los resultados mostraron que los aislamientos de FOSC son patógenos para el cultivo de chile, y se evaluó la severidad del daño, que varió entre los cultivares. Se identificó una especie susceptible y una resistente a las cepas de FOSC utilizadas. Por lo tanto, la interacción entre *Fusarium oxysporum* y *Capsicum* es un modelo útil para estudiar los mecanismos de virulencia e identificar las variantes en plantas susceptibles y resistentes.

Palabras clave: Incidencia, Severidad, Patogenicidad, Interacción Planta-Patógeno.

Abstract. The cultivation of chili peppers (*Capsicum* sp.) is of great importance worldwide and has seen an increase in production in recent years. Five species have been domesticated, four of which are cultivated in Mexico: *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, and *C. pubescens*. However, production has been affected by the pathogen *Fusarium oxysporum*, which causes wilt. The objective of this study was to evaluate the pathogenicity of representatives of the *Fusarium oxysporum* Species Complex (FOSC) in different cultivars of the genus *Capsicum*. Four isolates, previously identified through genetic sequences as belonging to FOSC and isolated from chickpea and manzano chili crops, were used. The strains were inoculated into seven chili cultivars (*Capsicum annuum* and *Capsicum pubescens*). The results showed that the FOSC isolates are pathogenic to chili crops, with varying damage severity among the cultivars. One susceptible species and one resistant species to the FOSC strains used were identified. Therefore, the interaction between *Fusarium oxysporum* and *Capsicum* serves as a useful model to study virulence mechanisms and identify variants in susceptible and resistant plants.

Keywords: Protected Agriculture, Husk Tomato, Fertigation.

1. Introducción

El chile (*Capsicum* sp.) es ampliamente cultivado y usado alrededor del mundo. En México se cultivan 4 de las 5 especies domesticadas de *Capsicum* (*C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens*); y se ha considerado centro de origen, domesticación y diversidad de *C. annuum* y *C. frutescens* (Eshbaugh, 1993). México es el país que presenta la mayor variabilidad de formas cultivadas y

¹Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital, Ixmiquilpan, Hidalgo, México.

² Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de Horticultura, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: cmedina@utvm.edu.mx

silvestres de las cuatro especies de *Capsicum* antes mencionados, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos y la producción ha incrementado en un 22% desde el 2000 (FAOSTAT, 2008). Sin embargo, el daño de marchitez causado por *Fusarium oxysporum* en este cultivo, comprende una serie de efectos que reducen el crecimiento, desarrollo del fruto y calidad, amenazando la producción (Roncero et al., 2003; Li et al., 2015). Este hongo entra al sistema vascular vía los tejidos de la raíz y subsecuentemente usa los vasos del xilema como avenida para la rápida colonización de la planta, mostrando el síntoma característico de marchitez (Dubey et al., 2007; Gordon, 2017). El control de *F. oxysporum* ha sido difícil, debido a que este sobrevive en el suelo por muchos años y los fungicidas comerciales usados para controlar el daño son muy peligrosos para el ambiente (Dekker, 1976).

Las interacciones entre plantas y patógenos ha sido estudiado en diferentes cultivos y clasificadas en incompatibles y compatibles. En una interacción incompatible una planta es resistente ya que emplea mecanismos de defensa contra el ataque del patógeno y evita el desarrollo del daño (Batista et al., 2011; Li et al., 2015). La generación de señales locales, activación de la respuesta hipersensible, acumulación de pared celular, síntesis de fitoalexinas, expresión de proteínas relacionadas a patogénesis e inducción de resistencia sistémica son activadas como mecanismos de defensa (Dickinson, 2003). La primera línea de defensa activa es constituida por la pared celular que sufre varios cambios estructurales y químicos. Las alteraciones que sufre la pared celular comprenden la deposición de calosa, ligninas, compuestos antimicrobianos, entrecruzamiento de proteínas de la pared celular y la explosión oxidativa (Wang et al., 2005; Devey & Galiana, 2007; Gordon, 2017). La acumulación de materiales adicionales en las paredes celulares alrededor del área de infección previene la expansión del patógeno y simultáneamente protege a los tejidos de las plantas (Schmelzer, 2002; Van Baarlen et al., 2007).

Por otro lado, en una interacción compatible una planta susceptible es infectada por un patógeno adaptado, incluyendo el desarrollo del daño, lo que comúnmente conduce a la muerte. Estudios demuestran que en algunas plantas la reacción de defensa puede ser retrasada o el patógeno puede emplear mecanismos para inhibir la defensa (Desender et al., 2007; Rinaldi et al., 2007; Geiser et al., 2013). La comprensión de las interacciones planta-patógeno incluye respuestas de defensa que pueden conducir al desarrollo de nuevas estrategias para el control de enfermedades de las plantas (Van Baarlen et al., 2007; Li et al., 2015). Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó la patogenicidad de representantes del complejo de especies de *Fusarium oxysporum* en cultivares de chile (*Capsicum annuum* y *Capsicum frutescens*) para identificar la susceptibilidad y tolerancia.

2. Materiales y Métodos

Aislamiento de cepas. Se utilizaron cuatro aislamientos identificados dentro del complejo de especies de *Fusarium oxysporum*, de las cuales, dos cepas fueron aisladas de plantas enfermas de chile manzano (*Capsicum pubescens*) (CPC1 y CPC2) con síntomas de marchitez en los invernaderos de la Universidad Autónoma Chapingo, México y dos cepas (MM25 y GVS48) aisladas de plantas de garbanzo de la región del Bajío, México con síntomas de fusariosis (marchitez y amarillamiento) (Luna et al., 2004).

Siembra de materiales. Se utilizaron siete cultivares de chile (Cuadro 1), las semillas se sembraron en charolas de unicel con sustrato peat-moss:agrolita (2:1) en diferentes fechas con la finalidad de obtener plántulas con características adecuadas para el trasplante y realizar la inoculación

al mismo momento. Después de la germinación y durante todo el experimento se regaron las plántulas cada tercer día con la solución nutritiva Steines 50%. Se utilizó un diseño completamente al azar con 10 repeticiones en el ciclo P-V y O-I 2014.

Cuadro 1. Cultivares de *Capsicum* empleados en la inoculación con *Fusarium*

Cultivar de chile	Nombres científicos	Variedad	Origen	Días a germinación	1 ^{ra} hoja verdadera
Manzano	<i>C. pubescens</i>	Josh 3x4	Chapingo, Mex.	10	25
Jalapeño	<i>C. annuum</i>	H952	Comercial	8	20
Serrano	<i>C. annuum</i>	Aqtex	Comercial	8	20
Piquín	<i>C. annuum</i>	Puebla	Puebla	15	30
CM334	<i>C. annuum</i>	Montecillo	Colpos	12	23
Huacle	<i>C. annuum</i>		Colpos	10	22
Yolowonder	<i>C. annuum</i>		Colpos	9	19

Preparación de inóculo. Una vez purificados y activadas las cepas, se sub-cultivaron en medio de cultivo PDA (Papa-dextrosa-Agar) e incubaron a 24 °C durante dos semanas y a 12 horas de luz para inducir la formación de macro y microconidios. Posteriormente se realizó el conteo de estructuras reproductivas, agregando agua destilada estéril a las cajas Petri y raspando la superficie del medio con una espátula estéril para desprender los conidios, se obtuvo así una suspensión y se filtró con una gasa estéril para remover las partículas de restos de agar y micelio. El conteo de conidios se realizó empleando un microscopio y hematocitómetro (Marienfeld, Germany) y se realizaron las diluciones correspondientes hasta obtener 1×10^6 conidios/mL.

Inoculación. La inoculación se realizó cuando las plántulas tenían aproximadamente 4 hojas verdaderas, se sacaron cuidadosamente de las charolas de germinación, se lavaron las raíces para retirar los excesos de sustrato y se cortaron las puntas de las raicillas para que las heridas sirvieran como entrada del hongo. Posteriormente las raíces, se sumergieron durante 6 horas en las suspensiones del inóculo (1×10^6 conidios/ml). Transcurrido el tiempo se trasplantaron las plántulas en macetas individuales con sustrato estéril (Peat most-agrolita) en la relación 2:1 para la posterior evaluación del daño.

Análisis de datos. Se tomaron los datos de incidencia (número de plantas enfermas) por unidad experimental a partir del momento en que aparecieron los síntomas. Las plantas que sobrevivieron se extrajeron completas a los 30 días del trasplante y se evaluó la severidad mediante la siguiente escala: 1=sin lesiones en raíz, corola o tallo (RCT); 2=menos de cinco lesiones en la raíz y sin obscurecimiento en RTC; 3=cinco a 10 lesiones radicales y leve obscurecimiento en RTC; 4=más de 10 lesiones con obscurecimiento en RTC; 5= pudrición del rizoma o muerte de la planta (Schreuder & Lamprecht, 1995). Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza no paramétrico basado en rangos y de acuerdo con la metodología descrita por Eskridge (1995). Las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($p = 0.05$). Adicionalmente, los promedios totales de incidencia o severidad se compararon mediante la prueba de t, con los promedios obtenidos. Para efectuar los análisis se utilizó el paquete SAS 9.0 (2002).

3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en las pruebas de patogenicidad de las cepas de *Fusarium* en los diferentes cultivares de *Capsicum* permitió identificar el daño en diferentes intensidades de acuerdo a cada especie. De manera general la enfermedad se caracterizó por la aparición de los síntomas de marchitamiento, acompañada del amarillamiento parcial de las hojas, lo cual ocasionó una disminución en el crecimiento; en estados iniciales las hojas se presentaron cloróticas, además de una coloración café-rojizo en los tallos.



Figura 1. Daño por *Fusarium oxysporum* en plántulas de *Capsicum*: (a) Piquín a los 25, 15 y 5 dpi de izquierda a derecha con la cepa MM25, (b) Piquín a los 5, 15 y 25 dpi de izquierda a derecha con la cepa GSV48, (c) testigo.

En la Figura 1 se pueden observar algunos de los síntomas como: amarillamiento, tallos café-rojizo y disminución en el crecimiento de raíz y hojas en plántulas de chile, así como la comparativa con CM334 sin presencia de daño al identificarse como resistente.



Figura 2. Síntomas de marchitez y amarillamiento en plántulas de Huacle, Yelowonder, jalapeño, manzano y serrano (de izquierda a derecha) a los 5 dpi.

El porcentaje de daño producido por representantes del complejo de *Fusarium oxysporum* presentó diferencias entre los 7 cultivares evaluados (Cuadro 1). Los aislamientos GSV48 y MM25, presentaron

los valores más altos de incidencia de manera general en todos los cultivos (Figura 1). Los valores de incidencia y severidad presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), destacando a Piquín como susceptible con valores de 73 al 98 % de daño y a CM334 como resistente con valores de 10 a 15 %. La severidad fue mayor en Piquín con 88 % y menor en CM334 con valor de 12 %.

El resto de los cultivares presentaron valores intermedios con respecto a los de Piquín y CM334 antes mencionados (Cuadro 2 y Figura 2). El porcentaje de daño de acuerdo al ciclo de cultivo fue mayor para otoño-inverno de 82.43 % y de 49.13 % para primavera-verano. El síntoma característico que presentaron las plantas susceptibles fue: hojas cloróticas, enanismo, marchitamiento y muerte de la planta, como ha sido descrito por Garcés et al. (2001) y Gordon, 2017, mientras que en las plantas clasificadas como resistentes la clorosis fue más leve o sin síntoma. Gocmen & Aback (2006) reportaron 6 accesiones de *Capsicum annum* resistentes a *Fusarium* de 25 accesiones evaluadas con resistencia a *Phytophthora capsici* y algunos autores han reportado moderada resistencia a *Fusarium* (Kelaiya et al., 2000; Gordon, 2017). El criollo de Morelos 334 ha sido identificado con altos niveles de resistencia a diferentes patógenos, incluyendo *Phytophthora capsici*, virus moteado del chile y a nematodos, por lo que este cultivar ha sido extensamente usado para investigaciones y mejoramiento (Kim et al., 2014; Geiser et al., 2013).

Cuadro 2. Incidencia y severidad del daño de las cepas del complejo de especies de *Fusarium oxysporum* en chile

Incidencia				Cultivares			
Aislamiento	Manzano	Jalapeño	Serrano	Piquín	CM334	Huacle	Yolo wonder
GSV48	68.36 a	62.00 a	59.63 a	98.33 a	12.89 a	69.53 a	55.00 a
MM25	65.86 a	62.23 b	59.38 b	95.32 a	13.47 a	65.84 a	59.24 a
CPC1	50.00 a	42.00 c	52.46 b	73.23 b	10.52 a	38.34 b	52.00 a
CPC2	35.00 b	49.59 c	38.73 c	76.65 b	15.27 a	40.65 b	52.87 a
Severidad	78.69 a	60.19 b	61.45 b	88.33 b	12.02 b	40.22 c	65.10 b

Análisis de varianza y pruebas de Tukey ($p < 0.05$). Letras diferentes presentan diferencias significativas.

Cuando una planta es atacada por patógenos, un complejo de redes de mecanismos de defensa es activada para protección del daño. En las interacciones planta-microorganismos compatible (susceptible) e incompatible (resistente) las plantas responden secretando su propio set de proteínas. Estas proteínas relacionadas a patogénesis pueden causar daño directo invadiendo o jugando un rol de protección, por ejemplo, a través de la inhibición de enzimas de degradación de pared celular secretadas por patógenos (Van Loon & Van Strien, 1999; Gordon, 2017). Estudios han mostrado cambios en los niveles de expresión de las enzimas malato deshidrogenasa y dismutasa superoxidasa durante las interacciones compatible e incompatible (Mukherjee et al., 2009; Mandal et al., 2011; Li et al., 2015).

Las plantas tienen la capacidad de protegerse ante el ataque de infecciones fungosas y a otros factores bióticos y abióticos por medio de diferentes vías. Las plantas se defienden mediante el fortalecimiento físico de la pared celular a través de la lignificación, suberización y producción de varias proteínas relacionadas a patogénesis (PR) incluyendo las enzimas hidrolíticas quitinasa y β -1, 3-glucanasa que son muy importantes durante el ataque de patógenos (Ebrahim et al., 2011; Gordon,

2017). Identificar las variaciones genéticas entre especies susceptibles y tolerantes, conlleva a inducir la resistencia a fin de aumentar la eficacia y durabilidad de los principales genes de resistencia, lo anterior permitirá aportar herramientas para el manejo del marchitamiento ocasionado por *Fusarium* en un futuro (Li et al., 2015).

4. Conclusiones

Los aislamientos representantes del complejo de especies de *Fusarium oxysporum* tuvieron la capacidad de ocasionar daño en *Capsicum annuum* y *Capsicum pubescens*. Las cepas GSV48 y MM25 resultaron ser los más agresivos para todos los cultivares de *Capsicum*. La intensidad del daño fue diferente en los cultivares empleados por lo que fue posible identificar a Piquín como susceptible y a CM334 como resistente a las cepas utilizadas de *Fusarium oxysporum*, el resto de los materiales presentaron valores intermedios de incidencia y severidad. Por lo anterior, *F. oxysporum* puede utilizarse como un modelo útil para estudiar los mecanismos de virulencia e identificar las variantes en plantas susceptibles y resistentes.

Referencias Citadas

- Batista S., C., R., A. Borges S., B., R. Cabral S., C. N. Monteiro C., S. Henri D., M. Luícia H. 2011. Identification of sequences expressed during compatible black pepper—*Fusarium solani* f. sp. piperis interaction. *Acta Physiol Plant* 33: 2553–2560.
- Dekker J. 1976. Acquired resistance to fungicides. *Annu Rev Phytopathol* 14: 405–28.
- Desender S., D. Andrivon., F. Val. 2007. Activation of defence reactions in Solanaceae: where is the specificity? *Cell Microbiol* 9: 21–30.
- Develey R., M., P., E. Galiana. 2007. Resistance to pathogens and host developmental stage: a multifaceted relationship within the plant kingdom. *New Phytol* 175: 405–416.
- Dickinson M. 2003. *Molecular Plant Pathology*, BIOS Scientific Publishers, London, pp 145–95.
- Dubey S., C., M. Suresh B., Singh. 2007. Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris for integrated management of chickpea wilt. *Biol Contr* 40: 118–27.
- Ebrahim S., K. Usha., Singh B. 2011. Pathogenesis Related (PR) Proteins in Plant Defense Mechanism. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*. A. Méndez-Vilas (Ed.). 1043-1054.
- Eshbaugh W., H. 1993. Peppers: History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. In: Janick J, Simon JE, editors. *New crops*. New York, USA: Wiley pp. 132–139.
- Eskridge K. 1995. Statistical analysis of disease reaction data using nonparametric methods. *HortScience* 30(3): 478-480.
- FAOSTAT. 2008. *Agricultural production*.
- Garcés G., E., A. Orozco M., B. Rocío G., H. Valencia. 2001. *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. *Acta Biológica Colombiana* 6: 1-725
- Geiser DM, Aoki T, Bacon CW, Baker SE, Bhattacharyya MK, et al. 2013. One fungus, one name: defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstanding use. *Phytopathology* 103:400.
- Gordon Thomas R. 2017. *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*. 55: 23-39.
- Göçmen M., K. Abak. 2006. Determine the genotypes resistant to *Fusarium solani* in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Bahçe* 35: 1/2: 1-8.

- Kelaiya D., S., M. Parakhia, A. 2000. Screening of chilli varieties against *Fusarium* wilt. Gujarat Agricultural University Research Journal 25: 2 (101-102).
- Kim S., M. Park., S. Yeom., Y. Kim., J. Min L. 2014. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in *Capsicum* species. *Nature Genetics* 46:3(270-278).
- Luna P., A., H. V. Silva R., N. Marbán M., E. Valadez M. 2004. Variabilidad genética de *Fusarium oxysporum* Schlechtend F. sp. *ciceris* (Padwick) Matuo y K. Sato mediante PCR-RAPD'S en el Bajío México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 1(44-51).
- Li E, Wang G, Yang Y, Xiao J, Mao Z, et al. 2015. Microscopic analysis of the compatible and incompatible interactions between *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and cabbage. *Eur. Journal Plant Pathology*. 141:597–609
- Mandal S., K. Das R., S. Mishra. 2011. Differential occurrence of oxidative burst and antioxidative mechanism in compatible and incompatible interactions of *Solanum lycopersicum* and *Ralstonia solanacearum*. *Plant Physiology Biochemistry* 49: 117–123.
- Mukherjee A., K., S. Lev S. Gepstein A. Horwitz B. 2009. A compatible interaction of *Alternaria brassicicola* with *Arabidopsis thaliana* ecotype DiG: evidence for a specific transcriptional signature. *BMC Plant Biology* 9: 31.
- Rinaldi C., A. Kohler., P. Frey., F. Duchaussoy., N. Ningre., A. Couloux., P. Wincker., D. Le Thiec., S. Fluch., F. Martin., S. Duplessis. 2007. Transcript profiling of poplar leaves upon infection with compatible and incompatible strains of the foliar rust *Melampsora larici-populina*. *Plant Physiology* 144: 347–366.
- Roncero M., I., G., C. Hera., R. Ruiz M., G. Maceira F. I., M. Madrid P., Z. Caracuel., F. Calero., J. Delgado J., et al. 2003. *Fusarium* as a model for studying virulence in soilborne plant pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 62: 87–98.
- Schmelzer E. 2002. Cell polarization, a crucial process in fungal defence. *Trends Plant Sciences* 7(9):411-415.
- Schreuder W., Lamprecht S., C. 1995. Pathogenicity of three *Fusarium* species with asparagus in South Africa. *Plant Disease* 79: 177-181.
- Van B., P., J. Woltering E., M. Staats., J. Van Kan A., L. 2007. Histochemical and genetic analysis of host and non-host interactions of *Arabidopsis* with three *Botrytis* species: an important role for cell death control. *Molecular Plant Pathology* 8: 41e54
- Van L., L., C. and E. Van S., A. 1999. The families of pathogenesisrelated proteins, their activities, and comparative analysis of PR-1 type proteins. *Physiol. Molecular Plant Pathology* 55: 85–97.
- Wang D., N. Weaver D., M. Kesarwani., X. Dong. 2005. Induction of protein secretory pathway is required for systemic acquired resistance. *Science* 308(5724): 1036–1040.

Impacto en el contenido de lípidos en microalgas marinas (*Nannochloropsis* sp.) cultivadas en agua residual acuícola sometidas a estrés osmótico

Regina M. González-Balderas¹, Ruby Valdez-Ojeda^{1*}, Febe Estefany Be-Pech¹, Carlos Rosas-Vázquez², Cristina Carrillo-Yam¹, Iveth Gabriela Palomino-Albarrán²

Resumen. La biomasa de microalgas presenta ventajas sobre otros tipos de biomasa debido a su rápida obtención, ya que las microalgas tienen una tasa de crecimiento de 0.69 por día y capturan 10 veces más CO₂ que las plantas superiores. Además, pueden aplicarse a la biorremediación de aguas residuales, removiendo eficazmente nitrógeno, fósforo y compuestos orgánicos para transformarlos en biomasa. Por lo tanto, son una alternativa conveniente para la producción de biocombustibles beneficiosos para el medio ambiente. Las microalgas sintetizan carbohidratos y lípidos, que pueden aprovecharse para diversos propósitos. Para producir biocombustibles a partir de microalgas, es necesario seleccionar especies productoras de lípidos e inducir altos contenidos lipídicos mediante variaciones en las condiciones de cultivo. La intensidad de la luz, temperatura, pH, salinidad y el suministro de CO₂, nitrógeno y fósforo, alteran la composición bioquímica de la biomasa, especialmente el contenido de lípidos. En el presente estudio, se evaluó el efecto del estrés salino en el contenido de lípidos de microalgas marinas (*Nannochloropsis* sp.) cultivadas en agua residual acuícola. Los resultados indicaron que la máxima concentración celular obtenida después de 16 días de cultivo usando agua residual acuícola de pulpo en cautiverio como medio fue de 197 ± 19 mg/L, con una remoción de $98.2 \pm 0.2\%$ de P-PO₄³⁻ y $56.4 \pm 5\%$ de N-NO₃⁻, lo que indica que es un medio adecuado para *Nannochloropsis* sp. Además, el contenido de lípidos aumentó de 6.3 a 114 g/kg de biomasa al incrementar la salinidad del medio de 20 a 40 g/L de NaCl.

Palabras clave: Microalgas Marinas, Estrés Osmótico, Agua Residual Acuícola.

Abstract. Microalgal biomass has advantages over other types of biomass due to its rapid production, with microalgae having a growth rate of 0.69 per day and capturing 10 times more CO₂ than higher plants. Additionally, microalgae can be applied to the bioremediation of wastewater, as they can effectively remove nitrogen, phosphorus, and organic compounds, transforming them into biomass. Therefore, they are a convenient alternative for producing environmentally beneficial biofuels. Microalgae synthesize molecules like carbohydrates and lipids, which can be used for various purposes. To produce biofuels from microalgae, it is necessary to select lipid-producing species and induce high lipid contents through variations in cultivation conditions. Light intensity, temperature, pH, salinity, and the supply of CO₂, nitrogen, and phosphorus alter the biochemical composition of the biomass, especially lipid content. In this study, the effect of saline stress on the lipid content of marine microalgae (*Nannochloropsis* sp.) cultivated in aquaculture wastewater was evaluated. The results indicated that the maximum cell concentration obtained after 16 days of cultivation using captive octopus aquaculture wastewater as a medium was 197 ± 19 mg/L, with a removal of $98.2 \pm 0.2\%$ of P-PO₄³⁻ and $56.4 \pm 5\%$ of N-NO₃⁻, indicating that it is a suitable medium for *Nannochloropsis* sp. Furthermore, the lipid content increased from 6.3 to 114 g/kg of biomass when the medium salinity was increased from 20 to 40 g/L of NaCl.

¹Laboratorio de Biología Molecular, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Sierra Papacal, Yucatán, México.

²Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación SISAL, Facultad de Ciencias, Sisal, Yucatán, México.

*Autor para correspondencia: regis17_25@hotmail.com

Keywords: Marine Microalgae, Osmotic Shock, Aquaculture Wastewater.

1. Introducción

La biomasa de microalgas es considerada como una fuente renovable de energía, por las ventajas que presenta sobre otros tipos de biomasa como su corta tasa de crecimiento celular ($\mu=0.69/\text{día}$) y que capturan 10 veces más CO_2 que las plantas superiores (Chisti, 2007). Por lo tanto, es considerada como la alternativa más económica para la producción de biocombustibles en beneficio del medio ambiente. Además, las microalgas tienen capacidad de remoción de nutrientes, por lo que, para su cultivo pueden emplearse aguas residuales municipales, lixiviados de residuos sólidos urbanos, aguas residuales acuícolas, etc. Las aguas residuales acuícolas, por ejemplo, contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos que causan eutrofización, daños a los ecosistemas costeros y eventualmente afectaciones a la biodiversidad (Khan et al., 2018). En este sentido, el tratamiento de agua residual acuícola mediante microalgas es una alternativa atractiva para producir biomasa y reducir la carga de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) (Sacristán de Alva et al., 2018). Por lo que el uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales acuícolas tiene un alto impacto ya que actualmente la acuicultura es el principal sector de producción de alimentos en el mundo con un crecimiento anual promedio de 3.2%. Esta reportado que desde el año 2014 el consumo de pescado de piscifactoría superó el consumo de pescado silvestre (FAO, 2016). Esto se debe al agotamiento de la población silvestre (FAO, 2017), por lo tanto, la acuicultura se reconoce como el principal contribuyente a los productos pesqueros para consumo humano.

Por otra parte, las microalgas sintetizan moléculas como carbohidratos y lípidos que pueden ser transformados en biocombustibles. Sin embargo, el contenido en lípidos varía de especie a especie, por lo que su apropiada selección es una de las alternativas para lograr una producción eficiente de lípidos (Khan et al., 2018). Así también lo es la optimización en la variación de condiciones de cultivo (Minhas et al., 2016) tales como intensidad lumínica, temperatura, pH, salinidad, CO_2 , nitrógeno y fósforo (Xin et al., 2010). Los cambios de salinidad en el medio de cultivo incrementan la concentración de lípidos (Ho et al., 2014), debido a que esto ocasiona un incremento en especies reactivas de oxígeno (ROS) (Chokshi et al., 2015), lo cual deriva en la acumulación de lípidos. En este sentido, la adición o remoción de NaCl del medio de cultivo al final de la fase logarítmica induce estrés osmótico en las células microalgas lo cual puede provocar aumento de lípidos (Yang et al., 2014). Esta ampliamente reportado en la literatura que el estrés osmótico puede tener efectos significativos sobre la composición bioquímica y el crecimiento de las microalgas (Pandit et al., 2017). Por ejemplo, *Parachlorella kessleri* cultivada en condiciones de estrés salino, derivó en la acumulación de lípidos y compuestos antioxidantes (You et al., 2019).

De forma similar que, en las plantas superiores, en las microalgas la biosíntesis de triacilglicéridos (TAG) está mediada principalmente por dos vías: la vía Kennedy dependiente de acetyl-CoA y la vía independiente de acetyl-CoA (Li-Beisson et al., 2015). En la vía dependiente de acetyl-CoA, la producción de TAG se lleva a cabo en el retículo endoplásmico y está relacionada principalmente con el ensamblaje de TAG y la activación de ácidos grasos a través de acetyl-CoA como donante de grupo acilo. La vía independiente de acetyl-CoA está mediada principalmente por un fosfolípido diacilglicerol-aciltransferasa (PDAT) que puede utilizar múltiples lípidos como sustrato para la síntesis de TAG. Investigaciones recientes apuntan a que la síntesis celular de TAG inducida

por salinidad está mediada principalmente por una vía de Kennedy dependiente de acetyl-CoA (Yang et al., 2024).

Por estas razones, los objetivos del presente trabajo son: 1) evaluar el efecto de la salinidad en el contenido de lípidos de microalgas marinas del género *Nannochloropsis*; y 2) evaluar el cultivo de *Nannochloropsis* como tratamiento terciario al agua residual acuícola.

2. Materiales y Métodos

Cultivo de biomasa. Las microalgas marinas empleadas en este trabajo fueron identificadas como *Nannochloropsis* sp. por López-Rosales et al., (2020). Posterior a su cultivo en medio f/2, las microalgas se crecieron en agua residual del cultivo de pulpo (*Octopus maya*) para lo cual se evaluaron distintos volúmenes de agua residual: agua destilada (10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 y 60:40). El agua residual se obtuvo de las peceras del cultivo de pulpo en la Unidad Académica UNAM-Sisal cuya composición es 100.34 ± 0.058 mg/L de N-NO_3^- , 5.22 ± 0.11 mg/L de P-PO_4^{3-} , pH de 7.56 y $38 \pm 0.81\%$. El crecimiento óptimo de *Nannochloropsis* sp. fue obtenido en 50:50 cuya composición es 49 ± 0.38 mg/L de N-NO_3^- , 2.32 ± 0.12 mg/L de P-PO_4^{3-} , pH de 7.56 y $19.36 \pm 0.25\%$ (~ 20 g/L NaCl). Las condiciones de cultivo fueron luz continua a $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ proveído por luz blanca de 30 W, $25 \pm 2^\circ\text{C}$ por 16 días. Durante el cultivo se evaluó la producción de biomasa mediante el análisis de sólidos suspendidos totales (SST) reportado por la APHA (1992). La remoción de nutrientes se evaluó por duplicado (E1 y E2) midiendo la concentración (mg/L) de P-PO_4^{3-} y N-NO_3^- por métodos espectrofotométricos (APHA, 1992). Al término del tiempo de cultivo, se floculó la biomasa mediante cambio de pH usando NaOH 0.5 N (Rojo-Cabreras et al., 2016). Posteriormente la biomasa se centrifugó a 4000 rpm por 10 min (HERMLE Modelo Z 206 A), se retiró el sobrenadante y se lavó con agua destilada hasta eliminar la sal residual y tener una lectura de 0‰ de salinidad en el medio.

Estrés osmótico. La inducción de estrés osmótico se realizó de acuerdo a Chae et al., (2015). A las células suspendidas en agua destilada (0‰), se añadió 0, 10, 30 y 40 g/L de NaCl correspondiente a 0, 8, 27 y 36 ‰. Las condiciones de incubación fueron las siguientes: luz continua a $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 2, 4 y 6 días. Al término se recuperó la biomasa por centrifugación (HERMLE Modelo Z 206 A) a 4000 rpm por 10 min, se retiró el sobrenadante y se lavó con agua destilada hasta eliminar la sal residual. Posterior, la biomasa se liofilizó (LABCONCO FREEZONE) a -56°C y 0.100 mBar por 72 h, al término se resguardaron hasta la extracción de lípidos. Se llevaron a cabo por lo menos dos réplicas (E1 y E2) de cada experimento.

Extracción de lípidos. La extracción de lípidos se llevó a cabo por duplicado (E1 y E2) mediante el método de Folch et al. (1957) como sigue: se pesaron 38 mg de biomasa seca y se mezclaron con cloroformo-metanol 2:1 (v/v). La solución se incubó a 40°C y 150 rpm durante 3 horas. Para separar la biomasa residual del extracto se empleó un embudo de separación de 125 mL. La fase líquida se separó y evaporó, el extracto lipídico se disolvió en cloroformo, y se colocó en viales a peso constante. La evaporación del cloroformo se realizó dentro de una campana de extracción de humos durante 24 horas. Una vez evaporado el solvente los viales se pesaron.

Cromatografía en capa fina (CCF). Para determinar cualitativamente la extracción de lípidos, los compuestos extraídos se analizaron mediante CCF empleando como fase estacionaria una placa de gel sílice Merk® de 4 cm de ancho y 6 cm de largo. Para ello, los extractos se diluyeron en cloroformo y con ayuda de capilares de vidrio cada muestra se depositó en la línea base de la placa, considerando

un espacio aproximado de 0.5 cm entre muestras. La fase móvil consistió en una mezcla de hexano: acetato de etilo: ácido acético 9:1:0.1 (V/V). Las placas resultantes se revelaron por inmersión en una solución de ácido fosfomolibdico. La placa se secó con un papel secante y se calentó para revelar en tonos azul oscuro la presencia de compuestos. Se usó aceite vegetal comercial como control para detectar la presencia de triglicéridos (TAG).

3. Resultados y Discusión

Nannochloropsis sp. creció en los volúmenes evaluados de agua residual: agua destilada (10:90, 20:80, 30:70, 40:60 y 50:50). Sin embargo, el objetivo del trabajo es evaluar el agua residual acuícola como medio de cultivo para el crecimiento y producción de biomasa, por lo que se usó la mezcla con mayor proporción de agua residual 50:50, en la que *Nannochloropsis* sp. mostró crecimiento óptimo (Figura 1). La composición de 50:50 es la siguiente: 18‰, 49 ± 0.38 mg/L de N-NO_3^- y 2.32 ± 0.12 mg/L de P-PO_4^{3-} .

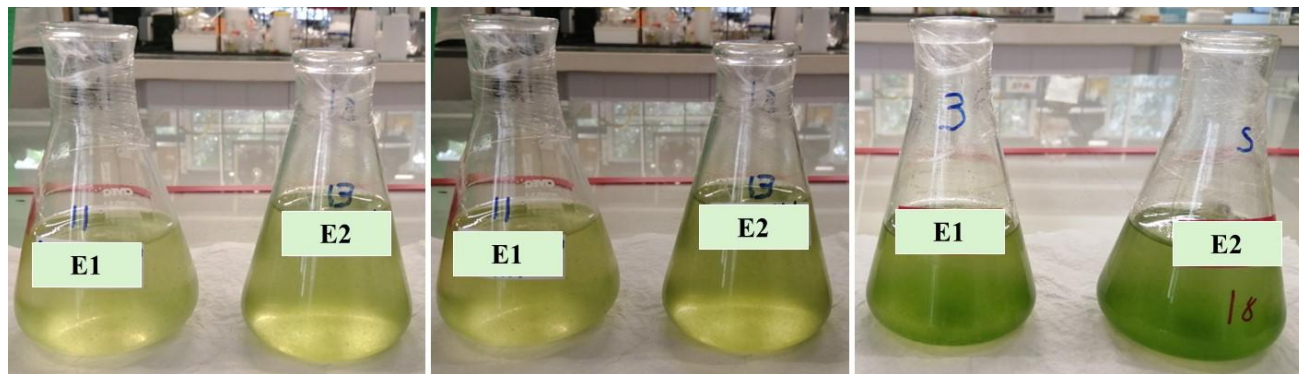


Figura 1. Cultivo de *Nannochloropsis* sp. en agua residual: agua destilada (50:50) a los A) 0, B) 5 y C) 12 días de cultivo. Las letras E1 y E2 son los duplicados para los días evaluados.

Cabe señalar que en la proporción 60:40 no se observó incremento en la concentración celular de *Nannochloropsis* durante los primeros 5 días de cultivo. Posterior al día 5 de cultivo, las células cambiaron de color (verde a amarillo) y al día 8 de cultivo se observó muerte celular. Esto puede deberse a la presencia en el agua residual, de compuestos o iones tóxicos para las microalgas, puesto que la concentración de iones disueltos en el medio incrementa conforme aumenta el volumen de agua residual en el medio. Este se debe a que el agua de mar tiene mayor fuerza iónica y capacidad tampón que el agua dulce, por lo que puede modificar la biodisponibilidad de los compuestos (Moffett et al., 1987).

El crecimiento en agua residual: agua destilada 50:50 de *Nannochloropsis* sp. se observa en la figura 2, en la que se observa una fase de adaptación de 2 días; al día 3 de cultivo inició la fase exponencial incipiente y sostenida hasta el día 10 de cultivo, en el que inició la fase estacionaria mantenida hasta el día 14 de cultivo. Sin embargo, en el día 15 se observó nuevamente el crecimiento incipiente del cultivo, el cual se mantuvo hasta el día 16, debido a que la concentración de P en el medio era muy baja. Durante el crecimiento del cultivo, se observa la remoción o consumo de la fuente de N y P, siendo más evidente a partir del día 7 de cultivo, en comparación con los días iniciales. A partir del día 8 y hasta el día 16, se observa el mantenimiento en el consumo de N y P. Aunque en el

caso del P, se consumió totalmente. El cultivo de *Nannochloropsis* sp., presentó al día 16 de cultivo 197 ± 19 mg/L de biomasa. La remoción de N-NO_3^- fue de $56.4 \pm 5\%$ y de P-PO_4^{3-} fue de $98.2 \pm 0.2\%$.

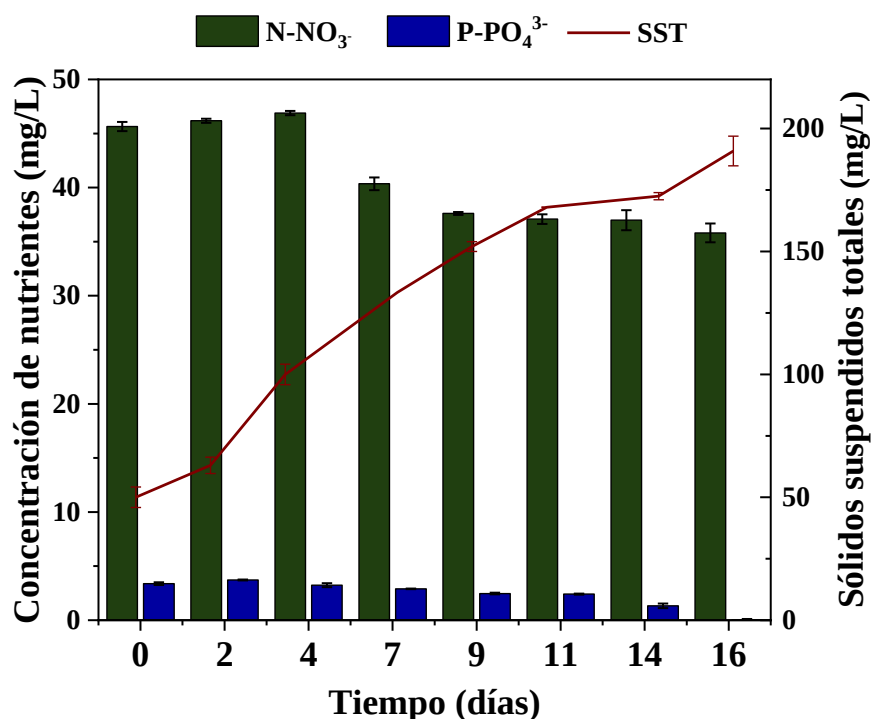


Figura 2. Curva de crecimiento y remoción de nutrientes de *Nannochloropsis* sp. cultivada en agua residual acuícola: agua destilada (50:50). La desviación estándar fue calculada con base en al menos dos replicas.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Perales-Pérez et al. (2023) empleando un consorcio microalga-bacteria (*Tetraselmis chui* - *Vibrio* sp.) para la remoción de nutrientes en un sistema de recirculación de agua residual del cultivo de peces marinos. El sistema en semicontinuo removió 94.5% de N y 99% de P. La biomasa generada fue de 44 ± 9 mg SST/L. Este valor es menor a la cantidad de biomasa obtenida en este trabajo. Esto se debe a que las concentraciones iniciales de N y P (20.13 mg/L de NT y 1.2 mg/L de PT) en el agua residual empleado por Perales-Pérez et al. (2023), son más bajas que las empleadas en este trabajo (49 ± 0.38 mg/L de N-NO_3^- y 2.32 ± 0.12 mg/L de P-PO_4^{3-}). Concentraciones apropiadas de N y P en el agua residual son importantes ya que estos son macronutrientes esenciales para el crecimiento de las microalgas y su disponibilidad tiene un fuerte impacto en el metabolismo celular. El nitrógeno es fundamental para la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, mientras que el fósforo juega un rol importante en los procesos celulares que implican la transferencia de energía al ser componente del adenosíntrifosfato (ATP) y en la biosíntesis de moléculas esenciales como el ADN y el ARN. Además, el fósforo es parte integral de los fosfolípidos, lípidos importantes en las membranas celulares (Beltrán-Rocha et al., 2017).

En otro estudio, Sacristán de Alva et al. (2018) reportaron la obtención de 1.4 g/L de biomasa de *Nannochloropsis* sp. cultivada por 20 días en agua residual acuícola (45 mg/L de NO_3^- , 30 mg/L de

NH_4^+ y 17 mg/L de PO_4^{3-}), en los cuales removi6 90.7% de N y 98.3% de P. Estos valores son superiores a los obtenidos en este trabajo. Esto nuevamente se puede atribuir a la concentraci6n inicial de nutrientes en el agua residual, la cual es 35% m6s alta que la empleada en el presente estudio. *Nannochloropsis* sp. asimila la fuente nitrogenada de NO_3^- y NH_4^+ . Esto indica que la especie *Nannochloropsis* sp. puede emplearse para el tratamiento de aguas residuales ricas en amonio. El NH_4^+ es la fuente nitrogenada de f6cil asimilaci6n por microalgas, debido a que se incorpora directamente a los amino6cidos por condensaci6n con glutamato (Beltr6n-Rocha et al., 2017).

Por otra parte, el estr6s osm6tico al que fue sometida *Nannochloropsis* sp. afect6 positivamente su contenido en l6pidos (Figura 3). El estr6s osm6tico bajo (0 y 10 g/L de NaCl) provoc6 que el contenido de l6pidos incrementara conforme al tiempo de inducci6n (2, 4 y 6 d6as), por lo que al d6a 6 se obtuvo el mayor contenido de l6pidos ($11.3 \pm 0.16\%$). El mismo efecto se observ6 con estr6s salino alto (30 g/L de NaCl), en el que el contenido de l6pidos increment6 con respecto al tiempo, debido a que en el d6a 6, el contenido de l6pidos increment6 a $11.09 \pm 0.64\%$ en comparaci6n con el blanco (6.3% de l6pidos).

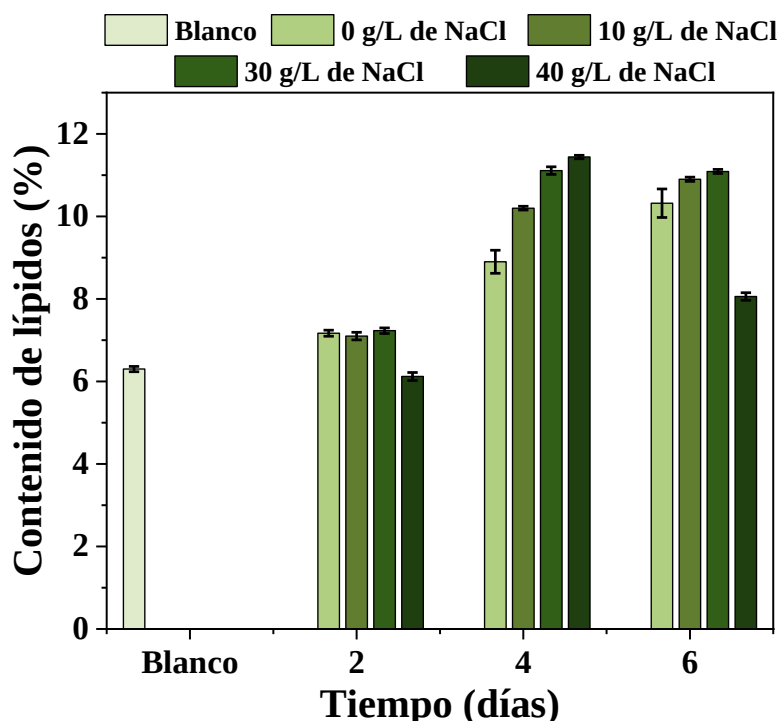


Figura 3. Contenido de lípidos (%) en biomasa de *Nannochloropsis* sp. inducida a estr6s osm6tico a 0, 10, 30 y 40 g/L de NaCl por 2, 4 y 6 d6as. La desviaci6n est6ndar fue calculada con base en al menos dos r6plicas.

Por otro lado, el estr6s osm6tico con 40 g/L de NaCl, mostr6 un efecto variable en el contenido de l6pidos. En el d6a 2, el contenido lip6dico se mantuvo en $\sim 6\%$, similar al blanco. En el d6a 4, el contenido increment6 a $11.11 \pm 0.37\%$ en comparaci6n con el blanco. Pero en el d6a 6, disminuy6 por lo que se obtuvo $8.05 \pm 0.59\%$ de l6pidos.

Los resultados obtenidos son consistentes con la literatura. Parsy et al., (2022) reporta la tolerancia máxima a la salinidad (hasta afectar el crecimiento) de distintas especies: *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis oceanica*, *Tetraselmis suecica*, *Picochlorum costavermella*, *Coccomyxa simplex* y *Synechococcus rubescens*, a 80 g/L. Particularmente *D. salina*, mostró tolerancia máxima a la salinidad más alta (230 g/L), mientras que la mostrada por *N. oceánica* fue de 81 g/L. Takagui et. al (2006), también reporta que el estrés salino en *Dunaliella tertiolecta*, derivaron en el incremento en la salinidad de 29 a 58 g/L de NaCl, lo cual representa 67% en contenido lipídico.

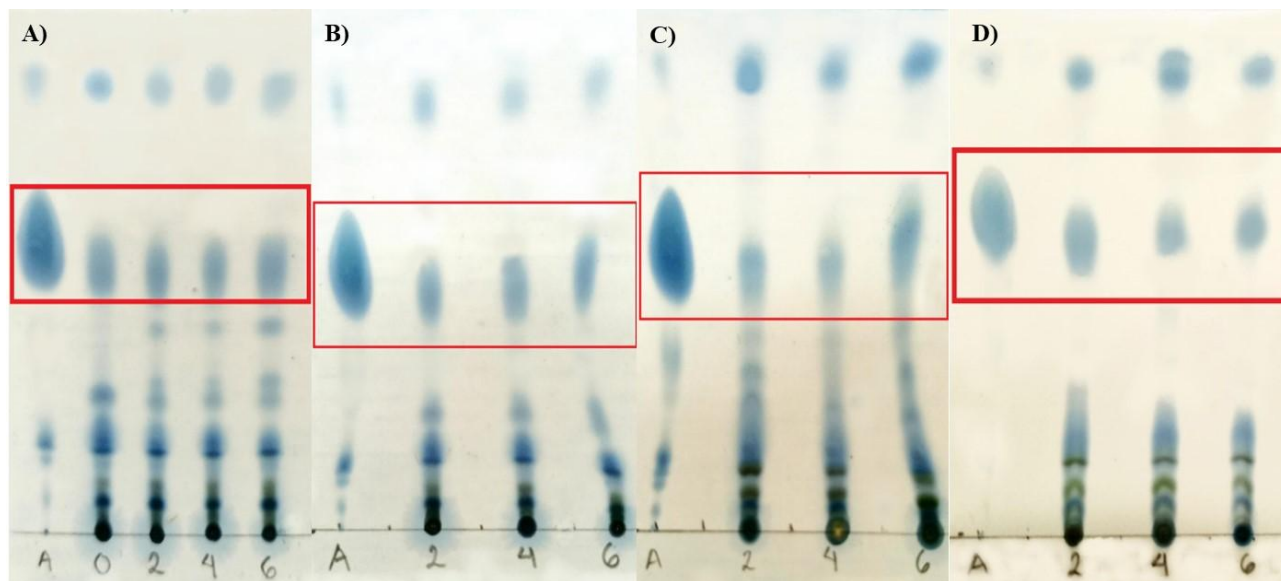


Figura 4. Cromatografía en capa fina de los extractos lipídicos obtenidos con A) 0 g/L de NaCl, B) 10 g/L de NaCl, C) 30 g/L de NaCl y D) 40 g/L de NaCl, durante 0, 2, 4 y 6 días de inducción.

La cromatografía en capa fina (Figura 4) muestra la presencia de TAG en cada uno de los extractos lipídicos obtenidos, lo cual es relevante dado que la acumulación de lípidos neutros en forma de TAG es la base para obtener biodiesel. Esto es coincidente con el estudio de Yang et al., (2024), en el que el estrés salino en *Botryococcus* sp., promovió la acumulación lipídica. Así también se determinó que el trifosfato de adenosina (ATP) y el nucleótido fosfato de nicotinamida y adenina (NADPH), aumentaron significativamente para contrarrestar las especies reactivas de oxígeno, inducidas por el ion Na^+ en el medio. El NADPH y el ATP sintetizados garantizan la actividad mejorada del ciclo de piruvato-malato y del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA). Por lo tanto, proponen que la desintoxicación de ROS en las células sea el mecanismo esencial para la acumulación de lípidos en microalgas que son sometidas a estrés salino. Además, concluyeron que la síntesis celular de TAG inducida por la salinidad está mediada principalmente por una vía de Kennedy dependiente de acetil-CoA.

4. Conclusiones

El agua residual acuícola empleada en el presente estudio para el cultivo de *Nannochloropsis* es un medio adecuado para la producción de 8.8 ± 0.065 mg/L de biomasa y la remoción de $56.4 \pm 5\%$ de N-NO_3^- y $98.2 \pm 0.2\%$ de P-PO_4^{3-} . Por otra parte, el estrés osmótico al que fue sometida mostró un efecto positivo sobre el contenido de lípidos. Sin embargo, el contenido de lípidos más alto alcanzado fue de $11.3 \pm 0.16\%$, lo cual es considerablemente más bajo en comparación con la literatura. En este sentido, la aplicación combinada de condiciones de cultivo estresantes (p. ej. altas temperaturas, irradiación y falta de nutrientes) se debería evaluar para incrementar el contenido lipídico.

Agradecimientos

A la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) por todas las facilidades otorgadas para llevar a cabo el trabajo experimental. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para el proyecto titulado “Estudio nutrimental en microalgas marinas para potenciar su capacidad lipídica” (2364085) en el marco del programa Estancias Posdoctorales por México. El presente trabajo agradece al proyecto No. 321295 financiado en la Convocatoria Soberanía Alimentaria 2022-1: Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales.

Referencias Citadas

- APHA AWWA WPCF (1992), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18 Ed. Washington, E.U.A.
- Beltrán-Rocha, J., Guajardo-Barbosa, C. & Barceló-Quinta, I. (2017). Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO_2 . *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3): 417-427.
- Chae, H. R., Chang-Han, K., Na, K. K., Choul-Gyun, L. & Sung-Koo, K. (2015). Cultivation of four microalgae for biomass and oil production using a two-stage culture strategy with salt stress. *Renewable Energy*, 80: 117-122.
- Chisti, Y., (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.*, 25: 294–306
- Chokshi, K., Pancha, I., Trivedi, K., George, B., Maurya, R., Ghosh, A. & Mishra, S. (2015). Biofuel potential of the newly isolated microalgae *Acutodesmus dimorphus* under temperature induced oxidative stress conditions. *Bioresource Technology*, 180: 161–171.
- Cui, J., Sun, T., Chen, L. & Zhang, W. (2020). Engineering salt tolerance of photosynthetic cyanobacteria for seawater utilization. *Biotechnology Advances*, 43: 107578.
- FAO (2017). FAO aquaculture newsletter, 57(64).
- FAO The State of World Fisheries and Aquaculture (2016). Contributing to Food Security and Nutrition for All, 2016 Rome p14.
- Folch, J., Lees M. & Sloane Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1): 497-509.
- Ho, S.H., Nakanishi, A., Ye, X., Chang, J.S., Hara, K., Hasunuma, T. & Kondo, A. (2014). Optimizing biodiesel production in marine *Chlamydomonas* sp. JSC4 through metabolic profiling and an innovative salinity-gradient strategy. *Biotechnology Biofuels*, 7(97).

- Khan, M.I., Shin, J.H. & Kim, J.D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(36).
- Li-Beisson, Y., Beisson, F. & Riekhof, W. (2015). Metabolism of acyl-lipids in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Journal*, 82: 504–522.
- López-Rosales, A.R., Ancona-Canché, K., Chavarria-Hernandez, J.C., Barahona-Pérez, F., Toledano-Thompson, T., Garduño-Solórzano, G., López-Adrian, S., Canto-Canché, B., Polanco-Lugo, E. & Valdez-Ojeda, R. (2019). Fatty Acids, Hydrocarbons and Terpenes of *Nannochloropsis* and *Nannochloris* Isolates with Potential for Biofuel Production. *Energies*, 12(130).
- Minhas, A.K., Hodgson, P., Barrow, C.J. & Adholeya, A. (2016). A review on the assessment of stress conditions for simultaneous production of microalgal lipids and carotenoids. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1–19.
- Moffett J.W. & Zika, R.G. (1987). The photochemistry of copper complexes in seawater. In: *Photochemistry of Environmental Aquatic Systems*. Zika RG and Cooper WJ, eds. American Chemical Society, Washington, DC, US, pp. 116-130.
- Pandit, P.R., Fulekar, M.H. & Karuna, M.S.L. (2017). Effect of salinity stress on growth, lipid productivity, fatty acid composition, and biodiesel properties in *Acutodesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24: 13437–13451.
- Parsy, A., Guyoneaud, R., Lot, M.C., Baldoni-Andrey, P., Périé, F. & Sambusiti, C. (2022) Impact of salinities, metals and organic compounds found in saline oil & gas produced water on microalgae and cyanobacteria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234:113351.
- Perales-Pérez, A., Macías-Sánchez, M.D., Ruiz, J., Perales, J.A. & Garrido-Pérez, C. (2023). Process for nutrient recycling from intensive aquaculture through microalgae-bacteria consortium. *Science of The Total Environment*, 901: 165848.
- Sacristán de Alva, M., Luna Pabello, V.M., Orta Ledesma, M.T. & Cruz Gómez, M.J. (2018). Carbon, nitrogen, and phosphorus removal, and lipid production by three saline microalgae grown in synthetic wastewater irradiated with different photon fluxes. *Algal Research*, (34): 97-103.
- Takagi M., Karseno & Yoshida, T. (2006). Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(3): 223-226.
- Xin, L., Hu, H., Ke, G. & Sun Y. (2010). Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. *Bioresource Technology*, 101: 5494–5500.
- Yang, H., He, Q., Rong, J., Xia, L. & Hu, C. (2014). Rapid neutral lipid accumulation of the alkali resistant oleaginous *Monoraphidium dybowskii* LB50 by NaCl induction. *Bioresource Technology*, 172: 131–137.
- Yang, Z., Chen, J., Tang, B., Lu, Y., Ho, S., Wang, Y., Chen, C. & Shen, L. (2024). Metabolic interpretation of NaCl stress-induced lipid accumulation in microalgae for promising biodiesel production with saline wastewater. *Chemical Engineering Science*, 28: 4119447.
- You, Z., Zhang, Q., Peng, Z. & Miao, X. (2019). Lipid droplets mediate salt stress tolerance in *Parachlorella kessleri*. *Plant Physiol.* 181: 510–526.

El cultivo de café y buenas prácticas agrícolas en la Sierra Norte de Oaxaca, México

Mayra Atalí Terán-Ramírez¹, Juana Yolanda López-Cruz^{1,*}, Gema Lugo-Espinosa¹

Resumen. La producción de café en la Sierra Norte de Oaxaca se realiza de manera tradicional, respetando las buenas prácticas agrícolas. El objetivo de este trabajo fue identificar las buenas prácticas agrícolas llevadas a cabo en dos comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca y su influencia en la producción del café. La metodología aplicada fue cualitativa, mediante recorridos de campo, entrevistas semiestructuradas y revisión documental. Entre los resultados se identificaron prácticas sustentables como la mejora en la calidad del suelo, diversificación de cultivos, monitoreo y control de plagas y enfermedades, así como la integración social mediante las escuelas de campo, donde se comparten conocimientos para fomentar las buenas prácticas agrícolas. Además, los programas sociales contribuyen a generar capacidades y empoderar a la población para gestionar su desarrollo y autonomía. Se concluye que el aprovechamiento de recursos locales y la reincorporación de residuos contribuyen a mitigar impactos y a brindar mayor calidad y productividad al cultivo del café. Sin embargo, es necesario fomentar este tipo de programas para lograr la transición a cultivos agroecológicos con productos saludables e inocuos y favorecer el crecimiento económico.

Palabras clave: Transición agroecológica, Sustentabilidad, Inocuidad.

Abstract. Coffee production in the Sierra Norte of Oaxaca is carried out traditionally, respecting good agricultural practices. The objective of this study was to identify the good agricultural practices carried out in two communities in the Sierra Norte of Oaxaca and their influence on coffee production. The methodology applied was qualitative, involving field surveys, semi-structured interviews, and documentary review. Among the results, sustainable practices were identified, such as soil quality improvement, crop diversification, pest and disease monitoring and control, as well as social integration through field schools, where knowledge is shared to promote good agricultural practices. Additionally, social programs contribute to building capacities and empowering the population to manage their development and autonomy. It is concluded that the use of local resources and the reintegration of waste help mitigate impacts and provide better quality and productivity to coffee cultivation. However, it is necessary to promote these types of programs to achieve the transition to agroecological crops with healthy and safe products and to foster economic growth.

Keywords: Agroecological transition, sustainability, safety.

1. Introducción

Después de la revolución verde, que comenzó en EUA en 1940 y en México 20 años después, culminando en los años 80s, en la que se utilizaron de manera desmedida los agroquímicos, fertilizantes, herbicidas y plaguicidas para incrementar la producción agrícola se perdió una gran diversidad de especies y causó un gran impacto en el suelo, el agua y el aire (Golik et al., 2017), surgió una gran preocupación por el medio ambiente y formas de cultivo más saludables para la producción

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: jylopez@ipn.mx

de alimentos con mejor calidad e inocuidad, por lo que surgió una nueva corriente de producción de alimentos por lo que se implementaron las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que es la implementación de los principios del uso sostenible de los recursos naturales básicos para la producción de alimentos inocuos y saludables, lo que lleva a procurar la viabilidad económica y la estabilidad social (Izquierdo & Rodríguez-Fazzone, 2006).

El café es el quinto producto agrícola de mayor importancia en México, es un producto primario de gran importancia económica que emplea a más de 500 mil productores (SADER, 2022). Al ser un producto agrícola puede perder sus cualidades de inocuidad y calidad a lo largo del proceso de transformación que va desde el cultivo, el procesamiento, comercio, transporte y comercialización (Golik et al., 2017), por lo que surge la necesidad de promover BPA, dentro de las cuales mediante programas sociales de apoyo y de acompañamiento técnico se impulsan buenas prácticas agrícolas que a su vez mejoran su rendimiento e ingreso, sustituyendo el uso de agroquímicos por bioinsumos. Una forma en que los cafecultores se apropian del conocimiento es mediante la transmisión de experiencias de “*campesino a campesino*”, la experimentación, técnicas que se fomentan gracias a las Escuelas de Campo de Agricultores (ECAs) (Pumisacho & Sherwood, 2005).

La revolución verde no llegó a todas las comunidades por lo que hay suelos que aún están libres de productos químicos como es el caso de algunas comunidades en la Sierra Norte de Oaxaca, sin embargo, después de tantos años de cultivo los suelos pierden sus minerales y nutrientes para el adecuado crecimiento de los cultivos, por lo que en ocasiones el trabajo para implementar las BPA es muy complicado, ya que cada cultivo tiene requerimientos especiales por lo que las labores de labranza se deben ajustar en cada situación. Debido a esto se planteó identificar las BPA que se realizan en dos comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca.

2. Materiales y Métodos

La metodología se considera de tipo cualitativa, mediante la aplicación de entrevistas a profundidad, y mediante recorridos de campo con cafecultores de dos localidades que se reunieron en un taller de técnicas e intercambio de experiencias que se llevó a cabo en las comunidades Talea de Castro y San Juan Juquila Vijanos (SJJV) en el recorrido de campo denominado “La ruta del Café” representada en la Figura 1, impulsado por la Conferencia Internacional de Autosuficiencia Alimentaria y Agroecología en un Mundo Multipolar el 28 y 29 de noviembre del 2023. Se realizó un análisis cualitativo para conocer las BPA que llevan a cabo, para lograr la transición agroecológica y su perspectiva.

Las comunidades de estudio cuentan con estas características de población: actualmente en SJJV existen 1880 habitantes, de los cuales se considera el 61.7% como población económicamente activa de las cuales el 36% pertenece a los programas de bienestar o sembrando vida (SV), al corte de junio del 2023, del cual corresponde el 35% a sembrando vida y 65% a producción para el bienestar de acuerdo con el registro anual 2023. Del primer programa corresponde 56.4% hombre y 43.6 % mujeres, mientras que en Producción para el bienestar (PB) 53% son hombres y 47% mujeres. La participación en ambos programas es equitativa entre hombres y mujeres, como muestra la Figura 2.

Mientras que en Talea de un total de 2011 habitantes la población económicamente activa es de 1240 de los cuales 25 % pertenecen a los programas antes mencionados, 36.5% corresponde a SV y 63.5% a PB, del primero se tiene la participación de 88% hombres y 12% mujeres, mientras que para el segundo 50.2% son mujeres y 49.8 % hombres, se puede observar una baja participación de mujeres

en el programa SV, pero es equitativa en el programa PB (Sembrando Vida, 2023; Producción Para El Bienestar, 2023) como lo muestra la Figura 2.

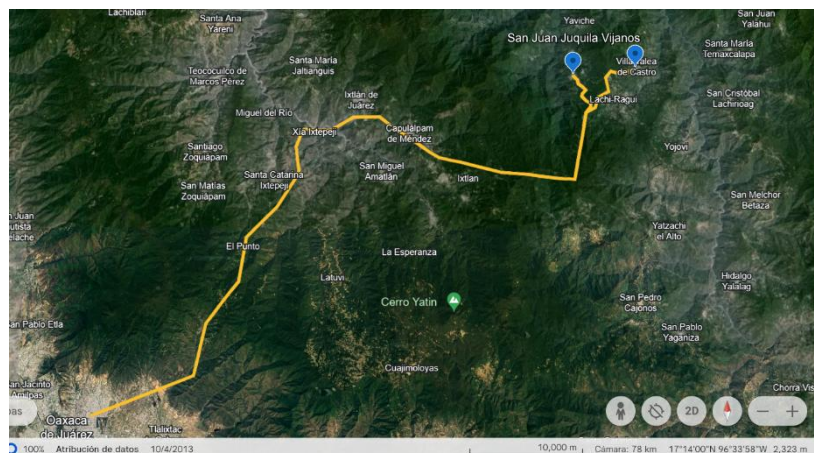


Figura 1. Mapa de ubicación de las áreas de estudio-Ruta del café (Google Earth 2023).

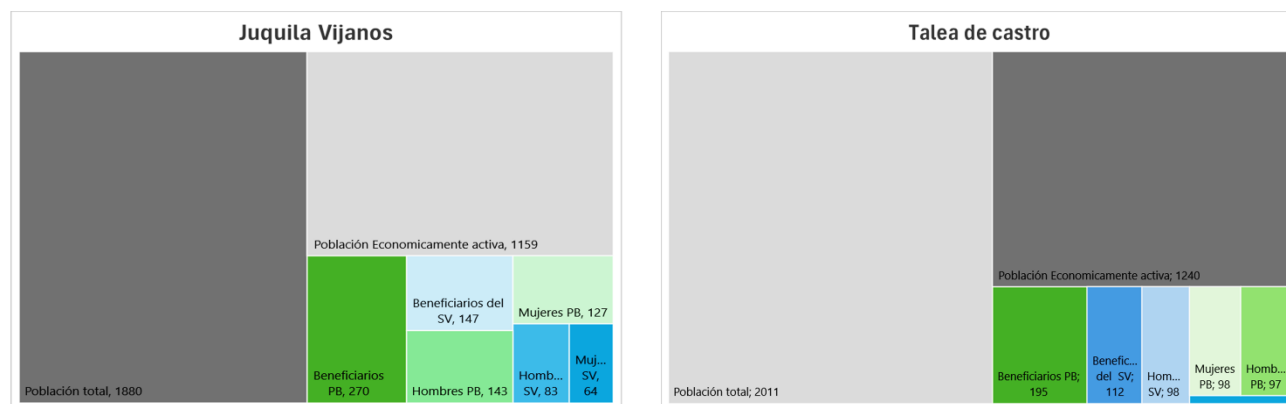


Figura 2. Datos de población y grupos de producción. A) San Juan Juquila Vijanos B) Villa Taldea de Castro (PB: producción para el bienestar, SV: Sembrando Vida) (INEGI, 2021, Listado de beneficiarios 2023).

3. Resultados y Discusión

Como principales resultados se encontró que en ambas comunidades el porcentaje de participación de los programas se encuentra entre el 35 y 37 % de la población económicamente activa, lo que indica que aún hay una gran parte de la población que no desea participar en estos proyectos, dentro de las razones mencionadas por las cuales no participan son; la falta de tiempo para cumplir con las tareas y reuniones de los grupos de trabajo, desconfianza en este tipo de programas, y otros consideran que el trabajo realizado no se refleja en las cosechas. Los beneficiarios de estos programas mencionan que los resultados no se logran ver pronto, y que, aunque es muy pesado lograrlo, se sienten bien de estar

haciendo las cosas de manera natural, y aprovechando materiales que tiene en sus casas para evitar gastos excesivos como lo muestra la Figura 3.

Las escuelas de campo que promueve el programa “Sembrando vida” fomentado la conservación del medio ambiente mediante los conocimientos aprendidos y generados empíricamente, y las prácticas de cultivo y aprovechamiento, busca el empoderamiento de estas técnicas y su adaptación de acuerdo con sus necesidades y a los recursos con los que tienen, lo que les permite experimentar con las diferentes técnicas aprendidas y ajustarlas. Sin embargo, a pesar de ser un proyecto tan noble que busca el beneficio social, ambiental y económico, no ha tenido el impacto suficiente para que más productores se unan a sus formas de trabajo como podemos ver en la siguiente gráfica, en la que vemos una tendencia negativa, ya que muchos cafeticultores abandonan el programa debido a falta de tiempo, a que los resultados no se reflejan rápidamente, y que involucra una mayor carga de trabajo. Quienes se han mantenido dentro del programa observan una mejor calidad de suelo, actividades de labranza con el menor impacto, y un mayor control de todos sus procesos, lo que trae consigo una mejor calidad de café lo que se traduce en una mayor rentabilidad, además el acompañamiento técnico promueve que los productores sean sus propios distribuidores.

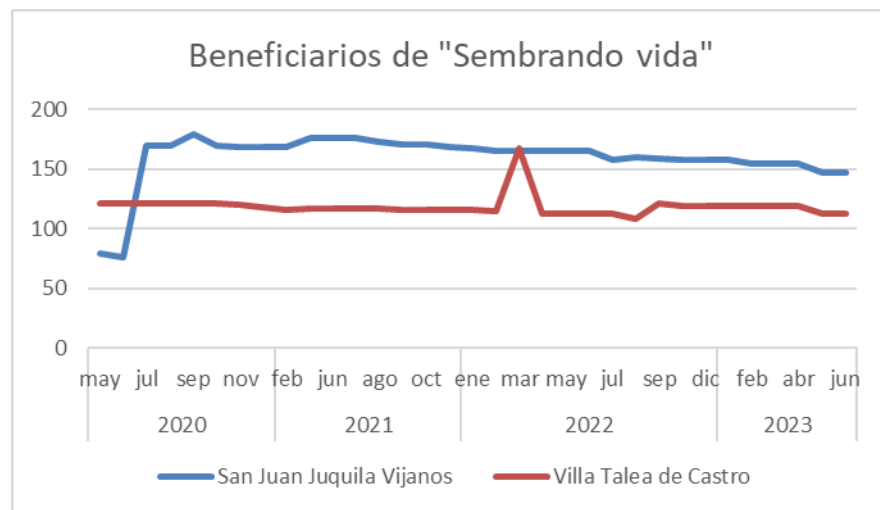


Figura 3. Tendencias de beneficiarios del programa sembrando vida (fuente: elaboración propia con base en el padrón de beneficiarios mayo 2020- jun 2023).

En las BPA que se hacen en el cultivo de café se busca que sus componentes (suelo, clima, humedad, etc.) estén en armonía para obtener los mejores resultados de producción y tener una plantación sana, por eso las actividades de un cafeticultor son bastante complejas, a diferencia de un productor de café con quien solo se consideran las actividades postcosecha. Las BPS que se hacen en las comunidades de estudio se pueden clasificar según el esquema de la Figura 4.

A continuación, se describen las BPA que llevan a cabo los cafeticultores de las comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca, para lograr la transición agroecológica gracias a los programas Sembrando Vida y Producción para el Bienestar, es que han aprendido mediante la metodología “Campesino a Campesino”, en la cual los agricultores necesitan experimentar las nuevas tecnologías

y adaptar los nuevos conceptos a sus propias condiciones económicas, ecológicas y sociales (Pumisacho & Sherwood, 2005).

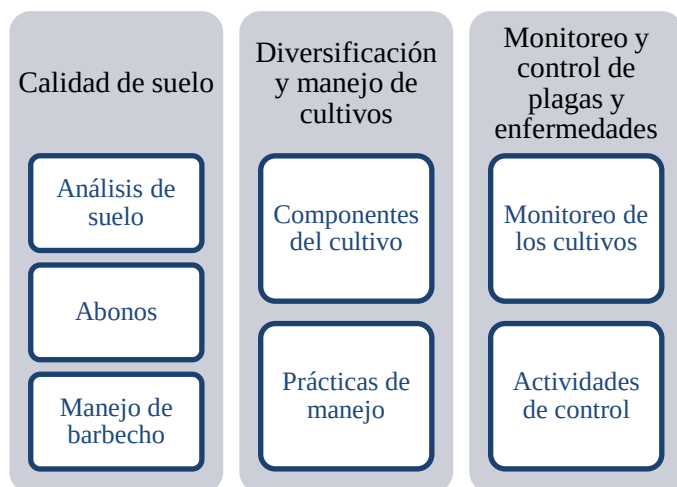


Figura 4. Clasificación de las buenas prácticas agrícolas identificadas en las comunidades de estudio.

Calidad de suelo. Suelo es la base para mantener los cultivos ya que es de donde obtienen los nutrientes las plantas y logran tener un crecimiento adecuado, los cuales están propensos a su degradación (Golik et al., 2017), ya sea por el uso de agroquímicos, y condiciones físicas como la pendiente que provoca la erosión del suelo (Pérez-Nieto et al., 2004). El pH promedio se encuentra en 6.2, según lo indicado en el recorrido de campo indican que el rango adecuado para la siembra del café va de 5.5 y 6.5, mientras que otros autores señalan que los suelos para el café deben ser más ácidos oscilando entre 4.02 y 5.98 (López-Báez et al., 2016).

La textura del suelo en general se considera franco-arcilloso, negro con materia orgánica, sin embargo, con el paso del tiempo se han perdido los minerales del suelo por lo que dentro de las BPA se aplican macro nutrientes y micronutrientes, utilizando harinas de roca fosfórica y zinc para remineralizar los suelos y las plantas, además de que se aprovechan las plantas arvenses (maleza), que eliminan para el adecuado desarrollo del café y reincorporarlas al suelo lo que forma parte del ciclaje de nutrientes además algunas pueden combatir ciertas plagas como lo indica Blanco & Leyva (2007).

Otra forma en la que se están recuperando los suelos es mediante la preparación de bioinsumos como; abonos, bocashi, lombricomposta y sus lixiviados, bioles (abono orgánico líquido), los cuales han aprendido en los talleres de las ECAs utilizando y ajustándose a materiales orgánicos, como estiércol de animales, plantas verdes y frutos de la región, los cuales deben pasar por un proceso estricto y riguroso midiendo los parámetros de pH, conductividad eléctrica, contenido de humedad y que se ajusten a las necesidades del suelo y asegurar la adaptación y el crecimiento adecuado de las plantas, como se muestran en la Figura 5. Un aspecto que debe ser tomado en cuenta es hacer uso de los residuos del café ya que son muy pocos los que lo integran a los bioinsumos como señala Rendón-Sáenz et al. (2015) quienes lo utilizaron para la elaboración de lombricomposta. Añadiendo a estas prácticas los cafeticultores también consideran implementar terrazas para evitar la erosión y la pérdida

de nutrientes del suelo, así como la retención de humedad, como también lo indica Pérez-Nieto et al. (2004).



Figura 5. a) Biodigestor de Villa Talea de Castro, b) Lombricomposta de Villa Talea de Castro, c) Preparación de Bocashi en San Juan Juquila Vijanos

Diversificación de cultivos. Dentro de la transición agroecológica que se tiene como meta es muy importante conservar los sistemas de producción de café bajo sombra las cuales permiten controlar la humedad, respetando las especies nativas y la simbiosis que se da entre ellas, en los recorridos de campo se distingue un arreglo Rustico como lo indica Moguel & Toledo (1996) dentro de las especies sombra son cuajinicuil (*Inga jinicuill*), palo de águila (*Eupatorium morifolium*), naranja (*Citrus sinensis*), aguacate (*Persea americana*), mango (*Mangifera indica*), siempre buscando la simbiosis entre las diferentes especies también contribuye al ciclaje de nutrientes y evitar la pérdida de suelo (Pérez-Nieto et al., 2004) y son menos propensos a plagas y enfermedades. Una de las especies que tratan de controlar es el plátano (*Musa spp.*) ya que demanda gran cantidad de agua por lo que afecta a los cafetales. La sombra puede proveer de un microclima para el cafetal y ayudar a controlar la humedad (Damatta & Rodríguez, 2007), en las parcelas se encontró un contenido de humedad promedio del 80%, siendo los valores óptimos entre 75 y 85%, si se sobrepasa este rango puede provocar pudrición en el cafeto. Además de que la acumulación de biomasa de los árboles sombra y de los cafetales permiten capturar y retener carbono (Terán-Ramírez et al., 2018).

Los cafetos pueden empezar a producir granos a los 2 años y puede producir una buena cosecha hasta los seis años, después se tienen que fomentar actividades para remineralizar el suelo y que siga produciendo de manera adecuada hasta los 10 años. Los entrevistados recomiendan sembrar en tresbolillo, tomando 2m entre plantas, por lo que en cada hectárea se tienen 3 mil plantas, aunque actualmente se planea abrir callejones de 3 m para poder intercalar otros cultivos anuales, como maíz, frijol, calabaza, etc. Las variedades sembradas de *C. arabica* en San Juan Juquila Vijanos son: *typica* (79%), *caturra amarillo* (12.5%), *mondonovo* (8.0%) y *caturra rojo* (0.5%) (Terán-Ramírez et al., 2018). En Talea de Castro tienen la Variedad *Geisha* y *Typica*, la primera es una variedad que fue introducida en años recientes ya que es una especie valorada por sus sabores y precio en el mercado, aunque eso implica mayores actividades de cultivo, debido a esto los cafeticultores desean volver a la especie *typica* ya que es una especie más resistente.

Los cafeticultores de ambas comunidades introducen diversas especies como quelites, frijol, calabaza, entre otras que sirven de sustento diario en la alimentación, y que pueden ser capaces de subsistir en una crisis como la del 2020 debido al Covid-19.

Monitoreo de plagas y enfermedades. La principal plaga del café es la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867), la cual afecta directamente a los granos, para lo cual se han implementado trampas de control biológico. Por otro lado, la Roya es la enfermedad que más afecta a los cafetales, es ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix*, la cual se presenta cuando las plantas están débiles (SAGARPA, 2014), por lo que los cafeticultores de la comunidad recomiendan mantener en buenas condiciones nutrimentales las plantas para que estas no sean afectadas por esta plaga.

La diversificación de cultivos es un factor importante para evitar que las plagas se expandan rápidamente entre las plantas, además el adecuado control de la sombra ayuda a controlar la iluminación y la humedad, y la aparición de enfermedades, debido a esto se realizan podas de los árboles sombra. También es importante podar los cafetales con la finalidad de evitar que las plantas crezcan muy alto, lo que ayuda a que los nutrientes lleguen más fácil del suelo a las ramas bajas, y también para facilitar la cosecha y al disminuir el follaje se pueden lograr granos más grandes, lo que aumenta la producción.

4. Conclusiones

Las buenas prácticas agrícolas son de vital importancia para cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible en los tres ejes de la sustentabilidad. En el social por que busca una alimentación de calidad para todos, en el económico ya que promueve un trabajo justo y mejora la productividad y rendimiento y en el ambiental al procurar acciones que mejoren la calidad de suelo de manera natural que no afecte negativamente a los demás recursos naturales. Estas labores en general se pueden llevar a cabo en cualquier sistema agrícola, sin embargo, en cuanto a los requerimientos estos se deben ajustar a las condiciones de suelo y de cultivo por lo que siempre se requiere de capacitación y experimentación para lograr una adecuada producción. Durante el recorrido se observaron buenas condiciones de producción gracias a factores medio ambientales y que la labranza se sigue llevando de manera manual ya que es difícil introducir maquinaria para ello. Con el aprovechamiento de los recursos locales, se mitigan los impactos negativos al medio ambiente, se aprovechan los residuos, se reincorporan para crear productos sustentables que mejoran la calidad del suelo, para elevar la productividad del cultivo del café y con ello lograr mayores ingresos.

Agradecimientos

Particular agradecimiento a los organizadores de la Conferencia Internacional Autosuficiencia Alimentaria y Agroecología en un mundo Multipolar, a los productores de café de San Juan Juquila Vijanos y de Villa Talea de Castro por sus atenciones y acceso a su comunidad. Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías CONAHCYT, por el apoyo al programa doctoral y al Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Oaxaca por los aportes dentro del programa doctoral y a los recursos otorgados a través del proyecto SIP20230178.

Referencias Citadas

- Blanco, Y., & Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cultivos Tropicales*, 8(22), 21-28.
- Damatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: Una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 113-123.
- Golik, S. I., Bezus, R., Chamorro, A., & Golik, S. (2017). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas*. (1a ed.). Facultad de Ciencias Agrarias y forestales.
- Izquierdo, J., & Rodríguez-Fazzone, M. (2006). *Buenas prácticas agrícolas: En busca de sostenibilidad, competitividad y seguridad alimentaria* (1a ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- López-Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2016). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 607-618.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1996). El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias UNAM*, 43.
- Pérez-Nieto, J., Valdés-Velarde, E., Hernández-San Román, M. E., & Ordaz-Chaparro, V. (2004). Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra (pp. 409-418).
- Producción Para el Bienestar. (2023). *Buscador de Beneficiarios Producción Para El Bienestar – Buscador de Beneficiarios PpB*. <https://portaldetransparencia-ppb.org/>
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2005). *Guía metodológica sobre ECAs: Escuelas de Campo de Agricultores* (1a.). CIP-INIAP-World Neighbors.
- Rendón-Sáenz, J. R., García López, J. C., González Osorio, H., & Ramírez Patiño, J. J. (2015). Análisis técnico del proceso de lombricultura en pulpa de café para la producción de abono orgánico. *Cenicafé*, 66(2), 7-16.
- SADER. (2022). *Cultivo de café en México [Informativa]*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sembrando vida. (2023). *Consulta al Padrón Único de Beneficiarios*. <https://pub.bienestar.gob.mx/v2/pub/programasIntegrales/16/172>
- Terán-Ramírez, M. A., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J. R., & Velasco-Velasco, V. A. (2018). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 217-226.

El control biológico del chapulín en cultivos básicos, una breve revisión

Keyla Cruz-García¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández^{1,*}, Teodulfo Aquino-Bolaños¹

Resumen. *Sphenarium purpurascens*, comúnmente conocido como "el chapulín de la milpa", es una especie polífaga que se ha vuelto problemática en la agricultura debido al daño y las pérdidas que causa en el follaje de los cultivos. En respuesta al uso de pesticidas, se han buscado alternativas como el control biológico, incluyendo hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Estos hongos han mostrado un efecto positivo contra el chapulín, que causa pérdidas en cultivos de importancia económica como el maíz, la alfalfa, el amaranto y los frijoles. El objetivo de este trabajo fue comprender el impacto del chapulín de la milpa en varios cultivos de importancia económica y sus métodos de control biológico. Se buscaron artículos relacionados con el uso de control biológico como bioinsecticidas para cultivos de importancia económica en varias bases de información. Se encontró que los métodos de control biológico más comúnmente utilizados en cultivos de importancia económica son los hongos entomopatógenos; sin embargo, los nematodos entomopatógenos también representan otra opción. Se concluye que para el control de esta plaga (*S. purpurascens*) es necesario seguir buscando alternativas biológicas y evaluar su efectividad en diferentes etapas.

Palabras clave: *Sphenarium purpurascens*, Plaga, Hongos Entomopatógenos.

Abstract. *Sphenarium purpurascens*, commonly known as "the milpa grasshopper," is a polyphagous species, which has become problematic in agriculture due to the damage and losses it causes to crop foliage. In response to pesticide use, alternatives such as biological control have been sought, including entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. These fungi have shown a positive effect against the grasshopper, which causes losses in economically important crops like maize, alfalfa, amaranth, and beans. The aim of this work was to understand the impact of the milpa grasshopper on various economically important crops and their biological control methods. Articles related to the use of biological control as bioinsecticides for economically important crops were searched in various information databases. It was found that the most commonly used biological control methods in economically important crops are entomopathogenic fungi; however, entomopathogenic nematodes also represent another option. It is concluded that for the control of this pest (*S. purpurascens*), it is necessary to continue seeking biological alternatives and to evaluate their effectiveness at different stages.

Keywords: *Sphenarium purpurascens*, Pest, Entomopathogenic Fungi.

1. Introducción

En México uno de los cultivos de mayor importancia para la alimentación es el maíz; sin embargo, las plagas son sus principales limitantes y afectan considerablemente la producción y su rendimiento. Los factores que originan la proliferación de plagas están asociadas al clima con periodos largos de sequía y lluvias frecuentes. Asimismo, la temperatura juega un papel importante, al aumentar se incrementa

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: yortiz@ipn.mx

la población y hay mayores defoliaciones, debido a que los tejidos están más blandos, causando un grave daño a los cultivos (Hernández Trejo et al., 2019; Hódar et al., 2012).

Una de las especies que destacan por afectar la producción de maíz, es el chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*) el cual es un organismo cosmopolita que se encuentra en zonas tropicales, desérticas y principalmente con altas densidades en praderas (Amaro-Leal et al., 2018). Debido a su capacidad de reproducción, hábitos migratorios y diversidad de hospederos se ha convertido en una de las principales plagas (Ramírez Méndez et al., 2019). Al avanzar su ciclo biológico su alimentación aumenta debido a que sus estructuras mandibulares van cambiando, causando daños severos preferentemente a cultivos como la alfalfa ya que les brinda mayor protección y alimento (Huerta et al., 2014; Morales Martínez et al., 2012).

Ante la emergencia de estos insectos plaga en el año 2008 empezó a funcionar la campaña contra el chapulín, con el objetivo de detectar y controlar las infestaciones de este insecto para reducir las densidades de 15 ninfas/m² a menos de 5 ninfas/m² en superficies agrícolas (Ramírez Méndez et al., 2019).

Por lo anterior el objetivo de este trabajo, es dar a conocer las afectaciones que ocasiona el chapulín en cultivos de importancia económica y sus métodos de control biológico y porqué es conveniente buscar métodos de control biológico como alternativa natural y amigable con el ambiente.

2. Materiales y Métodos

La metodología es de tipo cualitativa. Se hizo un análisis de información bibliográfica procedente de páginas electrónicas, libros y artículos científicos acerca de los daños y pérdidas que ocasiona el chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens*) en cultivos de importancia económica y sus métodos de control biológico como alternativa al uso de insecticidas químicos.

3. Resultados y Discusión

La distribución de los chapulines se encuentra a altitudes superiores a los 2000 msnm en los estados de Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Aguascalientes, México, Puebla, Michoacán, Guanajuato y Tlaxcala donde se han tenido reportes de incidencia de los géneros *Melanoplus*, *Boopedum*, *Mermiria*, *Brachystola* y entre ellos *Sphenarium purpurascens* (García-Gutiérrez & González-Maldonado, 2009). Se tienen reporte para México de 920 especies dentro de las cuales más de 12 especies causan daños en cultivos frutales, ornamentales, básicos e industriales (Barrientos-Lozano & Almaguer-Sierra, 2006). Este ortóptero se alimenta de una gran diversidad de cultivos como el maíz, frijol, calabaza, alfalfa, trigo, gramíneas y algunas especies silvestres de pastos. Se ha reportado la incidencia de *S. purpurascens* en monocultivos de maíz en México, como el caso del Valle de Puebla-Tlaxcala donde han afectado la producción de maíz (Romero Arenas et al., 2020) y en cultivo de amaranto (Vázquez-Jorge et al., 2016).

La presencia de *S. purpurascens* en el estado de Tlaxcala ocasiona pérdidas del 30% arriba del umbral económico en la producción de frijol, haba y maíz (Morales-Martínez et al., 2012). En el año 2014 los chapulines se consideraron una de las plagas más importantes en el norte de Michoacán, porque causaron daños económicos a la economía regional de 24 municipios, donde se promediaron 65 chapulines por metro cuadrado (Quesada-Béjar et al., 2020). Se ha demostrado que los chapulines llegan a consumir el 50% de su peso en follaje verde por día, en un campo de cultivo de cuatro hectáreas

con una densidad poblacional de 7- 8 chapulines/m² consumirá la misma cantidad que una vaca en un día (Barrientos-Lozano & Almaguer-Sierra, 2006). Cabe destacar que al ser insectos generalistas su consumo va a depender de su preferencia y estas reciben mayores daños (Barrientos-Lozano y Almaguer-Sierra, 2006). Ante la amenaza de este insecto los agricultores han incrementado el uso de insecticidas sintéticos y a consecuencia han adquirido resistencia, además que han ocasionado problemas como contaminación del suelo, agua, aire y de salud (Vázquez-Jorge et al., 2016). También por el uso insecticidas químicos se pueden extinguir especies como el insecto originario sudafricano *Melanoplus spretus* del orden orthoptera (Cerritos & Cano-Santana, 2008).

Las pérdidas y daños que ocasiona el chapulín de la milpa son devastadoras ya que llega a cosecharse solo una tonelada de cuatro por cada hectárea sembradas (Arcos-Estrada et al., 2020). Durante la etapa adulta las hembras depositan de veinte a cuarenta ootecas que contienen de 20 a 40 huevos (Sanchez-Flores et al., 2014), lo que origina una alta proliferación de estos insectos plaga provocando irremediablemente daños y pérdidas en los cultivos (Figura 1).



Figura 1. Daños por *S. purpurascens* en cultivo de maíz (izquierda) y Ootecas (derecha).

Ante estas situaciones los métodos de control biológico más utilizados son el uso de hongos entomopatógenos, lo cuales son microorganismos heterótrofos, unicelulares, eucarióticos, que se reproducen sexual o asexualmente mediante esporas. Tienen la capacidad de atacar insectos utilizándolos como hospederos y desarrollar su ciclo de vida, reducen poblaciones de plagas que han causado daños económicos en los cultivos o sirven como medio de control en la reducción de enfermedades (Esparza-Mora et al., 2017), pueden penetrar la cutícula o del tracto digestivo del insecto (Pedrini et al., 2007).

***Beauveria bassiana*.** Este microorganismo antes de matar a su hospedero produce pérdida de sensibilidad, letargo, nula coordinación, falta de apetito y parálisis. La esporulación se lleva a cabo cuando el insecto muere y posteriormente se da la dispersión del hongo, permitiendo un buen control (Malpartida-Zevallos et al., 2013). Tiene la particularidad de desarrollar un micelio color blanco que se desarrolla sobre el insecto después de la infección y para su evaluación se han realizado evaluaciones en *Galleria mellonella* (Hernández-Trejo et al., 2019, Figura 2).



Figura 2. Efectividad de *B. bassiana* en adultos de *S. purpurascens*.

En el Valle de Puebla-Tlaxcala, donde aplicado el método con *B. bassiana* contra *Sphenarium purpurascens* se ha observado que es capaz de penetrar la cutícula del insecto (Huerta et al., 2014). Bajo condiciones de laboratorio se indujo una mortandad en ninfas del cuarto estadio de *S. purpurascens* al aplicar *B. bassiana* en una concentración de 1.2×10^9 blastosporas ml^{-1} (García-Gutiérrez & González-Maldonado, 2009). Los resultados anteriores coinciden que al utilizar una concentración alta de *B. bassiana* de 1×10^8 y 1×10^9 esporas/ml ocasionaron una mortandad de ninfas del segundo y cuarto estadio ninfal de *S. purpurascens* al tercer y cuarto día de realizar la inoculación (Vázquez-Jorge et al., 2016).

En el estado de Guanajuato por la alta incidencia de los chapulines se encuentra el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG) que ha funcionado desde 1998 y han

implementado el control biológico de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae*, pero no se han tenido buenos resultados por lo que se siguen buscando alternativas ante esta plaga (García-Gutiérrez & González-Maldonado, 2009). Otros estudios han comenzado a utilizar biopreparados con la cepa MA-Bb de *Beauveria bassiana* nativa de Puebla en combinación con tierra de diatomea y zeolita provocando una alta viabilidad y alta mortalidad en adultos de *S. purpurascens* (Amaro-Leal et al., 2018). Estas formulaciones con hongos entomopatógenos se mezclan con algún solvente o emulsificante, van a tener la función de proteger los conidios (Motta-Delgado & Murcia-Ordoñez, 2011).

***Metarhizium anisopliae*.** Ha sido empleado como bioinsecticida, por su amplio rango de hospederos de diferentes órdenes. Los insectos muertos tienen un crecimiento micelial de color blanco, que después de que el hongo esporula presenta una coloración verde (Acuña-Jiménez et al., 2015). Como menciona Batta (2003) *Metarhizium anisopliae* llega a infectar a más de 100 especies diferentes de insectos. El uso de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* a la concentración de 1.2×10^{12} conidios por hectárea ha tenido una efectividad del 100% después de siete días de la aplicación en condiciones de campo contra el chapulín *Melanoplus* en la Planicie Huasteca (Garza-Urbina, 2005).

En África se utilizó el hongo entomopatógeno de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* formulado en aceite en concentración muy baja para el control de la langosta migratoria, además que en Norte y Sur de México también se han aplicado cepas mejoradas de *M. anisopliae* para el control de la langosta centroamericana (García-Gutiérrez & González-Maldonado, 2009). Para México se han utilizado cepas virulentas de aislamientos de *M. a. acridum* como MaPL32 Y MAPL40 las cuales han tenido muy buenos resultados (Barrientos-Lozano et al., 2005). Se han evaluado pocas cepas de *Metarhizium anisopliae* para el control de este insecto, por lo cual sería necesario seguir haciendo evaluaciones con cepas nativas en condiciones de laboratorio y así poder tener una mayor efectividad en campo al momento de ser aplicadas.

Además de los métodos de control biológico existen enemigos naturales de estos insectos que ayudan a controlar su incidencia como himenópteros de la familia Scelionidae, una de las especies más abundante en América del Norte es *Scelio opacus* (Provancher) y se ha encontrado en más de nueve especies de chapulines y *Synoditella* que incluye solo dos especies. También algunos coleópteros como larvas de los botijones los cuales se mueven en el suelo en búsqueda de los huevos de chapulines. Los depredadores de ootecas son especies de la familia Cleridae y Tenebrionidae. Se tienen registros de trece géneros de la familia Bombyliidae alimentándose de huevos de chapulines, ya que las hembras ovipositan cerca de estos y cuando emergen los depredadores se alimentan de las ootecas (Salas-Araiza & Salazar-Solís, 2006).

4. Conclusiones

Los daños y pérdidas que ocasiona el chapulín son severos para la producción de cultivos de importancia económica en México, por lo que es necesario seguir buscar alternativas de control biológico como el uso de nematodos entomopatógenos para poder observar su efectividad en diferentes estadios de *S. purpurascens*.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Oaxaca por el apoyo brindado; así como al CONAHCYT por la beca proporcionada al primer autor para estudios de posgrado.

Referencias Citadas

- Acuña-Jiménez, M., García-Gutiérrez, C., Rosas-García, N. M., López-Meyer, M., Sainz-Hernández, J. C. (2015). Formulación de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin con polímeros biodegradables y su virulencia contra *Heliothis virescens* (Fabricius). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 219–226.
- Amaro-Leal, L. J., Romero-Arenas, O., López-Olguín, J. F., Parraguirre-Lezama, C., Sanchez-Morales, P., Rivera-Tapia, J. A. (2018). Mortality of *Sphenarium purpurascens* with Bio-preparations of *Beauveria bassiana* and *Diatomite* in vitro. *Southwestern Entomologist*, 43(4), 1029–1039.
- Arcos-Estrada, E. G., Díaz Ramírez, M., Jiménez Guzmán, J., Fabela Morón, M. F., Rayas Amor, A. A., León Espinosa, E. B., García Garibay, M., y Cruz Monterrosa, R. G. (2020). Análisis fisicoquímico y proteínico de la pasta de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Charpentier). *Agro Productividad*, 13(6), 77–83.
- Barrientos-Lozano, L., Hunter, D. M., Ávila Valdéz, J., García Salazar, P., y Horta Vega, J. V. (2005). Control biológico de la langosta Centroamericana *Schistocerca piceifrons* Walker (Orthoptera: Acrididae) en el noreste de México. *Vedalia*, 12(2), 119–128.
- Barrientos-Lozano, L., y Almaguer-Sierra, P. (2006). Manejo sustentable de chapulines (Orthoptera: acridoidea) en México. *VEDALIA*, 13(2), 51–56.
- Batta, Y. A. (2003). Production and testing of novel formulations of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Crop Protection*, 22, 415–422.
- Cerritos, R., y 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, 473–480.
- Esparza-Mora, M. A., Contreiro Castilho, A. M., y Fraga, M. E. (2017). Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arquivos Instituto Biológico*, 84, 1–10.
- García-Gutiérrez, C., y González-Maldonado, M. B. 2006 (2009). Control biológico de plaga de chapulin (Orthoptera: Acrididae) en Durango, México. *VEDALIA*, 13(2), 79–83.
- García- Gutiérrez C, y González-Maldonado M B. (2009). Control biológico de plaga de chapulín (Orthoptera: Acrididae) en Durango, México. *Vedalia*, 13(2), 79–83.
- Garza-Urbina, E. (2005). El chapulín *Melanoplus* sp. y su manejo en la planicie Huasteca.
- Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño Arellano, S. A., y Osorio Hernández, E. (2019). Importancia del control biologico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803–813.
- Hódar, J. A., Zamora, R., y Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas*, 21(3), 73–78.
- Huerta, A. J., Espinoza, F., Tellez Jurado, A., Maqueda Gálvez, A. P., y Arana Cuenca, A. (2014). Control Biológico del Chapulín en México.
- Malpartida-Zevallos, J., Narrea Cango, M., y Dale Larraburre, W. (2013). Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill., sobre el gusano defoliador del maracuyá *Dione juno* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae) en laboratorio. *Ecología Aplicada*, 12(2), 75–81.

- Morales-Martínez, N., Hernández Hernández, E. M., Ramírez Alarcón, S., y Solís Aguilar, J. F. (2012). Abundancia de *Sphenarium purpurascens* Charpentier (Orthoptera: Pyrgomorphidae) en cultivos de importancia económica en la localidad de Tepepa, San Miguel Tenancingo, Tlaxcala. 1122–1127.
- Motta-Delgado, P. A., y Murcia Ordoñez, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Revista Ambiente e Agua*, 6(2), 77–90.
- Pedrini, N., Crespo, R., y Juárez, M. P. (2007). Biochemistry of insect epicuticle degradation by entomopathogenic fungi. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology y Pharmacology*, 146(1–2), 124–137.
- Quesada-Béjar, V., Nájera Rincón, M. B., Reyes Novelo, E., y González Esquivel, C. E. (2020). Pathogenicity of *Metarhizium* spp. on *Sphenarium purpurascens* in Central Mexico. *Southwestern Entomologist*, 45(1), 57–68.
- Ramírez-Méndez, V. A., González Villegas, R., y Nájera Rincón, M. B. (2019). Distribución y diversidad de chapulines (Orthoptera: Acridoidea) en agroecosistemas de maíz de la cuenca del Lago de Pátzcuaro. *Entomología Agrícola*. 6:156-162.
- Romero-Arenas, O., Amaro Leal, L. J., Rivera, A., Parraguirre Lezama, C., Sánchez Morales, P., y Villa Ruano, N. (2020). Formulations of *Beauveria bassiana* MABb1 and mesoporous materials for the biological control of *Sphenarium purpurascens* in maize crops from Puebla, Mexico. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(3), 653–659.
- Salas-Araiza, M. D., y Salazar-Solís, E. (2006). Enemigos naturales de plaga de chapulín (Orthoptera: Acrididae) con énfasis en Guanajuato, México: Una breve revisión. *VEDALIA*, 13(2), 57–64.
- Sánchez-Flores, M. (2018). *Manual Operativo De La Campaña Contra El Chapulín*. 100p.
- Vázquez-Jorge, M. de los Á., Aragón García, A., Bibbins Martínez, M. D., Castillo Hernández, D., Nava Galicia, S. B., y Pérez Torres, B. C. (2016a). Control de *Sphenarium purpurascens* con *Beauveria bassiana* y extractos vegetales en amaranto (*Amaranthus hypocondriacus* L.).
- Vázquez Jorge, M. de los Á., Aragón García, A., Bibbins Martínez, M. D., Castillo Hernández, D., Nava Galicia, S. B., y Pérez Torres, B. C. (2016b). *Sphenarium purpurascens* control with *Beauveria bassiana* and extracts amaranth (*Amaranthus hypocondriacus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 235–247.

Microencapsulación de extracto de *Hibiscus sabdariffa* con probióticos y su actividad funcional

José Mercado-Monroy^{1,*}, Reyna Nallely Falfán-Cortés¹, Javier Castro-Rosas¹

Resumen. El objetivo de este trabajo fue microencapsular bacterias probióticas mezcladas con extracto de *Hibiscus sabdariffa* y caracterizar su actividad funcional. La microencapsulación se realizó mediante secado por aspersión. Se determinó el rendimiento por la diferencia de peso en base a la materia seca de entrada y salida, la morfología mediante microscopía electrónica de barrido, la viabilidad por vertido en placa, la capacidad antioxidante por técnicas de ABTS y DPPH, los fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, la concentración de antocianinas por pH diferencial, la actividad de agua por Aqualab y la humedad por termobalanza. La microencapsulación de probióticos con extracto de *H. sabdariffa* tuvo un rendimiento de entre 70.96 y 75.55%. Las microcápsulas presentaron una estructura colapsada con cavidades cóncavas en la superficie y tamaños de entre 5 y 20 μm . La viabilidad bacteriana de las cepas encapsuladas fue del 96.85 al 100% tras la microencapsulación. La capacidad antioxidante por ABTS del extracto de *H. sabdariffa*, extracto + probiótico y los microencapsulados fue de 0.044, 0.044 y 0.035-0.037 mg equivalentes de Trolox/g de muestra, respectivamente. La capacidad antioxidante por DPPH de las mismas muestras fue de 37.94, 37.21 y 15.64-17.84 mg de ácido ascórbico/g de muestra, respectivamente. Los fenoles totales en los microencapsulados fueron de 13.46 a 14.15 mg de ácido gálico/g de muestra, con eficiencias de encapsulación entre 61.05 y 72.16%. El contenido de antocianinas en los microencapsulados fue de 0.668 mg de cianidina-3-glucósido (EC-3-G)/g de muestra. La actividad de agua de los microencapsulados varió entre 0.359 y 0.483, y la humedad entre 4.66 y 5.25%. Se obtuvieron microencapsulados con extracto de *H. sabdariffa* y probiótico con capacidad antioxidante.

Palabras clave: Probióticos, *H. sabdariffa*, Microencapsulación.

Abstract. The objective of this study was to microencapsulate probiotic bacteria mixed with *Hibiscus sabdariffa* extract and to characterize their functional activity. Microencapsulation was carried out by spray drying. The yield was determined by the weight difference based on the dry matter input and output, morphology by scanning electron microscopy, viability by plate pouring, antioxidant capacity by ABTS and DPPH techniques, total phenols by the Folin-Ciocalteu method, anthocyanin concentration by differential pH, water activity by Aqualab, and moisture by thermobalance. The microencapsulation of probiotics with *H. sabdariffa* extract had a yield between 70.96 and 75.55%. The microcapsules showed a collapsed structure with concave cavities on the surface, with sizes ranging from 5 to 20 μm . The bacterial viability of the encapsulated strains was between 96.85 and 100% after microencapsulation. The antioxidant capacity by ABTS of the *H. sabdariffa* extract, extract + probiotic, and the microencapsulated samples was 0.044, 0.044, and 0.035-0.037 mg Trolox equivalents/g sample, respectively. The antioxidant capacity by DPPH of the same samples was 37.94, 37.21, and 15.64-17.84 mg ascorbic acid/g sample, respectively. Total phenols in the microencapsulated samples were 13.46 to 14.15 mg gallic acid/g sample, with encapsulation efficiencies between 61.05 and 72.16%. The anthocyanin content in the microencapsulated samples was 0.668 mg cyanidin-3-glucoside (EC-3-G)/g sample. The water activity of the microencapsulated samples ranged from 0.359 to 0.483, and the moisture content

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

*Autor para correspondencia: me183232@uaeh.edu.mx

ranged from 4.66 to 5.25%. Microencapsulated samples containing *H. sabdariffa* extract and probiotics with antioxidant capacity were obtained.

Keywords: Probiotics, *H. sabdariffa*, Microencapsulation

1. Introducción

Las enfermedades transmitidas por alimentos se han convertido en un grave problema de salud pública a nivel mundial, ya que estas ocasionan alrededor de 360,000,000 de casos cada año en todo el mundo (Fung et al., 2018; Samreen et al., 2021). Por lo que es de vital importancia generar nuevas alternativas naturales que coadyuven a la prevención o tratamiento de tales infecciones; una vía podría ser el uso de probióticos o extractos de plantas, o bien, una combinación de ambos.

Los probióticos son microorganismos vivos que deben ser ingeridos en cantidades suficientes para tener un efecto positivo sobre la salud (Guarner & Schasfsma, 1998). Entre los efectos pueden ser la función de barrera intestinal reforzando la integridad de la barrera intestinal por medio de una mayor expresión génica en la señalización de uniones estrechas (Resta-Lenert & Barrett, 2003); modulan la composición de la microbiota intestinal respecto a las especies bacterianas intestinales al mantener un equilibrio y reducir el crecimiento potencial de bacterias patógenas dentro del intestino (Galdeano et al., 2019); a través de sus metabolitos procura la maduración y funcionalidad de las células inmunes (Galdeano et al., 2019); inhiben el crecimiento de bacterias patógenas, compitiendo por los nutrientes necesarios para su crecimiento y proliferación, además, producen metabolitos para combatir e inhibir bacterias patógenas (Hussain et al., 2021).

Hibiscus sabdariffa es una planta que crece en climas tropicales, cultivada en México, India, China, entre otros, principalmente. Los cálices de *H. sabdariffa* o también llamada jamaica, son utilizados ampliamente debido a sus compuestos activos, como polifenoles (antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos y carotenoides), polisacáridos, pectinas, carotenoides. La jamaica contiene también ácidos orgánicos como el ácido hibiscus, hidroxícítrico, málico, ascórbico, oxálico, succínico, tartárico, araquídico y cítrico. Los cálices de jamaica además contienen minerales como calcio, magnesio, hierro, algunos oligoelementos y vitaminas (Jamrozik & Kaczmarczyk-Żebrowska, 2022).

Sin embargo, tanto los probióticos como los extractos de plantas son susceptibles al paso por el tracto gastrointestinal, debido a que el pH del estómago puede afectar la viabilidad bacteriana y degradar o inactivar los compuestos naturales derivados de plantas, por lo que es necesario proteger los compuestos de agentes externos, proporcionando su estabilidad, bioactividad y disponibilidad a través de la microencapsulación. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue microencapsular bacterias probióticas en mezcla con extracto acetónico de *H. sabdariffa* utilizando el secado por aspersión y caracterizar su actividad funcional.

2. Materiales y Métodos

Se utilizó almidón de maíz modificado como material pared para la microencapsulación por secado por aspersión de 3 cepas de *Enterococcus lactis* UAEH 17, 19, 25 y 1 de *Lactocaseibacillus paracasei* UAEH 20, cada una de ellas por separado en mezcla con extracto acetónico de jamaica al 10% p/v en agua.

Microencapsulación por secado por aspersión. Los cultivos de *Lactocaseibacillus paracasei* UAEH 20 y *Enterococcus lactis* cepas UAEH 17, 19 y 25 se obtuvieron tras la activación mediante dos transferencias sucesivas en caldo MRS a 37 °C durante 24 h. Para obtener el paquete celular, la suspensión celular (con $\approx 10^9$ UFC/mL de concentración bacteriana final) se centrifugó (Hermle, Labnet Z323K, Germany) a 2250×g durante 20 min. Se preparó una suspensión de extracto de *H. sabdariffa* en agua al 10% p/v, posteriormente se agregó y almidón modificado (N-lok) y fue mezclada por agitación a 3500 rpm (StableTemp, Cole-Parmer, Chicago; EE.UU.) durante 6 min. El paquete celular se añadió a la mezcla de almidón y se homogenizó a 12000 rpm durante 4 segundos en un IKA T25, Ultra Turrax, (Alemania). El proceso de microencapsulación se realizó con un secador de pulverización de laboratorio (Buchi B 191 Labortechnik AG; Flawil, Suiza). La temperatura de entrada de la boquilla fue de 100°C, y la temperatura de salida fue de 62°C. La tasa de flujo del líquido fue de 4 mL/min, y el diámetro de la boquilla de 0.5 mm (Hernández-López et al., 2018).

Caracterización de las microcápsulas. Se determinó el rendimiento por diferencia de pesos, entre la materia seca de entrada (al aspersor) y la materia seca obtenida al final como microencapsulado. La morfología de las microcápsulas se observó en un microscopio electrónico de barrido (modelo JEOL IT-300). Las muestras secas se colocaron sobre un porta muestras cubierto con cinta electroconductora de carbono de doble cara y luego fueron recubiertas durante 3 min con una capa de oro (0,5-1 nm de espesor). Las condiciones en que se observaron fueron a 15 A y 20 kV (Hernández-López et al., 2018).

Viabilidad bacteriana. Para la enumeración bacteriana, los polvos de microcápsulas que contendrían cada bacteria ácido láctica (BAL) se dispersaron (1 g) en 9 mL de una solución estéril de citrato de sodio al 2% (Golden Bell Reactivos, México, D.F.). Se realizó el recuento de las BAL mediante la técnica de vertido en placa utilizando diluyente de peptona (0,1%, p/v) y agar MRS. Las cajas de agar MRS inoculadas se incubaron en condiciones aeróbicas a 37 °C durante 48 h. La eficiencia de encapsulación (EE%) se calculará según la ecuación propuesta por Rajam & Anandharamakrishnan (2015):

$$(EE \%) = \frac{N}{N_0} \times 100$$

Donde N_0 y N representan el número de bacterias viables antes y después del proceso de secado por aspersión, respectivamente.

Determinación de la capacidad antioxidante del microencapsulado por captación del radical ABTS y DPPH. La capacidad de captación de radicales ABTS se obtuvo mediante la reacción de 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) (7 mM) con $K_2S_2O_8$ (2,45 mM) incubado a temperatura ambiente en oscuridad durante 24 h. Se utilizó una curva de Trolox (0-200 ppm) como antioxidante de referencia. El estándar o extracto liberado de la microcápsula (50 µL) se colocó en tubos Eppendorf con 1.1 mL del reactivo ABTS). Se dejó reposar durante 30 min y se midió la absorbancia a 735 nm en el espectrofotómetro. Se determinó la capacidad de eliminación de radicales de los extractos del microencapsulado y los resultados se informaron en equivalentes de Trolox por gramo de microcápsulas (mg TE/g). Se preparó una solución del reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) (100 µM) y se disolvió en metanol. La absorbancia se ajustó a 0.70 ± 0.03 unidades a una longitud de onda de 510 nm. Se utilizó una curva de calibración de ácido ascórbico (0-200 ppm).

El estándar o extracto liberado de las microcápsulas (50 µL) se colocó en tubos Eppendorf con 1.1 mL de DPPH. Las muestras se dejaron reposar durante 30 min y se midió la absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido ascórbico por g de microcápsulas (mg AAE/g).

Determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Los fenoles totales se cuantificaron siguiendo la metodología descrita por Pekal & Pyrzynska (2014), con algunas modificaciones. Se preparó una curva de calibración de ácido gálico de 0 a 100 ppm. En tubos Eppendorf, se colocaron 250 µL de muestra y 625 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10%. Los reactivos fueron mezclados por agitación y se dejó reposar a temperatura ambiente por 3 min, y se adicionó 500 µL de Na₂CO₃ al 7.5%. Se mezcló por agitación y se dejó reposar por 2 h. Por último, se midió la absorbancia a 760 nm en el espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, EUA). La concentración de fenoles totales en cada muestra se determinó mediante la regresión lineal de la curva estándar del ácido gálico. Se reportó el contenido en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100 g cd).

Determinación de antocianinas monoméricas totales. La determinación de antocianinas monoméricas totales se realizó por método de pH diferencial. En tubos Eppendorf se colocó 1 mL de solución buffer pH 1 y, en otro, 1 mL de solución buffer pH 4.5. Posteriormente, se añadieron 500 µL de una solución de microencapsulado (al 10% p/v en agua) en cada tubo y se agitó. A cada suspensión se le midió la absorbancia a 520 nm (longitud de onda de máxima absorbancia de las antocianinas) y a 700 nm en el espectrofotómetro, usando como blanco el buffer correspondiente. La absorbancia final se calculó con la siguiente ecuación: $A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH4.5}$. El valor de la absorbancia calculada se sustituyó en la siguiente ecuación para obtener la concentración de antocianinas monoméricas totales:

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/L)} = \frac{A \cdot PM \cdot FD \cdot 1000}{\epsilon \cdot 1}$$

Donde PM y ϵ , corresponden al peso molecular y la absorptividad molar de la antocianina que predomina en la muestra y FD es el factor de dilución (volumen total/volumen de extracto o muestra).

Dado que una de las antocianinas predominantes en *H. sabdariffa* es la cianidina-3-glucósido, se utilizó su peso y absorptividad molar (PM: 449.2 g/mol y ϵ : 26,900). EL resultado obtenido se expresó como miligramos equivalentes de cianidina-3-glucósido por gramo de muestra (mg EC-3G/g de muestra). Se determinó la actividad de agua por Aqua (LAB V. 2.2.), agregando 100 mg de muestra de microencapsulado al equipo. Se determinó la humedad del microencapsulado por Termobalanza (OHAUS, Suiza), agregando 500 mg de muestra de microencapsulado al equipo.

3. Resultados y Discusión

Microencapsulación por secado por aspersión. Se obtuvo el microencapsulado de cada una de las cepas probióticas como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Microencapsulado de bacteria probiótica con extracto de jamaica.

Caracterización de las microcápsulas

Rendimiento. Se obtuvieron los rendimientos descritos en el Cuadro 1 para cada tipo de cepa de BAL.

Cuadro 1. Rendimiento del proceso de secado por aspersión.

Microencapsulado	Porcentaje de rendimiento (%)
L-17	75.55
L-19	73.98
L-20	73.98
L-25	70.96

Morfología por microscopio electrónico de barrido. Las microcápsulas presentaron las morfologías que se muestran en la Figura 2.

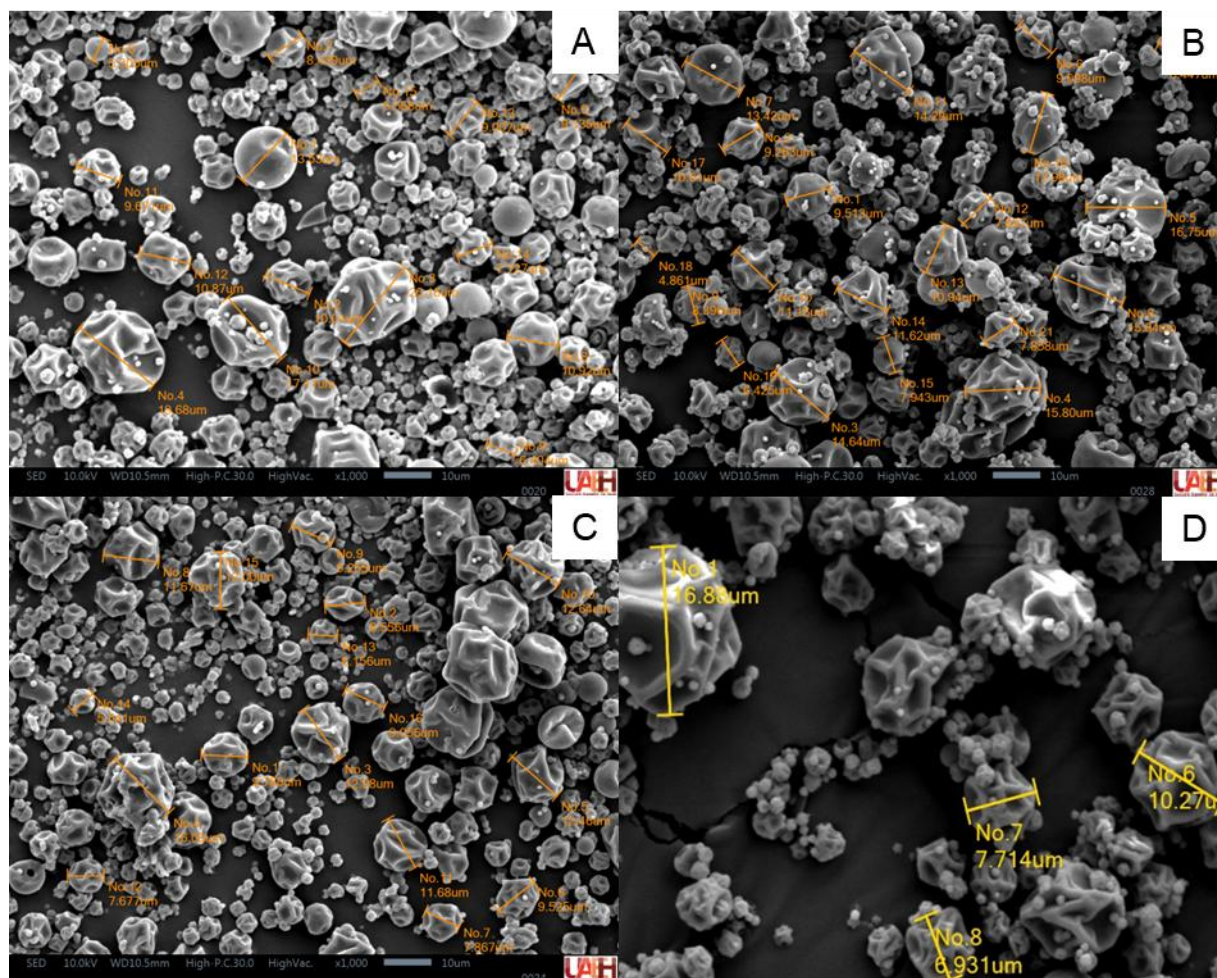


Figura 2. Micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido de los microencapsulados de extracto metanólico de jamaica con cada una de las cepas de BAL A) L-17; B) L-19; C) L-20; D) L-25.

Se observan las microcápsulas de extracto de jamaica con bacterias probióticas (L-17, L-19, L-20 y L-25) con una estructura característica, con cavidades en la superficie que representan un colapso en su estructura debido principalmente a la rápida evaporación del agua, con variedades de tamaños oscilando en promedio entre 2 y 20 μm de diámetro. La morfología y tamaño es de acuerdo a lo reportado por Ochoa-Velasco et al. (2017), utilizando secado por aspersión y utilizando goma de mezquite como material pared.

Viabilidad bacteriana. En el Cuadro 2 se reportan las concentraciones de cada una de las cepas de BAL antes y después de la microencapsulación y los porcentajes (%) de viabilidad.

Cuadro 2. Viabilidad bacteriana después del proceso de encapsulación

Microcápsulas	Concentración bacteriana antes del secado por aspersión (Log UFC/mL)	Concentración bacteriana después del secado por aspersión (Log UFC/mL)	Viabilidad (%)
L-17	10.47 ± 0.01 ^a	10.40 ± 0.05 ^a	99.34 ± 0.61 ^a
L-19	9.65 ± 0.05 ^b	10.34 ± 0.01 ^b	100 ± 0.64 ^b
L-20	10.39 ± 0.04 ^c	10.25 ± 0.02 ^c	98.62 ± 0.27 ^c
L-25	10.15 ± 0.16 ^d	9.83 ± 0.16 ^d	96.85 ± 1.81 ^d

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Se obtuvo una viabilidad bacteriana posterior a la microencapsulación mayor al 96% en todos los casos, reflejando una viabilidad bacteriana acorde a lo reportado en la literatura con porcentajes muy semejantes de 98.98% (Enache et al., 2022; Hernández-López et al., 2018).

Determinación de la capacidad antioxidante del microencapsulado por captación del radical ABTS y DPPH. Los valores de la capacidad antioxidante de cada uno de los microencapsulados obtenidos mediante la técnica del ABTS se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Capacidad antioxidante por método ABTS.

Microcápsulas	mg Equivalentes de trolox/g muestra	Porcentaje de inhibición (%)
L-17	0.037 ± 0.01 ^a	83.55 ± 0.62 ^a
L-19	0.037 ± 0.03 ^a	83.55 ± 0.62 ^a
L-20	0.035 ± 0.01 ^b	80.88 ± 1.25 ^b
L-25	0.037 ± 0.01 ^a	78.40 ± 0.10 ^c

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En todos los casos se tuvo una concentración de entre 0.35-0.37 mg Equivalentes de trolox/g muestra, con porcentajes de inhibición del radical de entre 78.40-83.55%, lo que es muy acorde a lo reportado por Ochoa-Velasco, 2017, con una concentración de $0.08 \pm 0.18 - 0.10 \pm 0.15$ mg Equivalentes de trolox/g de microencapsulado de extracto de jamaica. Los valores de la capacidad antioxidante de cada uno de los microencapsulados obtenidos mediante la técnica del DPPH se muestran en el Cuadro 4.

Se tuvo una concentración de entre 15.64-17.84 mg Ácido Ascórbico/g microencapsulado con porcentajes de inhibición del radical de 33.33-37.61%, lo que es semejante a lo obtenido por Navidad-Murrieta (2020), con una concentración de 21.29 ± 0.02 mg Ácido Ascórbico/g microencapsulado de extracto de jamaica.

Cuadro 4. Capacidad antioxidante por método DPPH

Microcápsulas	mg Ácido Ascórbico/g muestra	Porcentaje de inhibición (%)
L-17	17.60 ± 0.73 ^a	37.14 ± 1.42 ^a
L-19	17.84 ± 0.42 ^a	37.61 ± 0.82 ^a
L-20	15.64 ± 1.12 ^b	33.33 ± 2.18 ^b
L-25	17.11 ± 3.06 ^{ab}	36.19 ± 5.94 ^{ab}

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. La concentración de fenoles totales en cada uno de los microencapsulados se reporta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Fenoles totales en el microencapsulado.

Microcápsulas	Fenoles	mg Ácido Gálico/g muestra	Eficiencia de Microencapsulación (%)
L-17	Totales	13.46 ± 0.09 ^a	61.05 ± 0.87 ^a
L-19	Totales	13.63 ± 0.18 ^a	67.16 ± 1.22 ^b
L-20	Totales	13.68 ± 0.18 ^a	66.89 ± 0.83 ^b
L-25	Totales	14.15 ± 0.25 ^c	72.16 ± 0.79 ^c

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Los diferentes microencapsulados de cepas probióticas mostraron una concentración de 13.46-14.15 mg Ácido Gálico/g muestra y eficiencias de microencapsulación de 61.05-72.16%. Esto es ligeramente inferior a lo reportado por Campo-Fernández et al. (2021), donde reportaron concentraciones de 28.3 – 34.1 mg Ácido Gálico/g muestra, y por arriba de lo reportado por Ochoa-Velasco et al. (2017), quienes reportaron concentraciones de 0.032-0.038 mg Ácido Gálico/g muestra.

Determinación de antocianinas monoméricas totales. Las concentraciones de antocianinas monoméricas totales en cada una de las microcápsulas se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Contenido de antocianinas en microencapsulados.

Microcápsulas	mg de cianidina-3-glucósido (EC-3-G)/g de muestra
L-17	0.891 ± 0.38 ^a
L-19	1.113 ± 0.38 ^a
L-20	0.891 ± 0.38 ^a
L-25	0.891 ± 0.38 ^a

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras indican diferencias significativas.

Los microencapsulados de cepas probióticas con extracto de jamaica tuvieron una concentración de 0.891-1.113 mg de cianidina-3-glucósido (EC-3-G)/g de muestra, lo cual es ligeramente inferior a lo reportado por Ochoa-Velasco et al., (2017), quienes reportaron concentración de 3.0-3.4 mg de cianidina-3-glucósido (EC-3-G)/g de muestra.

Aw. Lo valores de actividad de agua en cada una de las microcápsulas se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de Aw en los microencapsulados.

Microcápsulas	Aw
L-17	0.483 ± 0.001 ^a
L-19	0.482 ± 0.001 ^a
L-20	0.479 ± 0.001 ^b
L-25	0.359 ± 0.006 ^c

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La actividad de agua de las microcápsulas ronda entre 0.359-0.483, lo que es muy similar a los reportado por Ochoa-Velasco et al. (2017), con puntaje de 0.34 de actividad de agua.

Humedad. El Cuadro 8 muestra los valore de humedad para cada uno de los microencapsulados.

Cuadro 8. Humedad (%).

Microcápsulas	Humedad (%)
L-17	5.09 ± 0.0 ^a
L-19	5.25 ± 0.0 ^b
L-20	4.91 ± 0.0 ^c
L-25	4.66 ± 0.0 ^d

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La humedad de las microcápsulas fue de 4.66-5.25%, es así, acorde a lo reportado por Campo-Fernández et al., 2021 con humedad de 3.6 – 5.3%, por Navidad-Murrieta et al. (2020), con humedad de 2.77-9.55% y por Ochoa-Velasco et al. (2017), con humedad de 4.3%.

4. Conclusiones

Se logró microencapsular cepas probióticas en mezcla con extracto de *H. sabdariffa* por medio de secado por aspersión, resultando rendimientos de entre 70.96-75.55%, las microcápsulas tuvieron una estructura característica, resultado del secado por aspersión, además se logró una viabilidad bacteriana por encima del 96.85% en todos los casos, una capacidad antioxidante dentro de los valores que

reportan otros autores en microencapsulados semejantes, también la concentración de antocianinas monoméricas totales están dentro de los parámetros que reporta la bibliografía, la actividad de agua osciló entre 0.359-0.483, lo que representa valores normales para los microencapsulados secados por aspersión, el porcentaje de humedad de las microcápsulas está entre 4.66-5.25% lo que representa una humedad baja, lo que sugiere estabilidad en las microcápsulas.

Referencias Citadas

- Campo-Fernández M. et al. (2021). Microencapsulación mediante secado por atomización a partir de un extracto de los cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. Revista Colombiana de Química, 50(1): 2357-3791.
- Enache, I. M., Vasile, M. A., Crăciunescu, O., Prelipcean, A. M., Oancea, A., Enachi, E., Barbu, V., Stănciuc, N., & Vizireanu, C. (2022). Co-Microencapsulation of anthocyanins from cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits and lactic acid bacteria into antioxidant and Anti-Proliferative derivative powders. *Nutrients*, 14(17), 3458.
- Fung, F., Wang, H. S., & Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*, 41(2), 88-95.
- Galdeano, C. M., Cazorla, S. I., Dumit, J., Del Mar Velez, E. M., & Perdígón, G. (2019). Beneficial Effects of Probiotic Consumption on the Immune System. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 74(2), 115-124.
- Guarner F., Schaafsma G. J. (1998). Probiotics. *Int. J. Food Microbiol.* 39, 237–238.
- Hernández-López, Z., Rangel-Vargas, E., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Cadena-Ramírez, A., Acevedo-Sandoval, O. A., Gordillo-Martínez, A. J., & Falfán-Cortés, R. N. (2018). Optimization of a spray-drying process for the production of maximally viable microencapsulated *Lactobacillus pentosus* using a mixture of starch-pulque as wall material. *LWT*, 95, 216-222.
- Hussain, N., Tariq, M., Saris, P. E. J., & Zaidi, A. (2021b). Evaluation of the probiotic and postbiotic potential of lactic acid bacteria from artisanal dairy products against pathogens. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 15(01), 102-112.
- Jamrozik, D., Borymska, W., & Kaczmarczyk-Żebrowska, I. (2022). *Hibiscus sabdariffa* in Diabetes Prevention and Treatment—Does It Work? An Evidence-Based Review. *Foods*, 11(14), 2134.
- Navidad-Murrieta, M. S., Pérez-Larios, A., Sánchez-Burgos, J. A., Ragazzo-Sánchez, J. A., Luna-Bárcenas, G., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2020). Use of a taguchi design in hibiscus *sabdariffa* extracts encapsulated by Spray-Drying. *Foods*, 9(2), 128.
- Ochoa-Velasco, C., Salazar-González, C. Y., Cid-Ortega, S., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2017). Antioxidant characteristics of extracts of hibiscus *Sabdariffa* calyces encapsulated with mesquite gum. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1747-1756.
- Pękal, A., & Pyrzyńska, K. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay. *Food Analytical Methods*, 7(9), 1776-1782.
- Rajam, R., Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. *Food Science and Technology*, 60, 773-780.
- Resta-Lenert S, Barrett KE: Live probiotics protect intestinal epithelial cells from the effects of infection with enteroinvasive *Escherichia coli* (EIEC). *Gut* 2003; 52: 988–997
- Samreen, Ahmad, I., Malak, H. A., & Abulreesh, H. H. (2021). Environmental antimicrobial resistance and its drivers: a potential threat to public health. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 27, 101-111.

Efecto *in vitro* de nanopartículas de selenio (SeNPs) en el crecimiento de hortalizas

Leví Alberto González-López¹, Soledad García-Morales^{2,*}, Joaquín A. Qui-Zapata³

Resumen. En este trabajo se abordó el uso de las nanopartículas de selenio (SeNPs) en la agricultura para aumentar la producción alimentaria, así como las limitantes de una fuente nanométrica de selenio para enriquecer a los cultivos. El principal objetivo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de SeNPs en la germinación y el crecimiento de hortalizas. Las especies vegetales utilizadas fueron: tomate (*Solanum lycopersicum*), chile serrano (*Capsicum annuum*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Se realizaron dos experimentos de germinación, utilizando tres concentraciones de SeNPs (0.2, 0.5 y 1.0 mg/L) denominadas CHE (obtenidas con extracto de *Amphipterygium glaucum*) y COF (sintetizadas con extractos de *Calendula officinalis*), ya sea en solución acuosa o suministradas al medio de cultivo MS (Murashige y Skoog). Se evaluaron los parámetros de crecimiento de las plantas y se encontró que las SeNPs funcionaron como bioestimulantes al mejorar la altura de tallo, alargar las raíces, aumentar el peso fresco e incrementar el contenido de clorofilas. Se concluyó que los mejores resultados se obtuvieron con las SeNPs COF a concentraciones de 0.2 y 1.0 mg/L. Finalmente, se enfatiza que la especie con mejor respuesta a la aplicación de las SeNPs fue *S. lycopersicum*.

Palabras clave: Selenio, Nanopartículas, Bioestimulante, Germinación, Hortalizas.

Abstract. This work addressed the use of selenium nanoparticles (SeNPs) in agriculture to increase food production, as well as the limitations of a nanometric selenium source to enrich crops. The main objective was to evaluate the effect of different concentrations of SeNPs on the germination and growth of vegetables. The vegetable species used were tomato (*Solanum lycopersicum*), serrano chili (*Capsicum annuum*) and lettuce (*Lactuca sativa*). Two germination experiments were carried out using three concentrations of SeNPs (0.2, 0.5, and 1.0 mg/L) named CHE (obtained from *Amphipterygium glaucum* extract) and COF (synthesized with *Calendula officinalis* extracts), either in aqueous solution or supplied to the MS culture medium (Murashige and Skoog). Plant growth parameters were evaluated, and it was found that SeNPs functioned as biostimulants by improving plant height, elongating roots, increasing fresh weight and enhancing chlorophyll content. It was concluded that the best results were obtained with COF SeNPs at 0.2 and 1.0 mg/L concentrations. Finally, it is emphasized that the species with the best response to the application of SeNPs was *S. lycopersicum*.

Keywords: Selenium, Nanoparticles, Biostimulant, Germination, Vegetables.

1. Introducción

Debido al inminente crecimiento de la población mundial, se ha buscado la manera de acelerar la producción de alimentos para cumplir con la demanda alimenticia. La utilización de fertilizantes de origen químico basados comúnmente en elementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), entre otros productos como el glifosato, ha tomado un papel relevante para aumentar la productividad

¹Universidad Jesuita de Guadalajara ITESO, Guadalajara, Jalisco, México.

²CONAHCYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

³Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

*Autor para correspondencia: smorales@ciatej.mx

y el rendimiento de los cultivos (López-Gervacio et al., 2023). Actualmente, se ha incrementado la demanda de insumos para la producción agrícola, principalmente aquellos que se enfoquen en mejorar la producción de cultivos, brindar una mejor salud a las plantas y prolongar la vida postcosecha de los productos. También, se ha buscado aumentar el valor agregado de los alimentos vegetales en el mercado, ya sea potenciando sus propiedades nutricionales o mejorando sus características organolépticas (Garza-García et al., 2023).

La germinación es el proceso a través del cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta. El proceso se desarrolla de manera gradual cuando el embrión se encuentra en condiciones adecuadas, como lo son la presencia de agua, oxígeno, luz y nutrientes. La germinación se puede alcanzar inmediatamente después de la dispersión de las semillas o puede pasar por un período de letargo más amplio, que depende de las condiciones ambientales a las que se sometan las semillas (Alava-Vargas, 2015). Por otro lado, la biofortificación agronómica y genética de los cultivos agrícolas con selenio (Se) representa una estrategia potencial para mejorar su producción y elevar la calidad nutricional de los productos agrícolas. Dicha técnica consiste en la aplicación del elemento químico de interés, como el Se, a las plantas cultivadas, ya sea vía foliar, por impregnación o directamente en la raíz durante el ciclo de cultivo (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018).

El Se es un análogo químico del azufre (S), este último es reconocido como un nutriente esencial para las plantas. Estudios han demostrado que el Se es un componente importante de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px), que desempeña un papel relevante en la protección de la estructura de la membrana celular y en la reducción del estrés oxidativo (Li et al., 2023). La aplicación exógena del Se activa los mecanismos antioxidantes y reduce los procesos de senescencia. Además, la adición de Se en los germinados está relacionado con un incremento en el contenido de compuestos bioactivos en las plantas. El contenido de Se en las plantas es completamente dependiente de la abundancia de Se en el suelo, no obstante, las fuentes de Se que enriquecen el suelo son muy limitadas. Aunado a que, la distribución de Se en suelos naturales no es adecuadamente uniforme, lo que provoca problemas como un bajo contenido de Se y un enriquecimiento desigual de este elemento en los cultivos (Li et al., 2023). Hoy en día, la agricultura hace uso de un gran número de nanomateriales, específicamente enfocados en la generación de fertilizantes, bioestimulantes o pesticidas biológicos, estos últimos para emplearlos en el combate contra fitopatógenos. Con este tipo de tecnologías se pretende que, en un futuro, se creen opciones viables y ecológicas como alternativas al uso de productos de origen químico (Deshpande, 2019).

Debido a los efectos benéficos que proporciona el Se en las plantas y con la hipótesis de que las SeNPs brindarán un mayor beneficio como bioestimulante del crecimiento de las plántulas, se plantearon dos experimentos con el propósito de germinar semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annuum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) utilizando diferentes concentraciones de SeNPs para determinar su efecto en la germinación y en el desarrollo de las plántulas bajo dos medios de crecimiento.

2. Materiales y Métodos

Material vegetal. Se utilizaron semillas de chile serrano (*C. annuum*) y lechuga (*L. sativa*) ambas de la marca ITSCO; así como, semillas de jitomate (*S. lycopersicum*) de la marca FAX.

Obtención de las SeNPs. Como fuente bioestimulante se utilizaron las SeNPs provenientes de síntesis verde con extractos de *Amphipterygium glaucum*, nombradas CHE (Garza-García et al., 2023)

y con extractos de *Calendula officinalis*, denominadas como COF (Hernández-Díaz et al., 2021). El tamaño promedio de las SeNPs CHE resultó de 161.4 nm; mientras que, las SeNPs COF fue de 87.70 nm

Tratamientos. Se realizaron dos experimentos de germinación in vitro. El primer experimento de germinación se realizó en recipientes de plástico, las fuentes de SeNPs se aplicaron en solución acuosa en tres concentraciones diferentes: 0.2, 0.5 y 1.0 mg/L. Para el segundo experimento de germinación, se seleccionaron los tratamientos contrastantes del primer experimento y se realizó en medio de cultivo MS (Murashige & Skoog, 1962), al cual se agregaron las SeNPs (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados durante los ensayos de germinación 1.

Tratamientos	Germinación 1 / mg/L			Germinación 2 / mg/L		
Fuente de Se	<i>S. lycopersicum</i>	<i>C. annuum</i>	<i>L. sativa</i>	<i>S. lycopersicum</i>	<i>C. annuum</i>	<i>L. sativa</i>
SeNPS CHE	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
	1.0	1.0	1.0			
SeNPS COF	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
	1.0	1.0	1.0			

Condiciones de crecimiento. Los experimentos se establecieron bajo condiciones de laboratorio. Los recipientes con las semillas y los tratamientos se colocaron en un cuarto de incubación a 25 °C, durante 21 días para la germinación 1 y 14 días para la germinación 2.

Variables evaluadas. Se determinó el porcentaje de germinación y se midió el crecimiento de 10 plántulas (altura, longitud de las raíces y el peso fresco). Las plántulas se guardaron en bolsas de papel, se congelaron a -80 °C durante 48 h y se liofilizaron durante 12 h para obtener el tejido seco.

Determinación de clorofila. Se pesó 0.01 g de tejido foliar seco (previamente liofilizado), se colocó en tubos de plástico con tapa. Después, se agregó 1 mL de acetona 80% a cada tubo, se cubrió con papel aluminio y se incubó a 4 °C durante 48 horas. Se midió la absorción de la muestra a una longitud de onda de 645 y 663 nm, utilizando acetona al 80% como blanco. El contenido de clorofila total se calculó de acuerdo con lo reportado por Saldaña-Sánchez et al., (2019).

Análisis estadístico. Se tuvieron tres repeticiones por tratamiento, una repetición consistió en un recipiente con 25 semillas para el ensayo de germinación 1 y en un frasco con 10 semillas para el ensayo de germinación 2. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de rangos múltiples de Duncan para la separación de medias con un valor de $\alpha=0.05$. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa STATGRAPHICS (Versión 18.2.06).

3. Resultados y Discusión

Porcentaje de germinación. Como primer parámetro se evaluó el porcentaje de germinación de las semillas colocadas en los diferentes tratamientos con las SeNPs. Esto se hizo con el objetivo de identificar los mejores tratamientos para el segundo ensayo de germinación. Los datos obtenidos son el promedio de las tres repeticiones de cada tratamiento y se muestran en las figuras 1 y 2.

Para el ensayo de germinación 1, se encontraron porcentajes de germinación arriba del 50% para todos los tratamientos, incluido el testigo; así como para las tres especies evaluadas tal como se observa en la figura 1. Para *S. lycopersicum* se encontró que las SeNPs COF a una concentración de 1.0 mg/L tuvo el mayor porcentaje de germinación. Para *C. annuum* no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con SeNPs. Para *L. sativa* tampoco se encontraron diferencias entre los tratamientos con SeNPs (Figura 1).

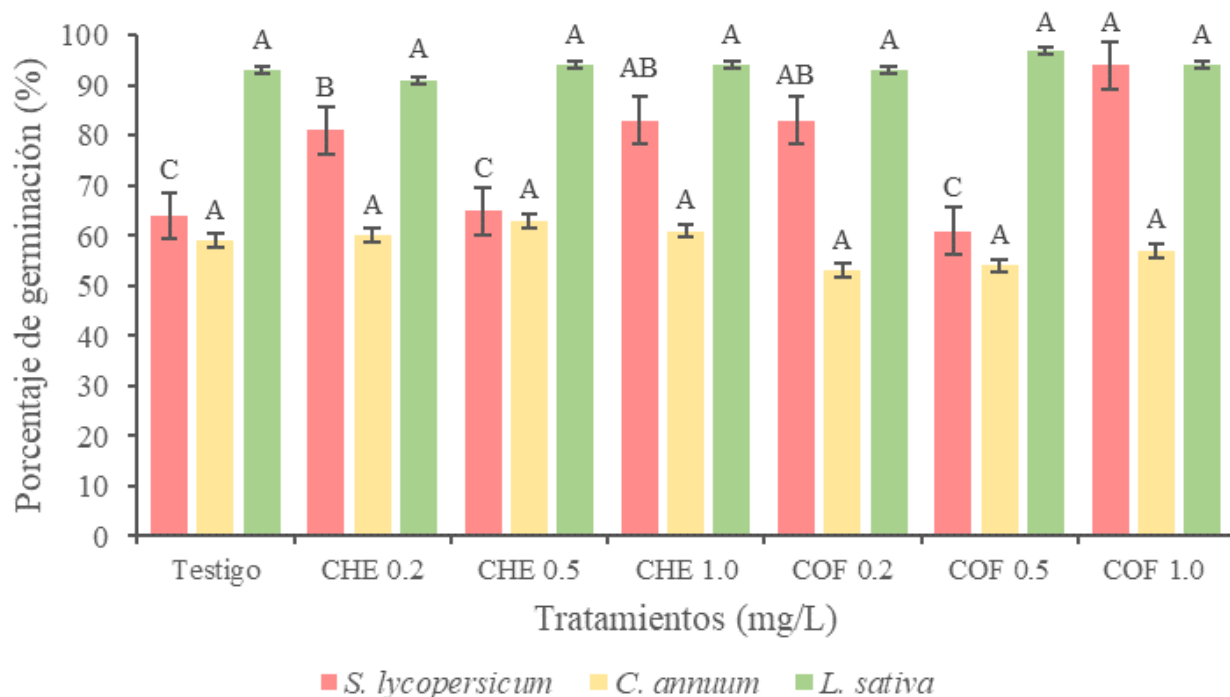


Figura 1. Porcentaje de germinación de hortalizas con la aplicación de SeNPs (germinación 1). $\pm$ desviación estándar (DS), las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En el ensayo de germinación 2 (en medio de cultivo MS), se encontraron porcentajes de germinación arriba del 50% para todos los tratamientos. Como se muestra en la figura 2 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada especie, puesto que todos estos se encuentran en el mismo grupo homogéneo. En general, los porcentajes de germinación en el medio MS fueron inferiores a los obtenidos con las soluciones acuosas del ensayo de la germinación 1 (Figura 1). Por ejemplo, la germinación promedio de las semillas de jitomate con 1.0 mg/L

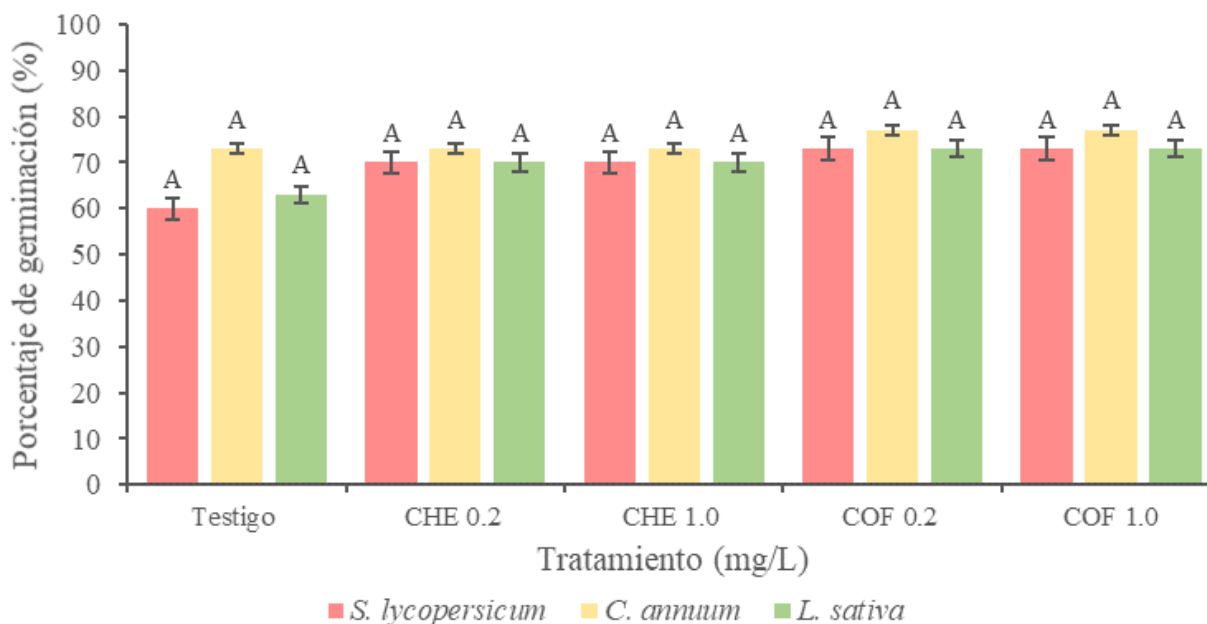


Figura 2. Porcentaje de germinación de semillas de hortalizas, en medio MS, con SeNPs (germinación 2). $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Parámetros de crecimiento de las plántulas. Del experimento de germinación 1, se seleccionaron 10 plántulas de cada tratamiento y se midió la altura, la longitud de las raíces y el peso fresco de toda la plántula. La mayor altura de plántula para *S. lycopersicum* se obtuvo con 0.5 mg/L de SeNPs CHE; así como con 0.2 y 0.5 mg/L SeNPs COF. Mientras que, 1 mg/L de COF redujo significativamente la altura de plántula. Para *C. annuum* se observó un mayor crecimiento de la plántula con SeNPs CHE 0.2 y 1.0 mg/L y los tratamientos 0.5 mg/L CHE y 1.0 mg/L COF fueron inferiores al testigo. En cuanto a *L. sativa* la mayor altura se encontró con las concentraciones de SeNPs CHE 0.2 mg/L y 1.0 mg/L COF; aunque, todos los tratamientos fueron superior al testigo (Figura 3A).

Para el experimento de germinación 2, la altura de plántula de *S. lycopersicum* resultó superior con SeNPs COF a 0.2 mg/L. Un resultado similar se encontró en la altura de plántula de *C. annuum*. En ambas especies hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos comparado con el testigo. En el caso de *L. sativa*, se obtuvo una altura de plántula superior en el tratamiento testigo comparado con todos los tratamientos de SeNPs, identificando un efecto negativo con 1.0 mg/L con SeNPs COF al reducir la altura de la plántula (Figura 3B).

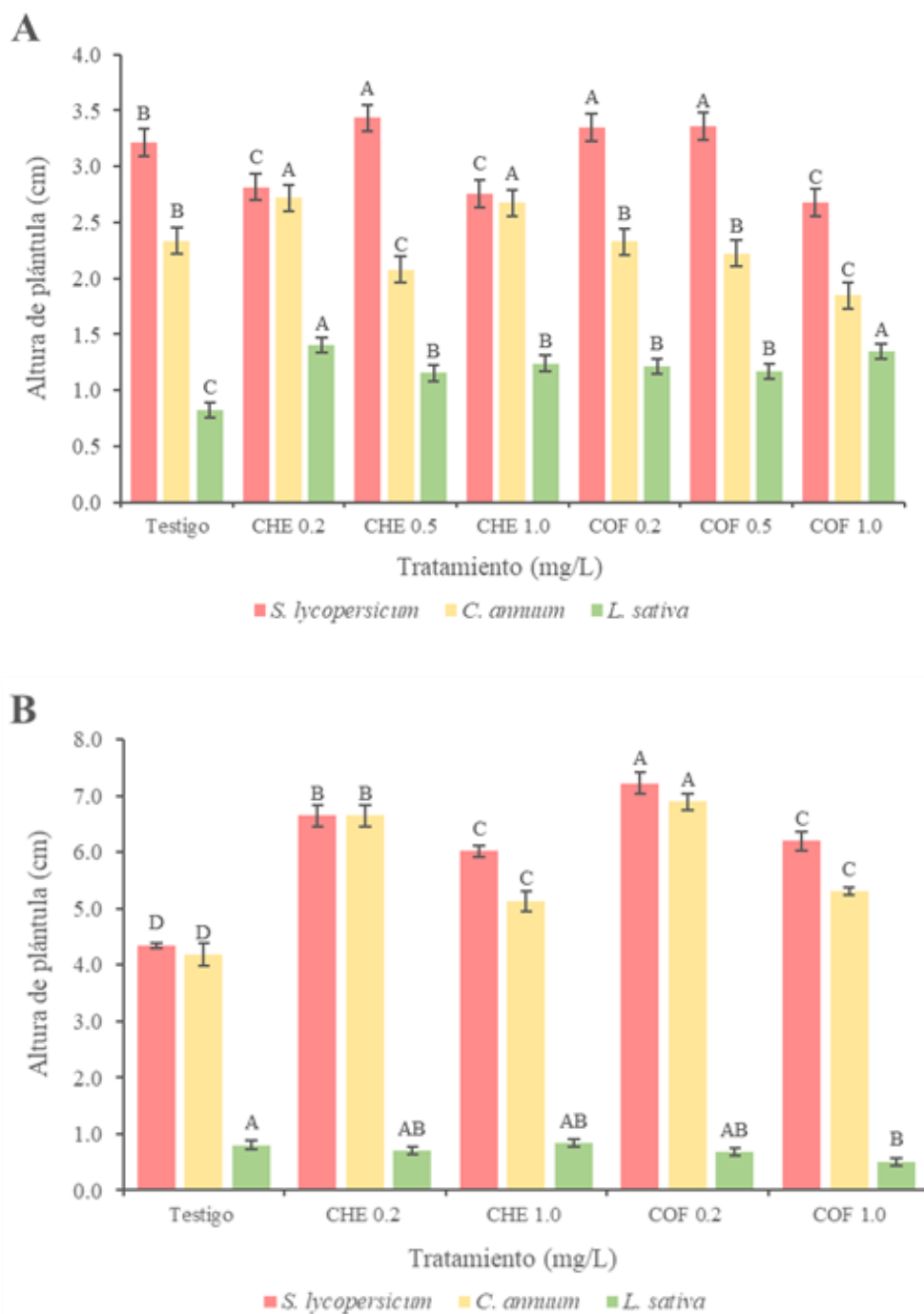


Figura 3. Altura de plántula del experimento de germinación 1 (A) y de germinación 2 (B) con la aplicación de SeNPs. $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Con respecto al crecimiento de las raíces, en el experimento de germinación 1, *S. lycopersicum* presentó una mayor longitud de raíz en el testigo comparado con los tratamientos que contienen SeNPs. Para *C. annuum*, los tratamientos con 0.2 y 1.0 mg/L de SeNPs CHE fueron estadísticamente similares al testigo, el resto de los tratamientos fueron inferiores. En el caso de *L. sativa*, las SeNPs CHE a 0.2 mg/L fue el tratamiento más efectivo para la longitud de la raíz, seguido de 0.5 mg/L CHE y 0.2 y 1.0 mg/L COF, el resto de los tratamientos presentaron una menor longitud de raíz que el testigo (Figura 4A).

Para el experimento de germinación 2, en las plántulas de *S. lycopersicum* se tuvo una menor longitud de raíz con todos los tratamientos de SeNPs comparado con el testigo. Un efecto contrario se tuvo en *C. annuum* donde la longitud de la raíz fue superior con todas las concentraciones de SeNPs, resaltando las SeNPs CHE de 1.0 mg/L y COF de 0.2 mg/L como los tratamientos más efectivos. En *L. sativa*, únicamente SeNPs CHE 0.2 mg/L fue similar al testigo, el resto de los tratamientos con SeNPs fueron inferiores al testigo (Figura 4B).

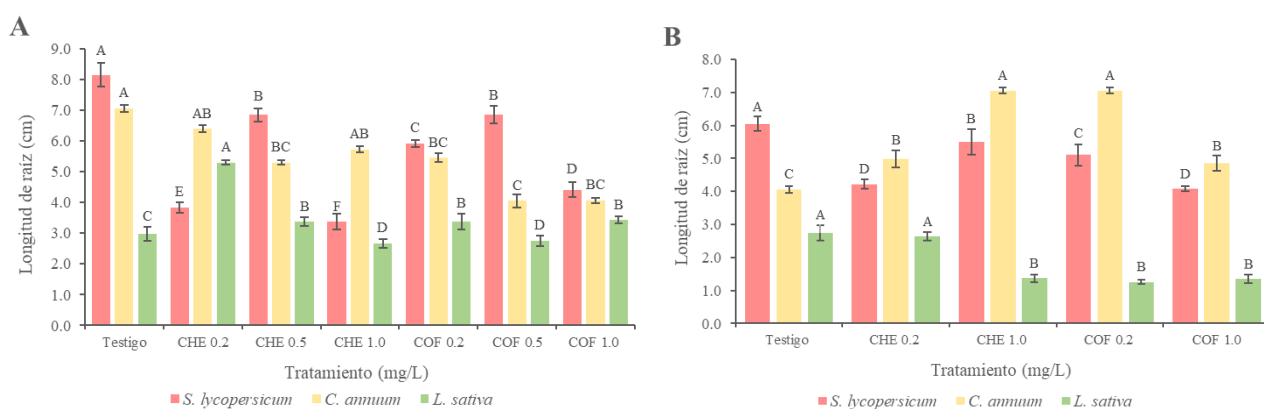


Figura 4. Longitud de las raíces para los experimentos de germinación 1 (A) y germinación 2 (B) con la aplicación de SeNPs COF y CHE. $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En el experimento de germinación 1, el peso fresco de las plántulas de *S. lycopersicum* fue mayor en casi todos los tratamientos con SeNPs, con excepción de 0.5 mg/L que fue estadísticamente similar al testigo, destacando el tratamiento con 1.0 mg/L de las SeNPs COF. En las plántulas de *C. annuum* el mayor peso fresco se obtuvo con las concentraciones de 0.2 y 1.0 mg/L de SeNPs COF, el resto de los tratamientos con SeNPs tuvieron un peso fresco similar al testigo. En *L. sativa* también se tuvo un mejor efecto con las SeNPs COF, específicamente, con los tratamientos de 0.2 y 10 mg/L (Figura 5A).

En el experimento de germinación 2, las plántulas de *S. lycopersicum* tuvieron un mayor peso fresco con la concentración de 0.2 mg/L de SeNPs CHE, el resto de los tratamientos con SeNPs fueron similares al testigo. En *C. annuum*, las SeNPs COF aumentaron el peso fresco de las plántulas, pero destacó el tratamiento con 1.0 mg/L de SeNPs CHE con el mayor peso fresco. Para *L. sativa* el peso fresco del tratamiento con 1.0 mg/L de SeNPs CHE fue similar al testigo, el resto de los tratamientos fueron inferiores al testigo (Figura 5B).

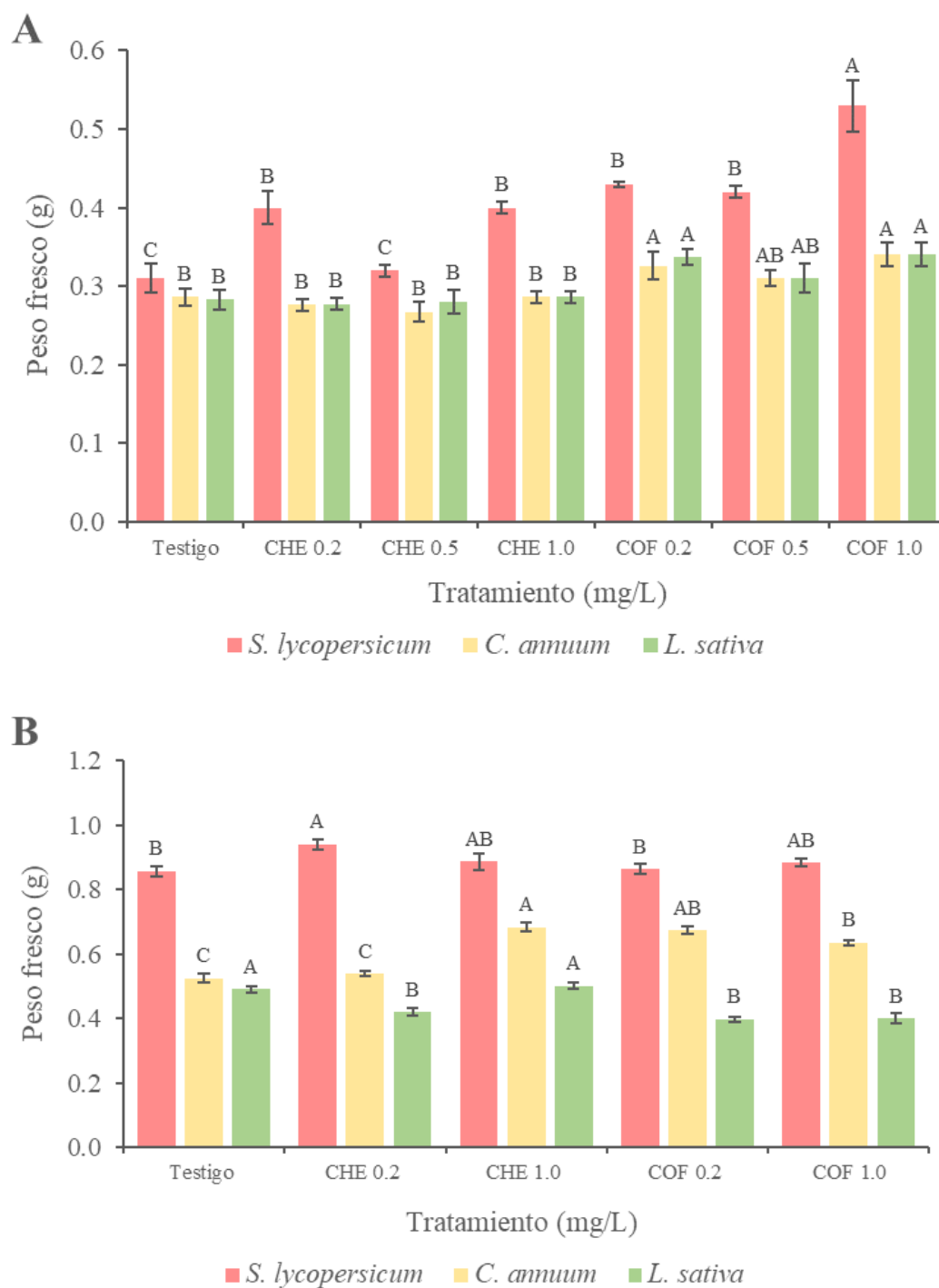


Figura 5. Peso fresco de las plántulas de los experimentos de germinación 1 (A) y germinación 2 (B) con la aplicación de las SeNPs COF y CHE. $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En las figuras 6 y 7 se presenta una comparación fenotípica de las plántulas obtenidas en cada uno de los tratamientos de los dos experimentos de germinación. Cabe resaltar que, aunque algunos tratamientos tuvieron una mayor longitud de la raíz principal, en otros tratamientos se puede observar una formación de raíces laterales prominente.

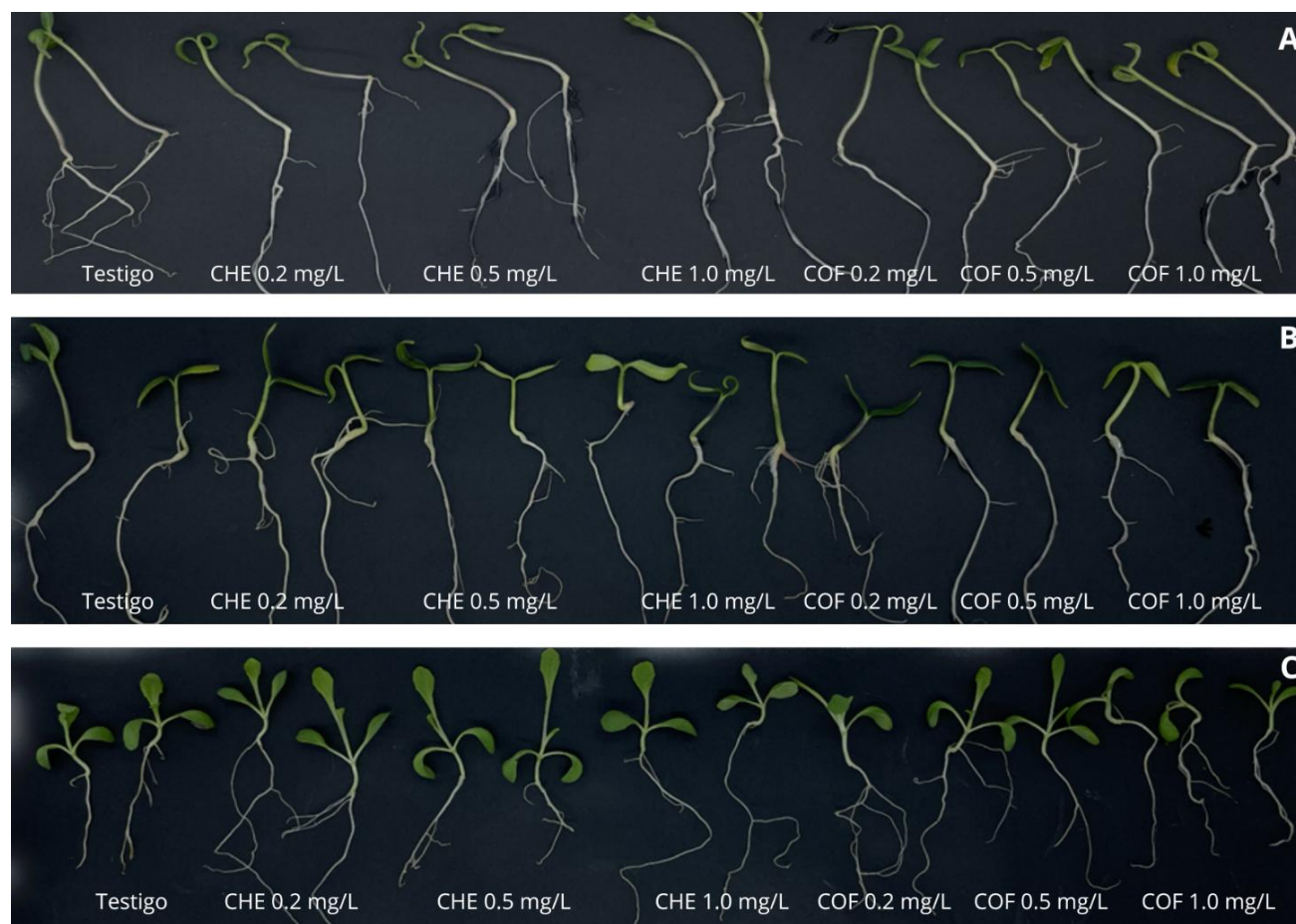


Figura 6. Comparación fenotípica de las plántulas con la aplicación de los tratamientos con SeNPs, donde A: *S. lycopersicum*, B: *C. annuum*, C: *L. sativa* (experimento de germinación 1).



Figura 7. Comparación fenotípica de las plántulas crecidas en medio MS con las SeNPs CHE o COF, donde A: *S. lycopersicum*, B: *C. annuum*, C: *L. sativa* (experimento de germinación 2).

Contenido de clorofila total. Para las plántulas del primer experimento de germinación, el mayor contenido de clorofila total de *S. lycopersicum* se encontró en el tratamiento testigo, para todos los tratamientos con SeNPs el contenido de clorofila fue inferior al testigo (Figura 8A). A diferencia de lo encontrado en las plántulas del experimento de germinación 2, donde se usó el medio de cultivo MS se tuvo un mayor contenido de clorofila con la concentración de SeNPs CHE 1.0 mg/L, el resto de los tratamientos presentaron un mayor contenido de clorofila total con respecto al testigo (Figura 8B).

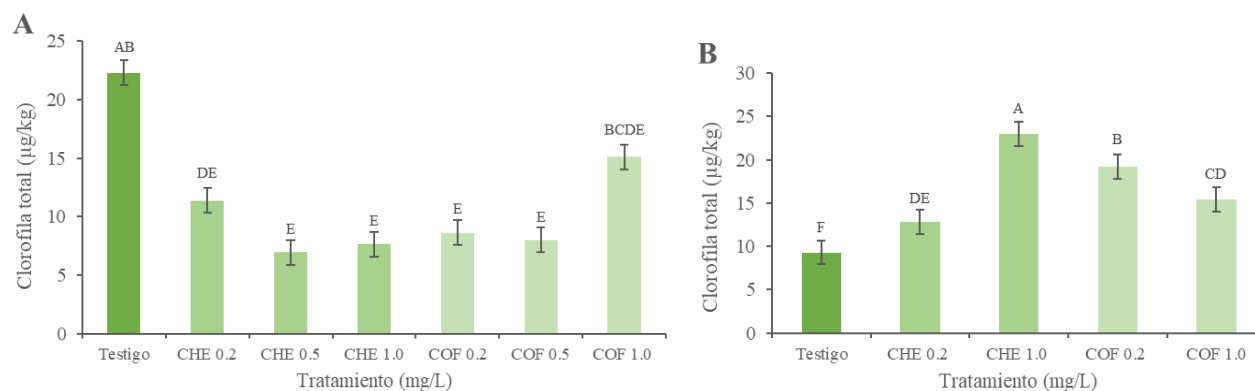


Figura 8. Contenido de clorofila total de plántulas de jitomate (*S. lycopersicum*) de los experimentos de la germinación 1 (A) y la germinación 2 (B) con SeNPs CHE o COF. $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Con respecto al contenido de clorofila total en las plántulas de *C. annuum*, del primer experimento de germinación, el mayor contenido de clorofila se encontró con la concentración de las SeNPs CHE de 0.2 mg/L, seguido de los tratamientos con 1.0 mg/L de SeNPs CHE y de COF, luego el tratamiento de 0.2 mg/L de COF y los demás tratamientos fueron estadísticamente similares al testigo (Figura 9A). En el experimento de germinación 2, en medio de cultivo MS, resaltan los tratamientos con la SeNPs COF (0.2 y 1.0 mg/L), ya que se obtuvo el mayor contenido de clorofila total. El tratamiento con 1.0 mg/L de SeNPs CHE también aumentó el contenido de clorofila total en las plántulas de chile, con respecto al testigo (Figura 9B).

Como se observa en la figura 6, la adición de SeNPs en la germinación resultó en plántulas con características fisiológicas singulares. No obstante, cuando las SeNPs interactúan con otros elementos, como los que están presentes en el medio de cultivo MS (Figura 7), las plántulas presentan características totalmente diferentes en comparación con la solución acuosa (Figura 6). Las plántulas de tomate y de chile tuvieron mayor altura, número de raíces laterales y peso fresco en el segundo experimento con el medio MS; mientras que, las plántulas de lechuga presentaron un mejor crecimiento en el experimento 1 con la solución acuosa. Estos resultados podrían estar relacionados con la velocidad de germinación de las semillas, donde las semillas de lechuga germinan más rápido que las otras especies evaluadas.

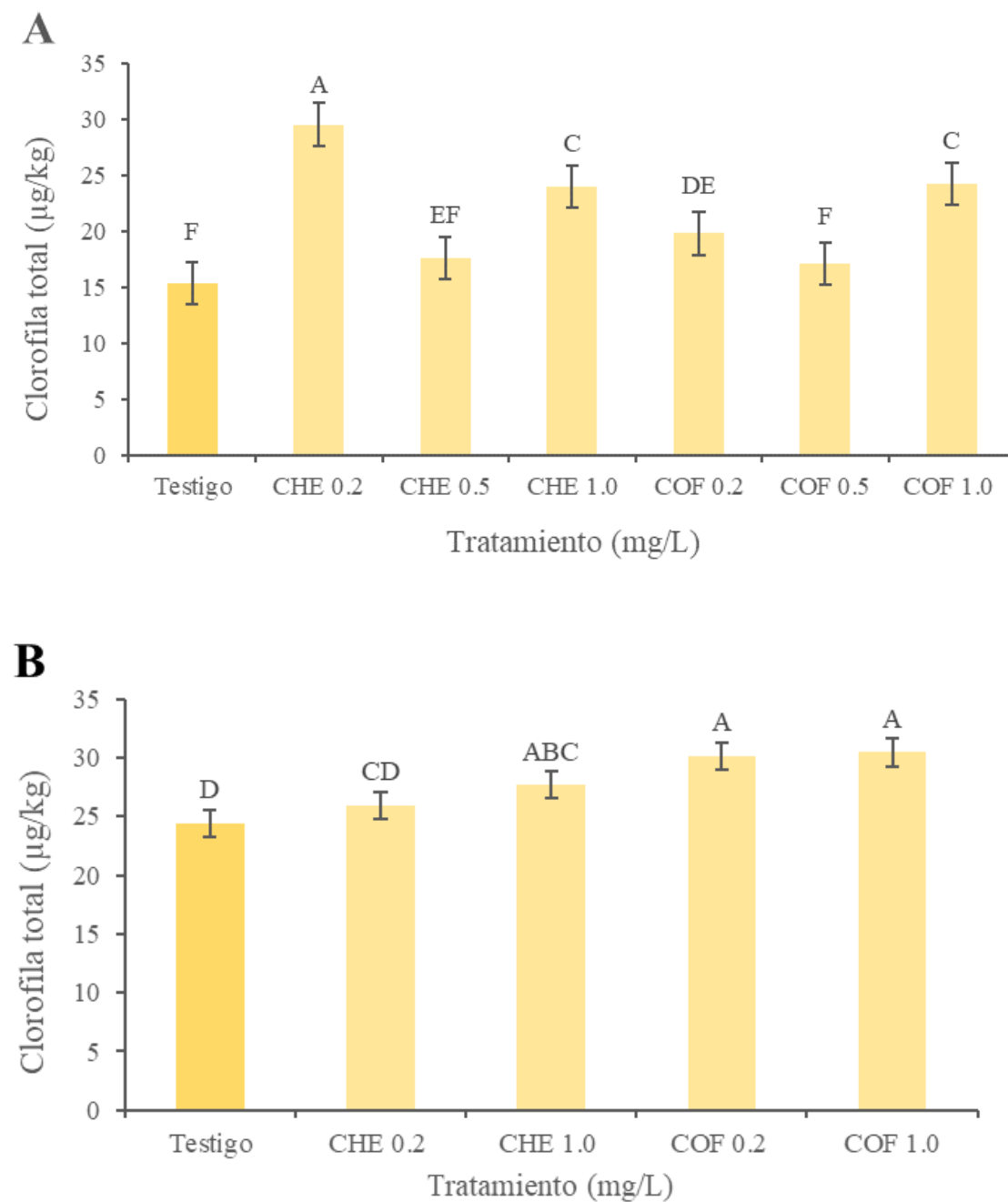


Figura 9. Contenido de clorofila total en plántulas de chile serrano (*C. annuum*) de los experimentos de la germinación 1 (A) y la germinación 2 (B) con SeNPs CHE o COF. $\pm$ DS, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En un estudio reportado por León-Morales et al., (2019) se encontró que el Se incrementó el porcentaje de germinación de chile serrano (*C. annuum*). En este estudio se determinó que el Se en forma de NPs podría brindar funciones bioestimulantes al crecimiento de plantas, que se ve reflejado en las características fisiológicas de las plantas como mayor altura de plántula o un incremento en el sistema radicular y el aumento en el número de hojas, lo cual concuerda con los efectos benéficos del Se reportados por Castillo (2015), destacando la altura de planta y longitud de la raíz. También, se ha descrito que con la aplicación de Se en plántulas de tomate y pimiento se ha encontrado un mejor crecimiento de la raíz, mayor volumen radical y área foliar, así como mayor contenido de compuestos fenólicos (Saldaña-Sánchez et al.s 2019). Estas características proporcionarían a las plantas la capacidad de producir un mayor contenido de clorofilas, lo que podría hacer más eficiente el proceso de fotosíntesis, el cual le permite a las plantas obtener energía y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. En este trabajo se obtuvo mayor contenido de clorofila total con la aplicación de SeNPs en plántulas de tomate y chile serrano (Figuras 8A y 9).

Implementar el uso de las SeNPs como bioestimulante puede contribuir a la solución de una de las problemáticas a las que se enfrenta la agricultura actual, la aplicación excesiva de fertilizantes químicos convencionales. Según lo reportado por López-Gervacio et al. (2023), las SeNPs se pueden aplicar durante todo el ciclo del cultivo, utilizando técnicas como la aspersión foliar o mediante la aplicación directa en la raíz, mejorando el rendimiento de producción de hortalizas. En otro estudio Garza-García et al. (2023) reportaron el potencial de las SeNPs CHE como agentes con actividad antimicrobiana para el control de fitopatógenos, lo cual concuerda con lo experimentado en este trabajo, puesto que ningún de los dos experimentos de biofortificación con SeNPs presentó crecimiento de microorganismos contaminantes, con excepción de *L. sativa* donde todos los experimentos en medio MS se contaminaron, posiblemente por el tratamiento de desinfección aplicado a las semillas.

Las SeNPs tuvieron efectos en todos los parámetros evaluados; no obstante, la respuesta de las hortalizas evaluadas no fue generalizado, ya que dependió de las condiciones experimentales (con y sin medio MS), de las concentraciones aplicada y del tipo de SeNPs. Por lo que, sería conveniente realizar más experimentos con esta fuente de Se para poder establecer un límite permisible o una concentración adecuada, ya que hubo indicios de efectos de fitotoxicidad al tener menor crecimiento (Figuras 3 y 4) y menor concentración de clorofila total (Figura 8A) en algunas concentraciones evaluadas. Para próximos estudios se sugiere probar más concentraciones de las SeNPs para su uso como bioestimulante, teniendo como referencia el proceso de hormesis (estimulación en dosis bajas e inhibición del crecimiento en dosis altas). Así como realizar pruebas en otras etapas del cultivo y en otras condiciones de cultivo.

4. Conclusiones

La especie que presentó mayor respuesta a los tratamientos con SeNPs fue *S. lycopersicum*, lo cual se ve reflejado en los parámetros evaluados. En cambio, *L. sativa* se consideró la especie con menos efectos presentados por la adición de las SeNPs. La especie *C. annuum* mostró más cambios en respuesta a las SeNPs en el experimento de germinación 2 (en medio de cultivo MS) que en el experimento 1 con soluciones acuosas de SeNPs, posiblemente debido a la interacción con los nutrientes que ofrece el medio MS. Cada especie de vegetales respondió de manera diferencial a los tratamientos con las SeNPs debido a que tienen requerimientos específicos para su desarrollo. Para ambas SeNPs, la concentración que menos cambios fenotípicos presentó en las especies fue de 0.5

mg/L. Los parámetros de crecimiento evaluados en las plántulas permitieron identificar que las SeNPs COF brindaron mejores resultados como bioestimulante.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología de Jalisco y al COECYTJAL por el financiamiento del proyecto 9851-2022 y al CIATEJ por el financiamiento del proyecto 2004800099-SELENIO.

Referencias Citadas

- Alava-Vargas M. C. (2015). Evaluación de diferentes frecuencias de onda lumínica en la germinación de hortalizas en un sistema controlado.
- Castillo Godina R. G. (2015). Expresión génica diferencial y antioxidantes en la planta de tomate (*Solanum lycopersicon* L. Mill) enriquecida con selenio (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Deshpande, M. V. (2019). Nanobiopesticide perspectives for protection and nutrition of plants. In *Nano-biopesticides today and future perspectives* (pp. 47-68). Academic Press.
- Garduño-Zepeda, A., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. *Información Técnica Económica Agraria*, 114(4), 327-343.
- Garza-García, J. J. O., Hernández-Díaz, J. A., León-Morales, J. M., Velázquez-Juárez, G., Zamudio-Ojeda, A., Arratia-Quijada, J., Reyes-Maldonado, O. K., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2023). Selenium nanoparticles based on *Amphipterygium glaucum* extract with antibacterial, antioxidant, and plant biostimulant properties. *Journal of Nanobiotechnology*, 21(1): 1-19
- Hernández-Díaz, J. A., Garza-García, J. J., León-Morales, J. M., Zamudio-Ojeda, A., Arratia-Quijada, J., Velázquez-Juárez, G., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2021). Antibacterial activity of biosynthesized selenium nanoparticles using extracts of *Calendula officinalis* against potentially clinical bacterial strains. *Molecules*, 26(19): 1-19.
- León-Morales J. M., Panamá-Raymundo W., Langarica-Velázquez E. C. & García-Morales S. (2019). Selenio y vanadio en la germinación y el crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.) y rábano (*Raphanus sativus*). *Revista Bio Ciencias*, 6, 14-pág.
- Li, L., Wu, S., Wang, S., Shi, X., Cheng, S., & Cheng, H. (2023). Molecular mechanism of exogenous selenium affecting the nutritional quality, species and content of organic selenium in mustard. *Agronomy*, 13(5), 1425.
- López-Gervacio A., Hernández-Díaz J. A., Qui-Zapata J. A., Barrera-Martínez I. C., Montero-Corte M. I. & García-Morales S. (2023). Nanopartículas de selenio para la agricultura sostenible. *Crónica MX*.
- Murashige T. & Skoog F. 1962. A Revised Medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 15: 473-497.
- Saldaña-Sánchez, W. D., León-Morales, J. M., López-Bibiano, Y., Hernández-Hernández, M., Langarica-Velázquez, E. C., & García-Morales, S. (2019). Effect of V, Se, and Ce on growth, photosynthetic pigments, and total phenol content of tomato and pepper seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 678-688.

Sistemas agroforestales del Programa Sembrando Vida en el Municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca

Cynthia Cruz-Carrasco^{1,*}, Juana Yolanda López-Cruz²

Resumen. Los sistemas agroforestales (SAFs) enfrentan una serie de riesgos a nivel nacional entre los que se encuentran: la disminución de las especies agroforestales; pérdida de conocimientos y/o abandono de prácticas ancestrales, migración, el envejecimiento de la población campesina; intensificación de la agricultura, aumento en el uso de maquinaria y agroquímicos; renta o venta de la tierra a particulares para el establecimiento de agricultura intensiva o construcción de viviendas. El trabajo tiene por objetivo analizar el desarrollo de los sistemas agroforestales, de los sembradores y sembradoras (Sujetos agrarios mayores de edad que habitan en localidades rurales, cuyos municipios se encuentran con niveles de rezago social y que son propietarios o poseedores de 2.5 hectáreas disponibles para ser trabajadas en un proyecto agroforestal, beneficiarios del PSV (DOF, 2023), participantes en el Programa Sembrando Vida (PSV), en la localidad de Las Cruces, municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, para examinar sus problemáticas en el ámbito productivo y socioeconómico y proponer estrategias de mejora. El tipo de investigación es cuantitativa, con enfoque descriptivo, se utilizaron como técnicas de obtención de información; la observación participante y entrevistas semiestructuradas. La caracterización de los sistemas agroforestales se realizó a partir del análisis de las dimensiones: región y finca. Los resultados señalan que los sembradores implementaron los SAFs en laderas y parcelas planas, con una dimensión aproximada de 2.5 has, emplean mano de obra contratada y familiar para realizar sus actividades productivas. Su principal problemática es la falta de agua. En conclusión, los SAFs contribuyen de forma positiva a la continuidad de los sistemas productivos locales, así como a incrementar la producción de alimentos de las familias participantes en el programa. La recomendación es incrementar las alternativas locales para la captación y retención de agua y promover especies nativas, que garanticen la supervivencia de los SAFs.

Palabras clave: Sembrando Vida, Sistemas Agroforestales, Campesinos.

Abstract. Agroforestry systems (SAFs) are facing a series of risks at the national level, including: the decline of agroforestry species; loss of knowledge and/or abandonment of ancestral practices, migration, the ageing of the peasant population; intensification of agriculture, increased use of machinery and agrochemicals; Renting or selling land to private individuals for the establishment of intensive agriculture or housing construction. In this context, the objective of this paper is to analyze the development of agroforestry systems, of the planters and planters, participants in the Sembrando Vida Program (PSV), in the town of Las Cruces, municipality of Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, to examine their problems in the productive and socioeconomic field and propose strategies for improvement. The type of research is quantitative, with a descriptive approach, they were used as techniques to obtain information; participant observation and semi-structured interviews. The characterization of agroforestry systems was carried out based on the analysis of the dimensions: component and farm. The results indicate that the planters implemented the SAFs on slopes and flat plots, with an approximate dimension of 2.5 hectares, with a medium productive intensity, they use hired and family labor to carry out their productive activities. Their main problem is the lack of water. In conclusion, SAFs contribute positively to the continuity of local production systems, as well as to increasing the food production of the

¹CONAHCYT-Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

²Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: ccruzca@ipn.mx ; jylopez@ipn.mx

families participating in the in the program. The recommendation is to increase local alternatives for water capture and retention and promote the establishment of native species, which guarantee the survival of agroforestry systems

Keywords: Sembrando Vida, Agroforestry Systems, Peasants

1. Introducción

El Programa Sembrando Vida instaurado en México en el 2019, se encuentra presente con variaciones acordes con las condiciones climáticas y agroecológica. Técnicos y sembradores se encuentran trabajando en el rediseño de sus parcelas, para el cumplimiento de las reglas de operación, en relación a la meta del número plantas a sembrar. Dichos sistemas agroforestales deben ser funcionales y contribuir a la preservación del equilibrio económico, ambiental y sociocultural de las comunidades (Secretaría de Bienestar, 2022).

Los sistemas agroforestales (SAF) permiten aumentar la productividad de los sistemas agrícolas sin afectar los recursos naturales. Los SAF son formas de uso del suelo en donde se combinan, de manera simultánea, árboles frutales y/o maderables, arbustos, cultivos agrícolas, pastos y/o forrajes para la alimentación del ganado, con el fin de diversificar y optimizar la producción agrícola, de tal forma que sea permanente y sostenible a través del tiempo.

La agroforestería, es un conjunto de prácticas relacionadas con el establecimiento de cultivos entre hileras de árboles para mejorar la fertilidad del suelo, o una diversidad de especies en un huerto casero. Escalante & Somarribam (2001) señalan que es una forma de cultivo múltiple que se desempeña a través de cuatro condiciones fundamentales: cultivo múltiple, establecimiento de al menos dos especies, una especie leñosa perenne y las variedades interactúan biológicamente.

Mendieta & Melina (2007) plantean una metodología para la caracterización de los sistemas agroforestales, que se divide en tres partes: La primera parte consistió en determinar los objetivos y los límites del área; la segunda parte fue recolectar datos físicos, biológicos, socioeconómicos y sobre las particularidades de los sistemas existentes así como distinguir los problemas, necesidades y oportunidades existentes, a partir de las dimensiones: región, finca, parcela, cultivo y determinantes culturales. En la caracterización se analizaron las dimensiones: componente y finca. En la primera parte se describieron las condiciones de clima y precipitación, suelo, cultivos principales, tipo de tenencia y uso de la tierra y en la dimensión finca las condiciones de mano de obra, fuentes de ingreso y percepciones del agricultor respecto al impacto de los SAFs.

2. Materiales y Métodos

La presente es una investigación descriptiva, con un diseño cuantitativo (Hernández & Baptista 2014) Se describieron las características de los sistemas agroforestales del Programa Sembrando Vida, en el Municipio de Santo Domingo Tehuantepec, teniendo como unidad de análisis 20 sembradores, de la comunidad de las Cruces (14 hombres y 6 mujeres). En la primera parte, se realizó la caracterización del sistema agroforestal, a partir de la dimensión región especificando las condiciones físicas, biológicas y socioeconómicas del municipio de estudio. En la segunda etapa se aplicaron entrevistas semiestructuradas, en la que se analizó la dimensión finca a partir de los siguientes: mano de obra,

fuentes de ingreso y percepciones del agricultor, respecto los SAFs, así como un taller participativo en el que se analizaron las principales problemáticas y se integró el plan de producción de viveros.

3. Resultados y Discusión

En la primera etapa se describirá la dimensión región: en el que se realizó la descripción de: Caracterización de la zona de estudio, Clima y temperatura, Precipitación, Suelos, Cultivos principales de la región, uso de la tierra, Tipo de tenencia de la tierra, organización y estructura de la comunidad y aspectos socioeconómicos de los sembradores y sembradoras.

Caracterización de la zona de estudio. El municipio de Santo Domingo Tehuantepec se localiza en el estado de Oaxaca, se encuentra ubicado en la región del Istmo la cual pertenece al distrito de Tehuantepec; se localiza a 16° 17' de latitud norte y 95° 25' de latitud oeste (INEGI, 2020: s/p). El municipio presenta una temperatura promedio de 20 a 30° C y un clima Cálido subhúmedo con lluvias en verano de forma predominante (94.37%) (INEGI, 2020). Según el INEGI (2020), la precipitación promedio es de 700 – 1 000 mm, sin embargo, se señala que en la región están definidos dos periodos de lluvia el primero abarca 4 meses (junio a septiembre) y el segundo comprende ocho meses (Octubre-Mayo) en general el promedio anual es de 886.4 mm., las lluvias son de carácter torrencial con una distribución irregular en la época lluviosa. Estas lluvias no satisfacen las necesidades de agua de los cultivos, incluso en algunos meses la evaporación es mayor que la precipitación, con presencia a partir del mes de mayo, teniendo una precipitación máxima de 84.4 mm en el periodo de octubre a marzo (Otoño-invierno), agudizándose en el año 2023, teniendo una pérdida de cultivos del 60% Según (Manzo, 2023). Según el SIAP (2022) señala que el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, en el 2022, tiene una superficie sembrada de 7,648.70 has sembradas y un valor de la producción de 106,588.13. En el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, la producción y rendimiento de los cultivos principales, se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción y rendimiento de los cultivos prioritarios.

Cultivo	Producción (ton)	Rendimiento (udm/ha)
Maíz grano	1,036.99	1.27
Sorgo	4,712.32	2.99
Frijol	95.73	0.59
Mango	201.6	8.96
Melón	164.3	12.17
Cacahuete	40.68	1.13

SIAP, 2022

De acuerdo a Martínez et al. (2012) la producción de sorgo es factible y redituable en la zona, En segundo lugar, aparece el maíz, siendo el maíz nativo, zapalote chico, el cual es la base de su dieta diaria y que se ha incentivado a partir de participación en el PSV, en los sembradores y sembradoras. El municipio de Santo Domingo Tehuantepec cuenta con 14 núcleos agrarios y un régimen de propiedad comunal, ejidal y de pequeña propiedad, como se señala en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Tenencia de la propiedad de la tierra del municipio de Santo Domingo Tehuantepec

Total		Ejidal		Comunal		Propiedad	
Superficie total	Numero de terrenos	Superficie total	Numero de terrenos	Superficie total	Numero de terrenos	Superficie total	Numero de terrenos
117 506.4929	3735	1 767	56 657.82	1 290	51 741.09	677	5 397.08

Procuraduría Agraria, 2019

El régimen ejidal representa el 47% (1767 Has) de la propiedad de la tierra, el régimen comunal el 35% (1290) y el régimen de propiedad privada el 18% (677 has). Es importante resaltar que las autoridades agrarias han contribuido en proporcionar los documentos necesarios para la participación de los sembradores y sembradoras en el programa.

Respecto al uso de la tierra, el 24.06% se ha destinado para la agricultura mecanizada continua y el 75.94% no son aptas para la agricultura, respecto al establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola se destinan el 24.06%, para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino 65.49%, y no aptas para uso pecuario el 10.45%. En el municipio de Santo Domingo Tehuantepec opera el programa Sembrando Vida, en la microrregión 2, ubicado en ocho localidades, beneficiando a 9 CACs, y 193 sembradores, en los que se han establecido 193 has de SAF y 289.5 de MIAF, haciendo un total de 482.5 Has instaladas (Secretaría de Bienestar, 2022).

La Comunidad de Aprendizaje Campesino (CAC) Cuatrovientos, se ubica en la parte alta del municipio de Santo Domingo Tehuantepec. El 71% señaló tener de 2 a 2.5 ha, comprometidas con el PSV coherente, con el requisito de ingreso que marcan las reglas de operación, el cual solicita para el ingreso 2 hectáreas y media, para poder ser acreedor al beneficio social, con un promedio de 1898 plantas establecidas en parcela. En el taller participativo, los integrantes de la CAC, señalaron que las problemáticas principales son: terrenos áridos, carencia de agua, limitaciones en las especies que se adaptan en la zona y dificultad de alcanzar la meta del Programa Sembrando Vida (2750 plantas) en su parcela.

La dimensión finca se define como un sistema productivo, en el que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y el espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Dicha dimensión se analizará a través de las categorías la mano de obra (familiar o contratada), fuentes de ingresos (ingreso laboral, ingresos ambientales e ingresos externos) y percepciones del agricultor respecto al establecimiento de los sistemas agroforestales. El 58%, de las personas entrevistadas, emplea mano de obra para cultivar u operar maquinaria y poder realizar sus actividades productivas, el 42% únicamente ocupa mano de obra familiar. Las mujeres, a menudo se ven en la necesidad de contratar jornaleros generando empleos en la comunidad. Los ingresos generados por las personas beneficiarias son temporales, ya que dependen de la cosecha y en general no tienen un salario constante para su manutención. Sin embargo, la agricultura contribuye a su bienestar familiar, a través de la producción de sus alimentos. El 60% no recibe un ingreso fijo por empleo remunerado, debido a que solo en la siembra se recibe ingresos por cosecha una o dos veces al año, el 30% recibe un ingreso menor a \$1000 al mes y solo el 10% manifestó tener un ingreso de \$2000 a \$6000 mensuales, adicional a lo que recibe del PSV.

Los ingresos adicionales por el uso de recursos naturales, provienen principalmente de la venta de maíz y sorgo, ajonjolí y sandía y leña. El 34% recibe ingresos por venta de leña, el 22% por venta de maíz y sorgo y el 11% por venta de ajonjolí y sandía. La venta de la leña es por carretilla y es de \$250.00 por cada una. El sorgo tiene un precio de \$6.00 el kg, aproximadamente \$6000 por ha. Respecto al ajonjolí el precio de venta es de \$32.00 el kg., con un rendimiento aproximado de 600 kg, por ha, dependiendo del número de hectáreas por sembrador. La venta de sandía genera \$9000 por cultivo por ha aproximadamente, dependiendo del número de has por sembrador y de la temporada de lluvias, ya que en su mayoría siembran por temporal.

Las personas beneficiarias del PSV, reciben \$6000.00 mensuales para el establecimiento de sus sistemas agroforestales. Las personas entrevistadas son beneficiarias del PSV, como programa social, y reciben algunos beneficios adicionales como producción para el bienestar, adultos mayores y becas Benito Juárez. Respecto a la diferenciación por sexo, las mujeres reciben principalmente el PSV y Becas Benito Juárez, para el cuidado de los hijos y los hombres Producción para el Bienestar y PSV. EL 59% de los sistemas agroforestales se instalaron en monte (ladera) y el 41% parcelas (planas) con una dimensión aproximada de 2.5 has, con descanso corto, en donde el ciclo de cultivo excede al de descanso, se componen principalmente por hierbas, arbustos y árboles de rápido crecimiento, su sistema de riego es estacional y emplean yunta o coa en las labores agrícolas, definido por (Moreno et al 2013) de una mediana intensidad. La percepción de los sembradores y sembradoras es favorable, respecto a los beneficios que han traído a sus familias incrementando la cantidad de producción de alimentos, ha contribuido a la continuidad de sus sistemas productivos locales, generando un impacto positivo en el medio ambiente. El encargado de vivero de la CAC, señaló que los sembradores tienen un plan de producción de plantas que deberán adquirir a través de las siguientes fuentes: vivero comunitario producido por los sembradores, compra de plantas en viveros comerciales con recursos propios, y donaciones de viveros de gobierno federal. Las especies pendientes a establecer se dividen en tres categorías (frutales, maderables y agroindustriales) las cuales se describen a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Plan de producción de la CAC, Las Cruces, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca.

Categoría	Especie	Cantidad
Frutal	Naranja	100
Frutal	Pitahaya	2,500
Frutal	Ciruela	2,500
Frutal	Tamarindo	1,500
Frutal	Cítricos	500
Frutal	Guanábana	100
Frutal	Nanche	200
Frutal	Maracuyá	100
Frutal	Guayaba	500
Frutal	Mango	200
	Total de frutales	8,200
Agroindustrial	Nopal	2,000
Agroindustrial	Maguey	10,000

Categoría	Especie	Cantidad
Agroindustrial	Achiote	1,000
	Total agroindustrial	13,000
Ornamental	Flor de noche buena	500
	Total ornamental	250
Maderable	Caoba	4000
Maderable	Guanacaste	1000
Maderable	Cacaguanche	1500
Maderable	Roble	2000
Maderable	Soleria	1000
Maderable	Arco	1000
Maderable	Cedro	1000
Maderable	Cuachinala	1000
	Total maderable	12500
	TOTAL	33,950

Sembrando Vida (2022)

Los sembradores señalaron que 33 950 plantas es su meta para producción del vivero de la CAC, lo que les permitirá cumplir con los lineamientos del PSV, sin embargo, existen contingencias en sus parcelas, como puede ser la sequía, plagas y enfermedades. A través de los técnicos del PSV, han establecido biofábricas las cuales están produciendo bioles, microorganismos de montaña sólido y líquido, así como caldos minerales, para poder nutrir sus plantas y prevenir enfermedades, lo anterior, con el objetivo de avanzar hacia una transición agroecológica, y disminuir el uso de agroquímicos.

4. Conclusiones

A partir de la caracterización de los sistemas agroforestales del PSV permitió determinar las siguientes conclusiones: Los resultados marcan una alta dependencia al Programa Sembrando Vida ya que constituye su principal fuente de ingreso, los SAFs, han contribuido a la disminución de la reforestación y al incremento en la producción de alimentos. De forma adicional el sistema contribuye a la generación de ingresos adicionales por venta de leña, maíz, sorgo, ajonjolí y sandía, los cuales son estacionales. Los sistemas agroforestales contribuyen de forma positiva a la continuidad productiva, así como a la producción de alimentos de las comunidades. Se recomienda una mayor comunicación entre técnicos y sembradores para generar: a) Intercambio, adquisición y compra de semillas y plantas, b) Incorporación de especies que se adapten en la zona, c) Uso de alternativas locales para la captación y retención de agua, d) El enriquecimiento del sistema SAF a través de especies agroindustriales para poder cumplir con las metas del PSV. El diseño de los sistemas agroforestales en las unidades de producción, se debe generar a través del diálogo con las y los sembradores, atendiendo la funcionalidad de los mismos, con el objetivo de alcanzar beneficios económicos, sociales y ambientales.

Agradecimientos

Los autores agradecen las facilidades brindadas por los técnicos(as) y sembradores y sembradoras del Programa Sembrando Vida para la obtención de la información, al CONAHCYT debido al

financiamiento de la estancia Posdoctoral, así también al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo otorgado a través del proyecto SIP20230178.

Referencias Citadas

- DOF, (2023), Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2023 p.3.
- Escalante, M. y Somarriba, E. (2001). Diseño y manejo de los cafetales del Occidente de El Salvador. CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8(30):12-16.
- Escamilla, E., Ayala, D., Quispe, G.C 2020. Los sistemas agroforestales para el Bienestar social de las localidades rurales en México, Serie (1), Ayala, D. Escamilla, E. (Eds), Universidad Autónoma Chapingo, Programa Doctoral en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible, Programa Sembrando Vida, Secretaria de Bienestar, Subsecretaria de Planeación, Evaluación y Desarrollo Regional, México, 27 pp.
- Hernández, F. y Baptista, S. (2014) Metodología de la investigación Sexta edición. Libro: Metodología de la investigación.
- INEGI (2020), Censo de Población y Vivienda, Tabulados del cuestionario Ampliado.
- Manzo D. (2023), Sequía golpea a agricultores de maíz en Oaxaca; reportan pérdida del 60% en el
- Martínez Mendoza, E.; Fernández Lambert, G.; Matus Girón, F.; Sol Sampedro, F. J., Evaluación económica de la producción de sorgo (*Sorghum vulgare*) en el Istmo de Tehuantepec, Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 56, pp. 11-17, 2012
- Mendieta López M, Rocha Melina L. R., (2007), Sistemas agroforestales, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Moreno-Calles Ana Isabel, Toledo Víctor M., Casas Alejandro (2013), Los Sistemas Agroforestales Tradicionales De México: Una Aproximación Biocultural, *Botanical Sciences* 91 (4): 375-398,
- Secretaria de Bienestar, (2022) Grupos de Trabajo por Regiones Agroecológicas y Agroclimáticas del PSV, Subsecretaría de Inclusión Productiva y Desarrollo Rural.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. SIAP, 2020, Definición de precio medio rural.

Observación de los principales polinizadores de *Zinnia elegans* Jacobi 1793 (Asteraceae, Heliantheae), a nivel de campo

Álvaro Zuriel Bailón-Ortiz^{1,*}, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹

Resumen. *Zinnia elegans* es una planta anual con alta diversidad fenotípica en forma y color floral, usada principalmente como flor de corte y en jardinería. La polinización la realizan diversos agentes bióticos y abióticos, siendo los insectos especialmente importantes. Hay pocos estudios sobre los agentes polinizadores de *Z. elegans*, destacando las especies de los órdenes Lepidoptera e Hymenoptera. Este trabajo tuvo como objetivo identificar los insectos polinizadores de *Z. elegans*, el tiempo promedio de visita y el índice de diversidad de Shannon-Wiener en dos zonas de Oaxaca. Se realizaron 10 observaciones entre las 11 y 14 h, tomando evidencias fotográficas de las especies. Los agentes polinizadores se identificaron con la base de datos de la Global Biodiversity Information Facility y se calculó el tiempo promedio de visita. El índice de Shannon-Wiener se obtuvo para tres observaciones por sitio. Se identificaron ocho especies en total, seis del orden Lepidoptera y dos del orden Hymenoptera. Seis especies fueron identificadas en cada sitio, compartiendo solo dos entre ellos. Los índices de diversidad fueron bajos en ambos sitios, siendo el mayor en San Francisco Sola.

Palabras clave: Lepidoptera, Hymenoptera, Tiempo de vista, Índice de Diversidad.

Abstract. *Zinnia elegans* is an annual plant with high phenotypic diversity in flower shape and color, primarily used as a cut flower and in gardening. Pollination is carried out by various biotic and abiotic agents, with insects playing a significant role. Few studies have been conducted on the pollinators of *Z. elegans*, with Lepidoptera and Hymenoptera species being the most important. This study aimed to identify the insect pollinators of *Z. elegans*, their average visit time, and the Shannon-Wiener diversity index in two regions of Oaxaca. Ten observations were made between 11 a.m. and 2 p.m., with photographic evidence of the species taken. Pollinators were identified using the Global Biodiversity Information Facility database, and the average visit time was calculated. The Shannon-Wiener index was obtained for three observations per site. A total of eight species were identified, six from the Lepidoptera order and two from the Hymenoptera order. Six species were identified at each site, sharing only two species between them. The diversity indices were low at both sites, with the highest index found in San Francisco Sola.

Keywords: Lepidoptera, Hymenoptera, Visiting time, Diversity Index.

1. Introducción

Zinnia (Asteraceae: Heliantheae) es un género que cuenta con una gran importancia multipropósito como planta de jardín, está compuesta por alrededor de 22 especies y es nativa de Norteamérica (Stimart & Boyle, 2007; Merrell et al., 2021). Las especies y cultivares de este género exhiben una amplia diversidad fenotípica debido al hábitat, morfología y color floral (Stimart & Boyle, 2007). *Zinnia elegans* es la especie más conocida del género *Zinnia*, con diversas formas en jardines, es una planta anual sumamente popular que cuenta con una gran diversidad de tipos y colores florales, y tiene

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: abailono2300@lumno.ipn.mx

una floración prolongada (Xue-Yuan et al., 2010; Pallavi et al., 2017). *Z. elegans* es una de las plantas más valoradas y comercialmente cultivadas, cosechadas y comercializadas en el mundo (Xue-Yuan et al., 2010). El proceso de transporte del polen de las anteras al estigma de la misma flor o a una diferente se conoce como polinización (Osuna-Fernández et al., 2016; De la Cuadra-Infante et al. 2019). El proceso de polinización depende de diversos factores y el más importante es el agente polinizador el cual puede ser biótico y en algunos casos abiótico (De la Cuadra-Infante et al. 2019). Este proceso es fundamental para la fecundación, propagación y supervivencia de las plantas más no es determinante, ya que la fecundación del óvulo y formación de semillas son procesos que están estrictamente regidos por factores internos (compatibilidad y desarrollo de los órganos sexuales) y externos (temperatura y humedad relativa) (Osuna-Fernández et al., 2016).

A través de los años se ha descrito la importancia de diversos agentes polinizadores bióticos ya que se estima que al menos el 80% de las plantas vasculares requieren de ellos (SEMARNAT, 2022). Las abejas (*Apis mellifera*) son los agentes polinizadores a los cuales se les ha brindado gran importancia, esto debido a su fuerte participación en la polinización en diversos cultivos (SEMARNAT, 2022). A pesar de la gran importancia de las abejas en la polinización, se ha demostrado que la importancia varía de acuerdo con la especie que se estudie y su estructura floral (Merrell et al. 2021; SEMARNAT, 2022; Nobes et al., 2022).

Son pocos los trabajos que se han realizado acerca de la polinización de *Z. elegans* a nivel mundial. SEMARNAT (2022) y Grajales-Conesa et al. (2011) reportan que el color y el olor de las flores son los factores principales que influyen en la visita de los agentes polinizadores, y esta variación resulta en diversidad de especies de insectos. Merrell et al. (2021) reportan para Texas, USA, una gran influencia de especies del orden Lepidoptera en la polinización de *Z. elegans* en diferentes cultivares, así mismo, reportan una alta diversidad de especies de las familias Hymenoptera, Hemiptera y Diptera que visitan a la flor, pero no tienen impacto en la polinización. Por último, Nobes et al. (2022) reportan una alta atracción de avispas pertenecientes al orden Hymenoptera.

Debido a los factores determinantes en la atracción y las diferencias entre los reportes de los agentes polinizadores en *Z. elegans* y con el fin de brindar información certera para el estado de Oaxaca; el objetivo del presente trabajo fue describir los principales agentes que visitan las flores de la especie en mención en dos zonas diferentes del estado.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en dos zonas diferentes del estado de Oaxaca, la primera fue en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Rural, Unidad Oaxaca, perteneciente al Instituto Politécnico Nacional ubicado en la colonia Noche Buena del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán con coordenadas 17°01'38" latitud Norte, 96°43'13" longitud Oeste a 1527 msnm. La segunda área de estudio fue en un predio de maíz ubicado en el municipio de San Francisco Sola con coordenadas 16°30'54" latitud Norte y 96°58'15" longitud oeste a 1421 msnm.

Material vegetal. Las observaciones se realizaron en plantas de *Z. elegans* creciendo en el jardín del CIIDIR Unidad Oaxaca y plantas silvestres creciendo en el municipio de San Francisco Sola. Con colores florales rosa, fucsia, rojo y morado. Las observaciones se realizaron conforme a la metodología modificada de Merrell et al. (2021), diez días en intervalos de diez minutos en un lapso de 11:00 a 14:00 horas para las plantas ubicadas en el CIIDIR, y ocho días en los mismos intervalos para las plantas ubicadas en San Francisco. Se tomaron fotos y videos con cámara de un celular

Samsung Galaxy A54 5G, con las fotos se realizó una identificación de las especies a través del buscador por foto de Google; después de su identificación, se procedió a corroborar en la base de datos de Global Biodiversity Information Facility. Se identificaron taxonómicamente los principales agentes polinizadores presentes en los días de evaluación y se midió el tiempo promedio que duró cada agente polinizadores en las flores compuestas de *Z. elegans*; además se calculó el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener por región de tres observaciones con la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de Shannon – Wiener} = \sum_{i=1}^s \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$$

3. Resultados y discusión

Color y atracción de agentes polinizadores. El color tiene una fuerte correlación con la atracción de agentes polinizadores y se menciona que depende de la especie, los insectos son atraídos por diferentes olores y colores (Cuadro 1, SEMARNAT, 2022).

Cuadro 1. Relación entre el color, aroma y forma de las flores con la atracción de agentes polinizadores.

Tipo de polinizador	Color	Aroma	Forma
Abejas	Amarillo, azul, morado, radiación ultravioleta.	Olores frescos.	Poco profundas con plataforma de aterrizaje, flores tubulares y con guías de néctar.
Murciélagos	Blanco grisáceo, verde y morado.	Almizclados.	Flores en forma de copa o trompeta.
Colibríes y aves	Rojo, naranja y tonalidades entre rojo y morado.	No eligen.	Flores tubulares, en forma de embudo y copa. Con lugares resistentes para perchar.
Mariposas	Rojo, anaranjado, azul, amarillo, morado y rosa.	Ligeros suaves, frescos y dulces.	Flores tubulares estrechas, con plataformas grandes de aterrizaje.
Moscas	Verde, blanco y crema.	Pútridos (carne descompuesta).	Flores poco profundas en forma de embudo.
Escarabajos	Blanco, rosa, tonalidades de verde pálido.	Dulces y fuertes.	Flores tubulares sin lugar de aterrizaje horizontales.

SEMARNAT, 2022.

Los colores de las flores de *Z. elegans* observadas que variaron entre rosa, fucsia, rojo y morado fueron más atractivas para insectos pertenecientes al orden Lepidóptera, lo cual coincide con la relación hecha por SEMARNAT (2022) descrita en el cuadro 1. Por igual, fueron encontradas dos especies perteneciente al género Hymenoptera que se relacionan con colores morado. Como se menciona anteriormente las especies encontradas pertenecieron al orden Lepidoptera, fueron encontradas dos especies semejantes en ambos sitios de estudio las cuales son *Urbanus dorantes* y *Hylephila phyleus*, por otra parte, en las Zinnias ubicadas en el CIIDIR se encontraron individuos de las especies como *Lerema accius*, *Dione junio*, *Vernia verna* y un solo individuo de *Apis mellifera*. En cuanto a las Zinnias ubicadas en San Francisco Sola fueron identificados individuos de las especies *Lerodea eufala*, *Panoquia ocola*, *Urbanus procne* y una sola especie del género Hymenoptera que no fue posible identificar por su rapidez y exceso de movimiento. Estos resultados coinciden en ciertas especies con lo reportado por Merrell et al. (2021) quienes identificaron individuos de especies como *Lerodea eufala*, *Lerema accius*, *Urbanus proteus*, *Atalopedes campestris*, *Vanessa cardui*, entre otros y especies de los órdenes Hymenoptera, Hemiptera, Diptera y Coleoptera. No se encontraron individuos de avispa del orden Hymenoptera como los que reportan Nobes et al. (2022), aunque se encontraron dos especies de ese orden. Las especies que coinciden con lo reportado por Merrell et al. (2021) son *Lerodea aufala* y *Lerema accius*, y existen coincidencias en el género *Urbanus* (Figura 1 y 2).

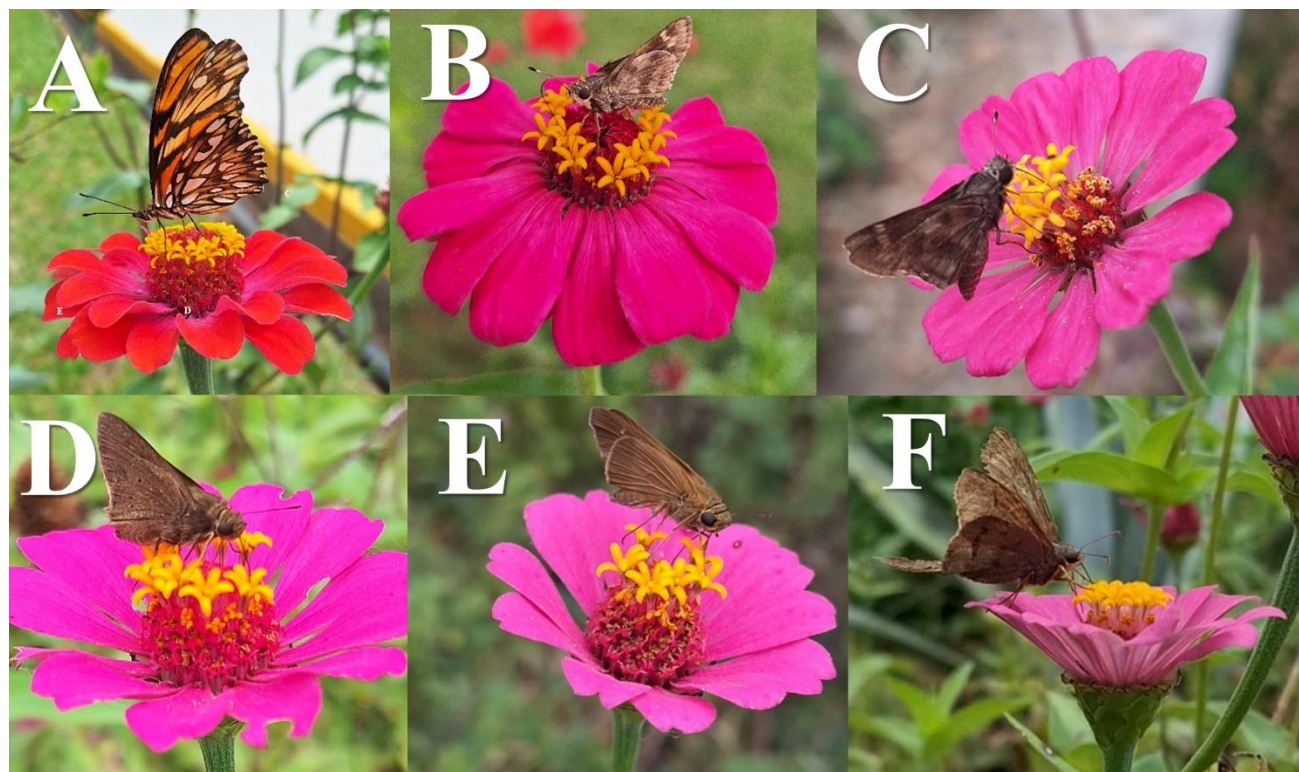


Figura 1. Especies encontradas en San Francisco Sola A) *Lerodea eufala*; B) *Panoquia ocola*; C) *Urbanus procne*; y en el CIIDIR D) *Dione junio*; E) *Vernia verna*; y F) *Lerema accius*.

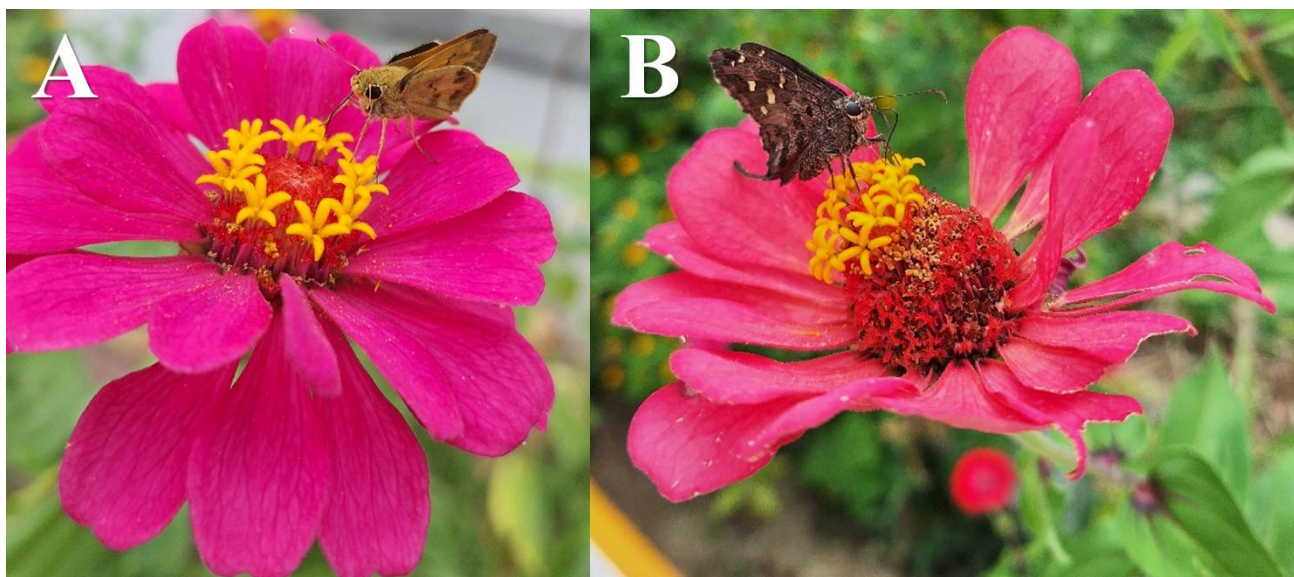


Figura 2. Especies encontradas en ambos sitios A) *Hylephila phyleus*; B) *Urbanus dorantes*.

Con base en las observaciones y videos fue posible determinar las horas de mayores visitas en las flores de *Z. elegans* por los agentes polinizadores, se encontró que las horas con mayor densidad de individuos es entre las 11:00 y las 14:00 horas ya que después de este intervalo la densidad disminuye considerablemente y esto puede deberse a las temperaturas o radiación solar como lo comentan SEMARNAT (2022) y De la Cuadra-Infante et al. (2019). Por otra parte, no existe información acerca del tiempo de visita por individuo en el proceso de obtención de néctar y polinización en las flores de *Z. elegans*, en el presente trabajo presentamos una aproximación en el tiempo de visita. El tiempo de visita promedio de los agentes polinizadores fue de 22.7 segundos por flor compuesta y de 1.89 segundos por flor tubular (Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación de tiempo de los agentes polinizadores por visita en las flores de *Zinnia elegans*.

Especie	Lugar	Número de flores tubulares	Tiempo (segundos)
<i>Dione juno</i>	CIIDIR	13	20
<i>Lerema accius</i>	CIIDIR	13	22
<i>Vernia verna</i>	CIIDIR	13	25
<i>Hylephila phyleus</i>	CIIDIR y Sola	12	25
<i>Urbanus Dorantes</i>	CIIDIR y Sola	13	25
<i>Panoquia ocola</i>	Sola	8	24
Hymenoptera	CIIDIR y Sola	12	18
Promedio de tiempo de visita			22.7
Tiempo promedio de visita por flor tubular			1.89

Los índices de diversidad se calcularon tomando en cuenta el número de individuos de las especies que visitaron las flores de *Z. elegans*. La mayor diversidad de individuos se encontró en San Francisco Sola en los tres días de observación tomados en cuenta, estos índices variaron entre 1.585 y 1.785, mientras que para las plantas ubicadas en el CIIDIR el índice máximo de diversidad fue de 1.468. El promedio del índice de diversidad para los tres días fue de 1.686 para el sitio ubicado en San Francisco Sola y de 1.384 para el CIIDIR Oaxaca (Figura 3).

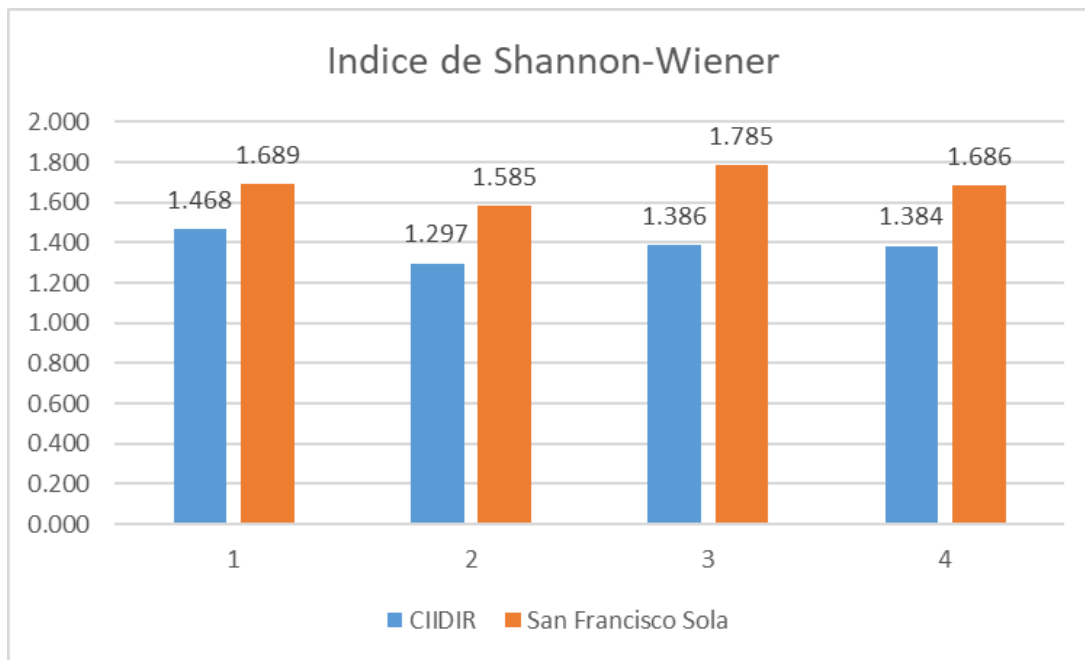


Figura 3. Comparación de los índices de diversidad Shannon-Wiener de agentes polinizadores en de *Z. elegans* en los dos sitios de observación.

Los resultados del índice de diversidad de Shannon-Wiener varían entre 1 y 5, y estos se interpretan en tres niveles, valores menores a 2 indican baja diversidad de especies, de 2 a 3.5 indican una diversidad media y mayores a 3.5 indican una diversidad alta (Margalef, 1972). Con esto podemos afirmar que los índices de diversidad obtenidos se pueden clasificar como bajos en ambos sitios, esto es posible explicarlo con lo reportado por Medrano-Meraz et al., (2017) quienes mencionan índices de diversidad de plantas más bajo a mayor altitud; por otro lado, Guerrero & Sarmiento (2010) reportan resultados semejantes para la diversidad de hormigas a diferentes altitudes en donde a una altitud de 835 msnm obtuvo un índice de diversidad de 3.77 y para una altitud de 1395 msnm el índice se obtuvo de 2.85, esto indica una correlación negativa entre altitud y diversidad de especies. Álvarez-García et al. (2016) encontraron una relación negativa entre la altitud y la riqueza de mariposas en la Sierra Mazateca del Oaxaca, en donde indican que a altitudes entre 90 a 500 msnm la riqueza es del 77% de los taxones encontrados y a altitudes de entre 2,000 y 2,200 la riqueza es de tan solo 8%. Estos hallazgos indican que la variación en el índice de diversidad de agentes polinizadores que visitan las flores de *Z. elegans* en los sitios observados, se debe a la diferencia de altitud.

4. Conclusiones

Las especies identificadas como principales agentes polinizadores en flores de *Z. elegans* pertenecen al orden Lepidoptera. Ocho especies fueron identificadas y solamente 2 compartes entre sitios de observación. Las visitas a la flor se dan en horarios de entre las 11 y 14 h, con un tiempo promedio de 22.7 segundos por flor compuesta y de 1.89 segundos por flor tubular. Por otra parte, los índices de diversidad fueron bajos para ambos sitios, teniendo valores más altos en San Francisco Sola en las tres observaciones y con un índice promedio general de 1.686.

Referencias citadas

- Álvarez-García, H., Ibarra-Vázquez, A., y Escalante, P. (2016). Riqueza y distribución altitudinal de las mariposas de la Sierra Mazateca, Oaxaca (Lepidoptera: Papilionoidae). *Acta Zoológica Mexicana*. 32(3): 323-347.
- De la Cuadra-Infante, S., Rodríguez-Le Boulenge, P. (eds). 2019. Manual de polinización de cultivos agrícolas. Ministerio de Agricultura de Chile.
- Grajales-Conesa, J., Meléndez-Ramírez, V. y Cruz-López, L. (2011). Aromas florales y su interacción con los insectos polinizadores. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(4):1356-1367.
- Guerrero, R., y Sarmiento, C. (2010). Distribución altitudinal de hormigas (Hymenoptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Zoológica Mexicana*. 26(2): 279-302.
- Margalef, R. 1972. Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 21-235.
- Medrano-Meraz, M. J., Hernández, F. J., Corral-Rivas, S., y Nájera-Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8(40): 57-68.
- Merrell, D., Arnold, M. A., Wright, K., y Rangel, J. (2021). Field observation on pollination of cultivated Zinnias. *Subtropical Agriculture and Environment*. 71 (1). 12-15.
- Nobes, S. R., Herreid, J. S., Panter, K. L., y Jabbour, R. (2022). Insect visitors of specialty cut flowers in high tunnels. *Journal of economic Entomology*. 115(3). 909-913.
- Osuna-Fernández, H. R., Osuna-Fernández, A. M., y Fierro-Álvarez, A. (2016). Manual de propagación de plantas superiores. UNAM.
- Pallavi, S., Nivas, S. K., D'Souza, L., Ganapathi, T. R., y Hegde, S. (2017). Gamma rays induced variations in seed germination, growth and phenotypic characteristics of *Zinnia elegans* var. Dreamland. *Advances in Horticulturas Science*. 31(4): 267-273.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2022). Día nacional de los polinizadores "De flor en flor alimentando al mundo". Guía didáctica. Primera edición. f
- Stimart, D., Boyle, T. (2007). *Zinnia*. In: Anderson, N.O. (eds) *Flower Breeding and Genetics*. Springer, Dordrecht.
- Xue-Yuan, L., Qui-Shi, H., Man-Zhu, B., y Yao-Mei, Y. (2010). Analysis of combining ability of two-types of male sterile and four restorer lines of *Zinnia elegans*. *Euphytica*. 173(1). 91-103.

Efecto antifúngico *in vitro* de microbiota bacteriana de vegetales sobre *Fusarium spp.* como alternativa para reducir el uso de fungicidas químicos

Etna Mendoza-Buenrostro¹, Esmeralda Rangel-Vargas¹, Carlos Alberto Gómez- Aldapa¹, Rene Velazquez-Jimenez¹, Javier Castro-Rosas^{1,*}

Resumen. Las enfermedades que afectan al cultivo de jitomate limitan su rendimiento. El uso de pesticidas sintéticos ha sido una de las opciones más efectivas para controlar patógenos microbianos y plagas. Sin embargo, estos pesticidas tienen efectos dañinos bien documentados. Una alternativa es el control biológico. Este trabajo evaluó el efecto antifúngico de bacterias aisladas del microbiota de vegetales y suelo contra especies del género *Fusarium in vitro*. Se aislaron bacterias siguiendo la metodología de Ghazanfar. Las bacterias aisladas se probaron *in vitro* contra *Fusarium oxysporum* y *Fusarium brachygibbosum*, utilizando la técnica de crecimiento dual descrita por Ghazanfar. Para evaluar el efecto antifúngico en esporas se siguió la metodología de Gutiérrez, utilizando las cepas B102 y B103, tanto en consorcio como individualmente. Los resultados se analizaron con ANOVA usando GraphPad Prims 10.0.2. De 103 cepas bacterianas, solo 2 (B102 y B103) mostraron el mayor efecto antagónico contra *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum in vitro*. En la prueba de esporas, los porcentajes de germinación fueron menores que en el control, y el análisis ANOVA confirmó la significancia de los datos. El consorcio bacteriano mostró porcentajes muy bajos de germinación de esporas en comparación con el control, indicando que ambas bacterias juntas potencian el efecto antimicrobiano, con alto potencial para ser usadas como control contra estos dos hongos patógenos del jitomate.

Palabras clave: Control Biológico, Hongos Fitopatógenos, Antagonismo.

Abstract. Diseases affecting tomato crops limit their yield. The use of synthetic pesticides has been one of the most effective options for controlling microbial pathogens and pests. However, the harmful effects of these pesticides are well-documented. An alternative is biological control. This study evaluated the antifungal effect of bacteria isolated from the microbiota of vegetables and soil against *Fusarium* species *in vitro*. Bacteria were isolated following the methodology of Ghazanfar. The isolated bacteria were tested *in vitro* against *Fusarium oxysporum* and *Fusarium brachygibbosum*, using the dual culture technique described by Ghazanfar. To evaluate the antifungal effect on spores, the methodology of Gutiérrez was used, employing strains B102 and B103, both in consortium and individually. Results were analyzed with ANOVA using GraphPad Prims 10.0.2. Of 103 bacterial strains, only 2 (B102 and B103) showed the highest antagonistic effect against *F. oxysporum* and *F. brachygibbosum in vitro*. In the spore test, germination percentages were lower than the control, and ANOVA confirmed the significance of the data. The bacterial consortium showed very low spore germination percentages compared to the control, indicating that both bacteria together enhance the antimicrobial effect, showing high potential for use as a control against these two pathogenic fungi of tomato.

Keywords: Biological Control, Phytopathogenic Fungi, Antagonism.

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Química, Hidalgo, México.

*Autor para correspondencia: jcastro@uaeh.edu.mx

1. Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de centro América (Perú, Bolivia, Ecuador); sin embargo, su domesticación fue en el sur de México y norte de Guatemala. Los nativos lo cultivaban antes de la conquista de América, pero a partir del siglo XIX, es cuando toma gran relevancia económica en todo el mundo (Okumoto, 1992).

En la actualidad, el jitomate se considera una de las hortalizas más importantes en el mundo por su valor nutricional y por su uso a nivel industrial. La producción de jitomate ha ido en aumento a nivel mundial en los últimos años, entre los principales países productores se encuentra México, ocupando el décimo lugar a nivel mundial (Hernández et al., 2014). La importancia de la producción del jitomate en México radica en que representa un alto valor comercial, respecto a otro tipo de cultivos. En varios estados del país, su producción se ha visto afectada por la aparición de enfermedades, alcanzando pérdidas de hasta 100% de la producción (Martínez et al., 2016).

Muchas de las enfermedades que afectan al jitomate, representan una limitante para el rendimiento de la producción. En la actualidad existen cerca de 58 enfermedades que atacan este cultivo. Entre los patógenos que originan estas enfermedades destacan los hongos fitopatógenos, los cuales causan pérdidas importantes en el rendimiento del cultivo. Estos se encuentran de manera natural en suelos agrícolas ocasionando destrucción de tejidos de la hoja de la planta huésped, tallo y raíces; conduciendo a el bloqueo del flujo de nutrientes de la planta y como resultado su muerte (Zhang et al., 2015).

El uso de pesticidas ha sido un de las opciones más efectivas para controlar la invasión de plagas en cultivos; sin embargo, existen efectos dañinos bien documentados de estos, por ejemplo: la contaminación del medio ambiente y la toxicidad a especies animales y humanos. Además, el uso de pesticidas aumenta los costos de producción, lo cual hace menos rentable su uso. Una alternativa al uso de estos pesticidas es el control biológico. Mediante éste se pueden controlar agentes biológicos patógenos de los cultivos. En el control biológico se utilizan depredadores naturales o parasitoides, sustancias naturales (como derivados de plantas) o el de microorganismos y virus (Patil & Sriram, 2020). Las bacterias como control de enfermedades causadas por hongos juegan un papel importante, ya que en la actualidad varios estudios han demostrado su eficacia para inhibir el crecimiento de estos patógenos.

El marchitamiento por *Fusarium* es una de las enfermedades más comunes de la planta de jitomate. Se ha realizado varios trabajos al respecto como el de Parasuraman et al., (2020), mencionan el uso de cepas *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de la rizosfera del jitomate como control de *Fusarium oxysporum* y *Alternaria solani*, donde observaron que las bacterias promovían el crecimiento del jitomate y un efecto inhibitorio contra los hongos patógenos. Actualmente existen pocos estudios al respecto y poco conocimiento de los mecanismos que emplean las bacterias, por lo tanto, el descubrimiento de nuevas bacterias con un potencial inhibitorio de hongos en el tomate y los mecanismos que emplean es una alternativa sustentable para disminuir el uso de los pesticidas.

2. Materiales y métodos

Aislamiento de bacterias. Se obtuvieron diferentes muestras de frutos, hoja de diferentes árboles, vegetales, frutos y suelo de jardín. Para el aislamiento de las bacterias se empleó la metodología descrita por Ghazanfar et al. (2016) con algunas modificaciones:

Las muestras (aprox. 30 g) fueron colocadas en bolsas de plástico; a cada muestra se les adicionó 200 mL de diluyente de peptona y se frotó manualmente desde fuera de la bolsa por 1 minuto. Se realizaron diluciones decimales de las muestras diluidas y las diluciones se sembraron (0.1 mL) en cajas que contenían agar para métodos estándar (AME) solidificado mediante la técnica de extensión por superficie. Las cajas fueron incubadas a 35° C por 24 horas. A partir con cajas de cultivo con entre 20 a 100 colonias bien separadas, se seleccionaron entre 2 y 4 UFC con características morfológicas diferentes. A cada colonia se le realizó tinción de Gram. Las bacterias aisladas se sembraron en tubos de cultivo con AME inclinado y se incubaron a 35° C por 24 h. Las cepas bacterianas fueron almacenadas en refrigeración hasta su uso.

Efecto antifúngico de las bacterias aisladas contra 2 especies de *Fusarium in vitro*. En todos los estudios se utilizó la cepa de *F. oxysporum* ATCC MYA-1198 y *F. brachygibbosum*. Las cepas bacterianas aisladas se sembraron en tubos de caldo soya tripticaseina y se incubaron a 35°C por 24 h. La actividad antifúngica de todas las bacterias contra *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum* se determinó mediante la técnica de crecimiento dual descrita por Ghazanfar et al. (2016), con algunas modificaciones. Con un asa bacteriológica se tomó el micelio (a partir de cajas previamente cultivadas), y se sembró en la parte central de agar papadextrosa (PDA) solidificado contenido en una caja de Petri. Después la caja se dividió en 4 cuadrantes imaginarios, a un centímetro de distancia del inóculo del hongo, en cada uno de los cuadrantes se inocularon 20 µL de cada una de las bacterias aisladas. Es importante señalar que se probó una solo bacteria por cada caja de cultivo sembrada con *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum*. Como control se incluyeron cajas sembradas de la misma manera con el micelio fúngico de cada hongo pero que no fueron inoculadas con los cultivos bacterianos. Todas las cajas de incubaron a 30° C por 5 a 7 días. Se realizaron observaciones y registro del diámetro de crecimiento fúngico cada día.

Efecto de las cepas B102 y B103 en la germinación de las esporas de *Fusarium*. Previo a determinar el efecto se preparó una suspensión de esporas fúngicas, sembrando previamente en frascos con agar PDA inclinado ambos hongos. Posteriormente se agregaron 10 mL de solución Tween 20% estéril y se agito durante 5 min para liberar las esporas fúngicas. Para determinar el efecto antifúngico de las cepas B102 y B103 contra *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum*, se empleó la metodología de Gutiérrez-Román et al. (2014) con algunas modificaciones:

De una suspensión con volúmenes iguales de conidios de *F. oxysporum* (600×10^4 esporas por mililitro), de *F. brachygibbosum* (400×10^4 esporas por mililitro) y de una suspensión bacteriana de las muestras que presentaron mayor efecto en las pruebas *in vitro* contra los hongos *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum* con concentración de 205×10^5 UFC /mL para B103, 236×10^5 UFC /mL para B102. Se realizó una suspensión en partes iguales con la suspensión de esporas fúngicas y la suspensión de bacterias. Para cada suspensión se aplicó una gota de azul de metileno y se colocó 20 µL en un portaobjetos, cada cepa se hizo por triplicado. Para el control se empleó la suspensión de conidios combinada con caldo soya estéril y una gota de azul de metileno.

Los portaobjetos se incubaron a 28°C en un ambiente húmedo, colocándolos en una caja Petri con 9 mL de agua. Se realizó un conteo de esporas germinadas a las 0 hrs, 6 hrs, 12 hrs y 24 hrs en 12 campos por portaobjetos. Los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados fueron analizados mediante ANOVA usando el programa (GraphPad Prism 8.0.1). Cabe señalar que también se determinó el efecto de la mezcla de las cepas bacterianas B102 y B103. Para esto, cultivos de 24 horas de cada bacteria en CST se mezclaron en volúmenes iguales y se evaluó el efecto de la mezcla sobre

la germinación de las esporas de fusarium de la misma manera como se describió a arriba. Colocar el texto referente a la Metodología y los materiales utilizados.

3. Resultados y discusión

Se aislaron 103 cepas bacterianas con diferentes características macroscópicas de la colonia y microscopias (Figura 1). En las cajas de cultivo se observaron colonias planas, elevadas, mucoides y con crecimiento en forma de “swarming”. También al microscopio se observaron diferentes morfologías celulares (Figura1).



Figura. 1. Micrográficas obtenidas por microscopia de luz (100x) de algunas cepas bacterianas aisladas y teñidas por la tinción Gram.

Las 103 cepas mostraron algún efecto antifúngico contra *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum*; no obstante, solo 16 cepas tuvieron los mayores valores de efecto contra *F. oxysporum* (Figura 2) y 12 cepas para *F. brachygibbosum* (Figura 3). Para ambas especies, las cepas B102 y B103 fueron las que presentaron el mayor efecto antifúngico en medio de cultivo (Figura 4). Es interesante señalar que ambas bacterias fueron aisladas de hojas de higo, es probable que estas bacterias estuvieran colonizando las hojas del higo (de manera separada o en consorcio) y no que se encontraran de manera pasiva y que hubieran llegado a las hojas por contaminación arrastradas por el polvo del ambiente. En las cajas control el crecimiento radial de *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum* alcanzó los límites de las cajas de Petri a los 7 y 6 días de incubación, respectivamente.

Con ambas cepas bacterianas (B102 y B103) se obtuvieron reducciones significativas en la germinación de las esporas tanto de *F. oxysporum* como de *F. brachygibbosum* (Figura 5). Para el caso de *F. oxysporum*, se lograron porcentajes de inhibición de la germinación de las esporas, con respecto al control, de 76.6% y 51.4% con las cepas B103 y B102. Esto al contrastarlo con el control positivo, que obtuvo un porcentaje de 22.7% de esporas sin germinar a las 24 horas del experimento, nos muestra que las bacterias están teniendo una reducción significativa de la germinación de esporas.

Los resultados obtenidos al realizar la actividad antifúngica y la ANOVA factorial de las cepas B102 y B103 contra las esporas de *F. brachygibbosum*, se obtuvo una reducción significativa de la germinación de esporas respecto al control. Es importante mencionar que en ambos casos la cepa más significativa fue B103, para esta prueba se obtuvo un porcentaje de reducción de la germinación a las 24h de 64.3% y una $p=0.0015$. De igual manera se destaca la cepa B102 con un porcentaje de reducción de la germinación de 45.7% a las 24 h y una $p=0.0189$. En ambos casos los porcentajes de inhibición están por debajo del porcentaje del control que fue de 27.5 % para este hongo. Esto nos confirma que

las cepas B102 y B103, están teniendo un efecto inhibitorio contra ambos hongos. Es probable que nuestras cepas están segregando algún compuesto que no permite la germinación de las esporas, siendo este un mecanismo importante de acción que está ejerciendo estas bacterias contra *F. oxysporum* y *F. brachygibbosum*.

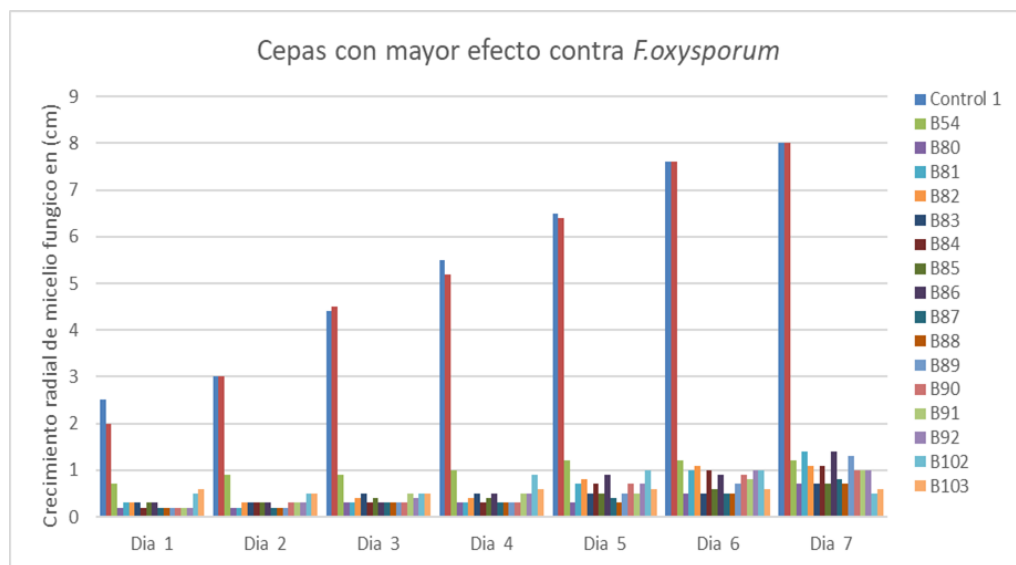


Figura. 2. Actividad inhibitoria de las 16 cepas con mayor efecto fúngico sobre el crecimiento radial de *F. oxysporum* en medio de cultivo.

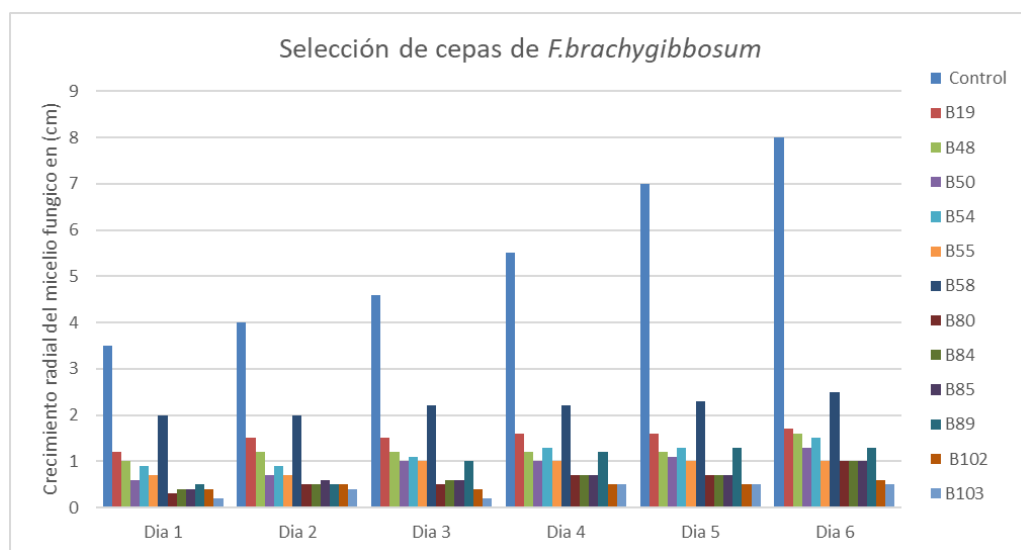


Figura. 3. Actividad inhibitoria de las 12 cepas con mayor efecto fúngico sobre el crecimiento radial de *F. brachygibbosum* en medio de cultivo.



Figura. 4. Efecto inhibitorio de la cepa B102 (A) y B103 (B) sobre el crecimiento radial de *F. oxysporum* en medio de cultivo y la muestra el control (C).

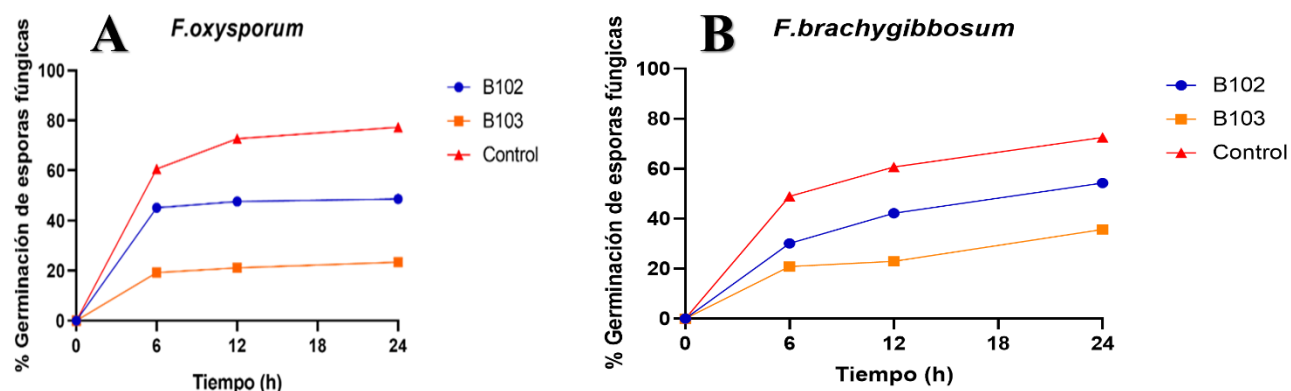


Figura. 5. Porcentajes de inhibición de la germinación de las esporas de *F. oxysporum* y *F.brachygibbosum* en la muestra control y en las que contenían las cepas B102 y B103.

En los resultados obtenidos al realizar la actividad antifúngica del consorcio de las cepas B102 y B103 contra las esporas de *F. oxysporum*, se puede observar al realizar la ANOVA factorial, como hay una reducción significativa de la germinación de esporas donde el porcentaje de reducción de la germinación a las 48 h fue de 92.94% con una $p= 0.0137$, el control a la misma hora alcanzo un porcentaje de 11.4%. Es interesante observar cómo en conjunto estas dos bacterias ejercen un control realmente sobresaliente que, de manera individual, se puede pensar que estas dos cepas están combinando sus mecanismos de acción de una forma adecuada que logra inhibir la germinación de *F. oxysporum*. Por lo tanto, se puede deducir que estas cepas trabajan mejor en conjunto para ser empleadas como control biológico de este hongo.

Los resultados de la actividad antifúngica del consorcio de: (B102 + B103) contra las esporas de *F. brachygibbosum*, fueron de igual forma más sobresaliente que los obtenidos al emplear las cepas de forma individual, obteniendo un porcentaje de reducción de la germinación de esporas fúngicas a

las 48 h de 95.8% y una $P = 0.0407$, a esa misma hora el control logró alcanzar un porcentaje de 4.15% (Figura 6). Es claro que estas cepas están trabajando en conjunto, combinando sus mecanismos de acción para inhibir la germinación de esporas de este hongo, teniendo un potencial bastante prometedor como control biológico de estos dos hongos (*F. oxysporum* y *F. brachygybbosum*).

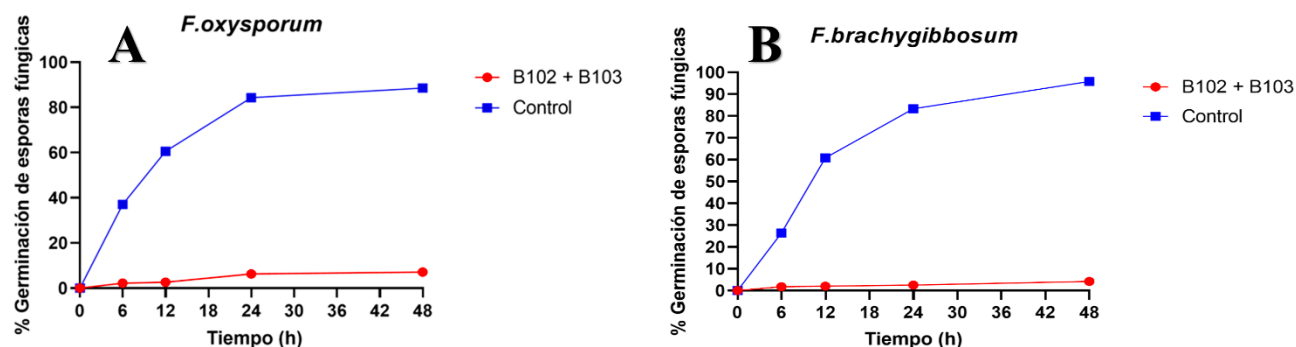


Figura. 6. Porcentajes de inhibición de la germinación de las esporas de *F. oxysporum* y *F. brachygybbosum* en la muestra control y en las que contenía el consorcio (B102 y B103).

Lo anterior coincide con lo reportado con Gutiérrez-Román et al. (2014), ellos con consorcios de cepas de *Serratia*, obtuvieron porcentajes de hasta un 80% de la reducción de la germinación de las esporas de *C. gloeosporioides*. Sin embargo, en este caso el consorcio empleado, fue aislado de forma natural de hojas de higo, por lo cual estas dos cepas ya estaban interactuando en el medio y posiblemente eso favoreció y potencializó su efecto inhibitorio de germinación de las esporas de ambas especies de *Fusarium*.

4. Conclusiones

Se aislaron 2 cepas bacterianas con actividad antifúngica sobresaliente (B102 y B103), las cuales mostraron un mayor efecto antifúngico actuando como consorcio. Uno de los mecanismos antifúngicos identificados fue la inhibición de la germinación de las esporas fúngicas. Las cepas B102 y B103, tienen potencial para ser empleadas como control biológico de *F. oxysporum* y *F. brachygybbosum*, tanto solas como en consorcio, no obstante, es necesario realizar mayores estudios al respecto.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT.

Referencias citadas

- Ghazanfar, M. U., Hussain, M., Hamid, M. I., & Ansari, S. U. (2016). Utilization of biological control agents for the management of postharvest pathogens of tomato. *Pak. J. Bot*, 48(5), 2093-2100.
- Gutiérrez-Román, M. I., Dunn, M. F., Tinoco-Valencia, R., Holguín-Meléndez, F., Huerta-Palacios, G., & Guillén-Navarro, K. (2014). Potenciación de las actividades sinérgicas de las quitinasas ChiA, ChiB y

- ChiC de *Serratia marcescens* CFFSUR-B2 por la quitobiasa (Chb) y la proteína de unión a la quitina (CBP). *Revista mundial de microbiología y biotecnología*, 30(1), 33–42.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of applied phycology*, 26, 619-628.
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., & Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: La importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18).
- Okumoto, S. (1992). Efecto de enmiendas sobre bacterias antagónicas a *Alternaria solani* en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill).
- Patil, S., & Sriram, S. (2020). Biological control of *Fusarium* wilt in crop plants using non-pathogenic isolates of *Fusarium* species. *Indian Phytopathology*, 73(1), 11-19.
- Parasuraman, P., Pattnaik, S. S., Busi, S., Marraiki, N., Elgorban, A. M., & Syed, A. (2020). Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria and their biocontrol efficacy against phytopathogens of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-7. Doi: 10.1080/11263504.2020.1845842
- Zhang, Q., Yang, L., Zhang, J., Wu, M., Chen, W., Jiang, D., & Li, G. (2015). Production of anti-fungal volatiles by non-pathogenic *Fusarium oxysporum* and its efficacy in suppression of *Verticillium* wilt of cotton. *Plant and Soil*, 392, 101-114.

Utilización de residuos agroindustriales oleosos para la producción de hongos entomopatógenos: *Metarhizium robertsii*

Karla Angelica Hernández-Apichoto¹, Isaac Aramis Romero Pérez¹, Lizbeth G. Rojas-Gutiérrez¹, Alejandro Angel-Cuapio^{1,*}

Resumen. En respuesta a la elevada contaminación ambiental derivada del uso de insecticidas químicos, se busca desarrollar micoinsecticidas que contengan conidios de hongos entomopatógenos. Los residuos generados por la industria del aceite de soja, conocidos por su alto contenido proteico (44%), son comúnmente usados en la elaboración de alimentos. Desarrollar cultivos sólidos con estos residuos agroindustriales puede mejorar el control de plagas y promover prácticas agrícolas más ecológicas. Este estudio evaluó la producción, viabilidad y germinación de los conidios del hongo *Metarhizium robertsii* en cultivos sólidos complementados con harina de soja. Se utilizaron frascos de vidrio como unidades experimentales, llenos con una mezcla de arroz precocido (sustrato) y harina de soja (suplemento), en proporciones: 100-0, 98-2, 96-4, 94-6, 92-8 y 90-10 (% p/p). La producción se evaluó a los 8 días y se reportó como conidios por gramo de arroz seco inicial (conidios/gasi). La mayor producción se observó en la mezcla 92-8, con un valor de 1×10^9 conidios/gasi, un aumento del 25% en comparación con la mezcla 100-0 (8×10^8 conidios/gasi), siendo este resultado estadísticamente significativo ($p < 0.05$). La germinación de los conidios en ambas mezclas no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), alcanzando un promedio del 95%. La viabilidad, determinada mediante el recuento de unidades formadoras de colonias, reveló una viabilidad del 75% en la mezcla 92-8, lo que representa un incremento del 23% comparado con la mezcla 100-0 (61%). La adición de harina de soja en cultivos sólidos puede ser una estrategia efectiva para aumentar la viabilidad y producción de conidios del hongo *M. robertsii*.

Palabras clave: Control biológico, *Metarhizium robertsii*, Cultivo Sólido, Residuos Agroindustriales.

Abstract. In response to the high environmental contamination caused by chemical insecticides, efforts are being made to develop mycoinsecticides containing entomopathogenic fungi conidia. The residues from the soybean oil industry, known for their high protein content (44%), are commonly used in food production. Developing solid cultures with these agro-industrial residues can enhance pest control and promote more environmentally friendly agricultural practices. This study evaluated the production, viability, and germination of the conidia of the fungus *Metarhizium robertsii* in solid cultures supplemented with soybean meal. Glass jars were used as experimental units, filled with a mixture of pre-cooked rice (substrate) and soybean meal (supplement) in different proportions: 100-0, 98-2, 96-4, 94-6, 92-8, and 90-10 (% w/w). Production was evaluated on day 8 and reported as conidia per gram of initial dry rice (conidia/gasi). The highest production was observed in the 92-8 mixture, with a value of 1×10^9 conidia/gasi, a 25% increase compared to the 100-0 mixture (8×10^8 conidia/gasi), which was statistically significant ($p < 0.05$). Conidia germination in both mixtures showed no significant differences ($p < 0.05$), averaging 95%. Viability, determined by colony-forming unit counts, revealed a 75% viability in the 92-8 mixture, a 23% increase compared to the 100-0 mixture (61%). Adding soybean meal to solid cultures can be an effective strategy to increase the viability and production of *M. robertsii* conidia, key factors in the mass production of entomopathogenic fungi.

Keywords: Biological Control, *Metarhizium robertsii*, Solid-State Cultivation, Agro-Industrial Residues.

¹División de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: rafaelangel@tese.edu.mx

1. Introducción

Los hongos entomopatógenos son importantes agentes de control biológico de insectos y frecuentemente ocasionan epizootias que reducen significativamente sus poblaciones. Los hongos entomopatógenos pueden infectar a los insectos directamente a través de la penetración de la cutícula, son diseminados por el viento, la lluvia y otros insectos hospederos, presentan esporas de resistencia que toleran condiciones climáticas adversas, persisten en el medio ambiente y su manipulación en cultivos *in vitro* es relativamente fácil, viven en una relación multitrófica entre los insectos, el suelo y las plantas (Polack et al., 2020). El uso de estos organismos es una de las mejores alternativas para el control biológico por ser económica, sencilla y desde el punto de vista ecológico, sustentable. No obstante, es fundamental propiciar las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para lograr su propósito. Además, cuando se pretende utilizarlos como bioinsecticidas es necesario realizar una caracterización exhaustiva de los aislados, a fin de seleccionar los de alta virulencia y buenas condiciones para su aplicación en campo; la cual incluye estudios referentes a la forma de infección (Merchán-Delgado, 2015).

Metarhizium robertsii es un hongo reconocido por su actividad biocontroladora. Morfológicamente, este hongo crece con una tonalidad verdosa oliva, y textura polvorienta sobre cuerpos de insectos o en medio de cultivos anéxicos (García Riaño, 2022). *M. robertsii* se caracteriza por ser mesófilo, con una temperatura óptima para germinación y crecimiento de 25 a 30°C, se ha evidenciado que *Metarhizium robertsii* puede colonizar las raíces de la planta y actúa al mismo tiempo como biofertilizante estimulando el crecimiento de la planta (Sedano-Vargas, 2017). El aprovechamiento de los residuos agroindustriales permite dar solución a diferentes problemáticas ambientales. De igual manera, ayuda a disminuir el uso de recursos naturales renovables y no renovables como materia prima de ciertos productos, y genera empleo y recursos económicos (Pérez & Vargas, 2018). La harina de soja se obtiene como un subproducto de la extracción del aceite de soja, siendo una fuente de proteína y energía de alta calidad. Las harinas de soja comúnmente utilizadas proceden del proceso de extracción por presión y solventes, con un tratamiento térmico de la semilla de soja, dando harinas con una alta concentración de proteína (+/-48%) y solo 2 gramos de fibra aproximadamente por cada 100 gramos; además, contiene gran variedad de vitaminas B y vitaminas K, A, D y E (Sol-Oriol, 2018).

La harina de palmiste es el residuo de la extracción del aceite de la semilla de la palma africana que se cultiva en zonas tropicales, tanto de África como de Asia. Es un producto que ha sido molido en partículas pequeñas, pero por lo general se refiere al producto extraído con solventes a partir del aceite de palmiste, la cual es una harina alta en grasa. El contenido en hierro es alto, y es especialmente destacable su alto contenido en manganeso (200 mg/kg) (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2015).

2. Materiales y Métodos

Se prepararon 150 mL de medio de cultivo avena, cuya composición es la siguiente (g/L): avena 33.3, peptona de carne 10 y agar bacteriológico 15. Mediante una probeta graduada, se midió el volumen a preparar (150 mL), y se traspasó a un matraz Erlenmeyer (al cual se le agregaron los componentes uno a uno para diluirse adecuadamente hasta conseguir una mezcla homogénea). Se utilizó un tapón de algodón para colocarlo dentro de la boca del matraz antes de calentarlo. Una vez hecho esto, se dispuso

el matraz Erlenmeyer sobre una placa eléctrica de calefacción, y con la ayuda de un agitador magnético, se esperó a que el medio llegará a la ebullición, cuidando de que este no se derramará. Posteriormente, se esterilizó en autoclave a 121°C, 20 min, 15 psi.

Una vez que el medio de cultivo quedó estéril tras 20 minutos dentro del autoclave a 15 psi y 121 °C, se distribuyó el volumen total del matraz en 9 cajas Petri, cuyo fin fue propagar las 3 cepas. Es importante que el vaciado de las cajas Petri con medio de cultivo se lleve a cabo en una zona aséptica. Para lograrlo, la superficie de la mesa debe limpiarse con alcohol siguiendo un solo sentido para evitar que el papel con el que se limpia esparza los microorganismos por otras zonas o permanezcan en el área que se utiliza. Adicionalmente, el vaciado del medio de cultivo en las cajas Petri se realizó muy próximo a la flama del mechero. Después de llenar las 9 cajas Petri con el medio de cultivo, se dejaron enfriar hasta solidificar, y seguidamente se sembraron por estría. Finalmente, se incubaron durante 6 días a 28 °C.

Para llevar a cabo la fermentación fue necesario esterilizar el siguiente material y su preparación: Preparación del surfactante (Tween 80). Para su preparación se utilizaron 500 mL de agua destilada en un frasco de vidrio con taparrosca, donde se añadieron, además, 250 µL del surfactante Tween. *El surfactante (Tween 80) es una sustancia muy viscosa, por lo tanto, es necesario tomar la medida necesaria y de manera inmediata, vaciarla al frasco que contiene 500 mL de agua destilada, junto con la punta con que se tomó, para su posterior esterilización. Las puntas se agruparon por colores: Amarillas (200 µL), azules (1000 µL) y blancas (5000 µL). Todas las puntas se colocaron ordenadas dentro de sus respectivas cajas, para posteriormente meterlas en bolsas y cerrarlas.

Se prepararon frascos de vidrio con las siguientes dimensiones: diámetro interno de 6.2 cm y altura de 6 cm, en los cuales se pesaron 10 g de materia sólida y se analizó la producción en las siguientes mezclas de arroz precocido (AP) y harina de soja (HS), (% p/p): 10-0, 98-2, 96-4, 94-6, 92-8 y 90-10. Posteriormente se taparon con tela quirúrgica y liga, y se introdujeron todos los frascos a una bolsa, la cual debe cerrarse para impedir la entrada de aire y microorganismos. Como último paso, se prepararon 5 tubos de centrífuga de 50 mL vacíos y cerrados dentro de una bolsa cerrada, un frasco de vidrio con taparrosca, con tubos Eppendorf y se envolvió una espátula pequeña en papel aluminio y un embudo que posteriormente se embolsó junto con la espátula. Para finalizar, se llevaron todos los materiales a esterilizar en la autoclave a 121°C durante 20 minutos, y transcurrido este tiempo, se dejaron enfriar.

Para la elaboración del cultivo en suspensión, se realizó con una espátula la extracción de los conidios de *Metarhizium robertsii*, los cuales se colocaron en un tubo falcón de 50 mL que contenía 20 mL de Tween 80 al 0.05%. Al obtener la mezcla, se agitó en un vortex durante 1 minuto hasta lograr una suspensión homogénea concentrada. A continuación, se preparó la primera muestra de la suspensión concentrada en un tubo Eppendorf para realizar un conteo celular. Se realizó una dilución 1:100. Por tanto, en el tubo Eppendorf se mezclaron 990 µL de Tween 80 y 10 µL de la suspensión concentrada, se agitó en un vortex nuevamente; por último, se realizó el conteo de conidios en la cámara de Neubauer bajo un microscopio con un objetivo 40x (Figura 1).

Estandarización por conteo celular en cámara de Neubauer. Se realizó un conteo celular en la cámara de Neubauer utilizando 5 cuadrantes en la cámara superior e inferior, respectivamente. De estos 5 cuadrantes, se determinó el número promedio y se calculó la concentración en conidios/mL para posteriormente estandarizar una suspensión de conidios a una concentración de 1×10^7 conidios/mL. Se prepararon 20 mL de suspensión estándar. Para ello, se mezclaron 19 700 µL (19.7

mL) de Tween 80 y 300 μ L (0.3 mL) del cultivo en suspensión en un tubo falcón. Posteriormente, se agitó en un vortex hasta homogeneizar la mezcla. Obtenida la suspensión estándar, se procedió a inocular los frascos de vidrio con el sustrato a utilizar (Arroz - Harina de soja).

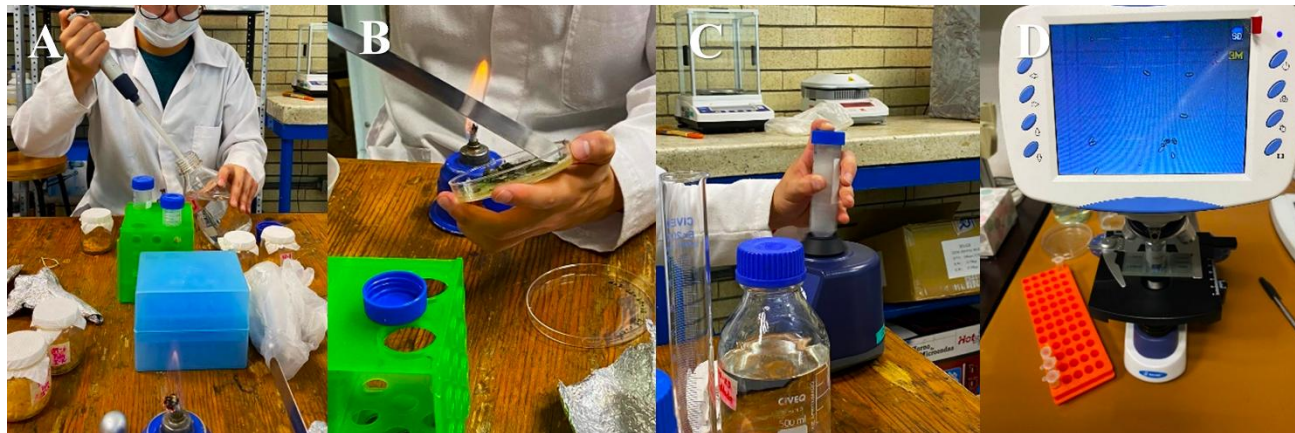


Figura 1. Procedimiento para la preparación de la suspensión concentrada para fermentación. (a) Preparación del tubo de centrifuga con Tween 80, (b) Extracción de conidios, (c) Agitación de la suspensión concentrada y (d) Preparación de la muestra para conteo celular.

Inoculación para fermentación. La inoculación se realizó colocando, mediante una micropipeta, 1000 μ L de suspensión estándar y 5000 μ L de agua destilada dentro de los frascos con sustrato previamente esterilizados. Por último, con una espátula estéril, se mezcló el fondo de los frascos para incorporar los reactivos anteriormente añadidos, con el fin de cerciorarse de que el inóculo se distribuye uniformemente y así, garantizar la fermentación. Todas estas operaciones se realizaron en una zona aséptica y próxima a la flama del mechero para evitar contaminaciones y resultados indeseables en la fermentación. Lograda la inoculación dentro de los frascos, se continuó a la incubación de los mismos durante 8 días para observar el crecimiento de *M. robertsii*. (Figura 2).

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), realizados con el software IBM SPSS Statistics versión 21 (SPSS, Chicago, IL).

3. Resultados y Discusión

Producción de *Metarhizium robertsii* en arroz y harina de soja. La Figura 3 muestra la producción de conidios de *Metarhizium robertsii* en diferentes tratamientos que emplean arroz precocido y harina de soja. Los resultados revelaron que la mezcla 92-8 exhibió la mayor producción de conidios, alcanzando 1×10^9 conidios por gramo de arroz seco inicial (conidios/gasi). Este hallazgo fue estadísticamente significativo en comparación con otras combinaciones de arroz precocido y harina de soja. Estos resultados indican que la adición de harina de soja, especialmente en la proporción 92-8, favorece la conidiación de *Metarhizium robertsii* de manera óptima y eficiente. Se observó una mejora significativa en la producción de conidios en el tratamiento 92-8 en comparación con el tratamiento control (100-0), donde no se añadió harina de soja.



Figura 2. Tratamientos con harina de soja para *M. robertsii*, (a) Vista frontal y (b) Vista inferior de cada frasco correspondiente a su respectivo tratamiento.

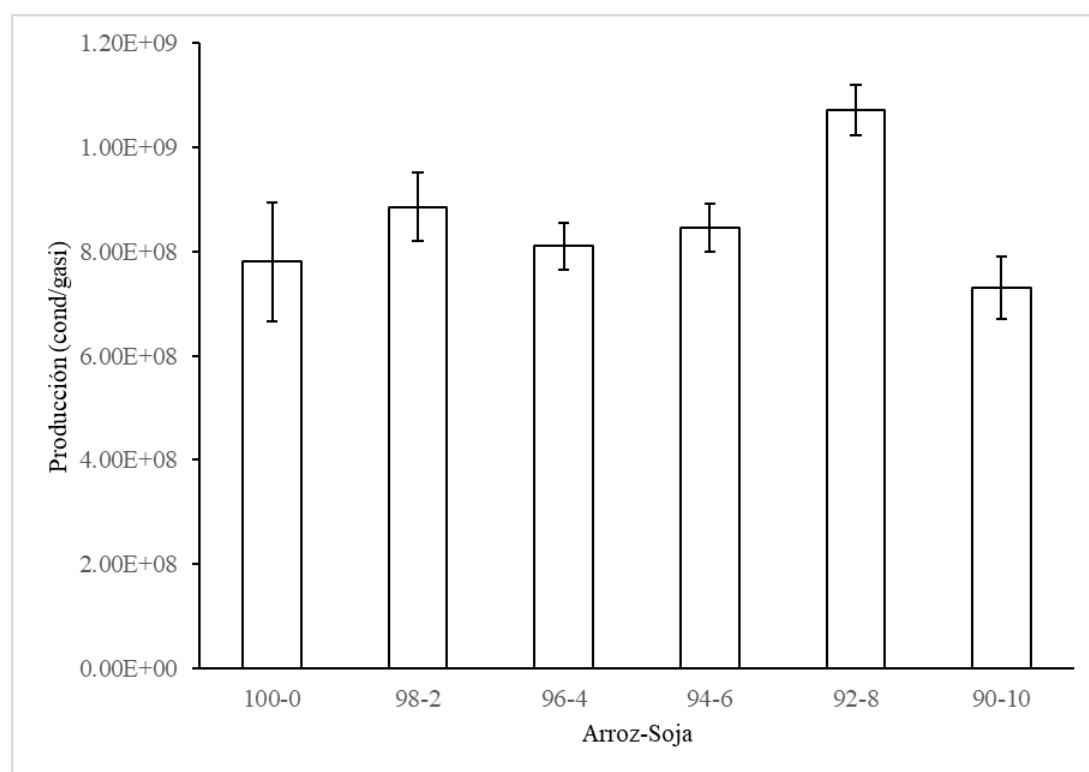


Figura 3. Producción de conidios de *Metarhizium robertsii* en tratamientos con arroz precocido y harina de soja.

La significativa mejora en la producción de conidios en la mezcla 92-8 sugiere que la harina de soja puede actuar como un suplemento beneficioso para el crecimiento y desarrollo del hongo entomopatógeno. Este resultado puede ser atribuido a los nutrientes presentes en la harina de soja, como proteínas y vitaminas, que podrían promover el crecimiento y la reproducción del hongo.

Estos hallazgos son importantes en el contexto del control biológico de plagas agrícolas, ya que una mayor producción de conidios de *Metarhizium robertsii* puede mejorar la eficacia de los micoinsecticidas y reducir la dependencia de los insecticidas químicos. Además, el uso de subproductos agrícolas como la harina de soja puede ofrecer una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para la producción de micoinsecticidas.

4. Conclusiones

La harina de soja demostró ser un suplemento eficaz en cultivos sólidos para aumentar la producción de conidios de *Metarhizium robertsii* sin afectar negativamente la germinación de los propágulos. Esta conclusión se basa en los resultados obtenidos en los tratamientos donde se combinó arroz precocido con harina de soja, específicamente en la mezcla 92-8, que mostró la mayor producción de conidios con un valor de 1×10^9 conidios/g de arroz seco inicial, en comparación con el tratamiento control 100-0. Este hallazgo sugiere que la harina de soja proporciona condiciones óptimas para la conidiación del hongo, lo que puede ser beneficioso para su uso en el control de plagas agrícolas. Sin embargo, es importante destacar la necesidad de realizar bioensayos adicionales para evaluar la infectividad de los conidios producidos en estos cultivos sólidos en insectos hospederos específicos. Esta información sería crucial para determinar la eficacia real de los conidios en el control de plagas y para optimizar las estrategias de manejo integrado de plagas en la agricultura.

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente al Dr. Rafael Ángel Cuapio y a su dedicado equipo de trabajo por su invaluable contribución y apoyo en este proyecto. También extendemos nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México y al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por proporcionar los recursos y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

Referencias Citadas

- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (2015). FEDNA. Obtenido de Fundación FEDNA.
- García-Riaño, J. L. (2022). Estudio de los microesclerocios formados por el hongo entomopatógeno *Metarhizium robertsii* Mt004: Producción, caracterización y actividad insecticida. Tesis Doctoral. Repositorio Institucional, Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de
- Merchán-Delgado, X. L. (2015). Control biológico con hongos entomopatógenos: una estrategia de aula para promover el cuidado del medio ambiente. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales.
- Polack, L; Leucona, E; López, S; (2020).). Control biológico de plagas en horticultura. Experiencias argentinas de las últimas tres décadas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Sedano-Vargas, I. (2017). Obtención de materias primas, principios activos, medicamentos y productos biológicos. Ciudad de México, México.
- Sol-Oriol, D. (2018). Ficha técnica: Harina de soja (44-48% PB).

Inclusión de garbanzo (*Cicer arietinum*) en snaks extruidos de maíz

Antonio Luis García-Cordero^{1,*}, Eva María Santos¹, Mirandeli Bautista¹, Jose Antonio Rodríguez¹, Fernando Díaz-Sánchez²

Resumen. El consumo de snacks en Latinoamérica está en continuo crecimiento. Aunque estos productos suelen considerarse limitados en nutrientes, hay un interés creciente por mejorar su composición nutricional mediante la inclusión de ingredientes beneficiosos. Este trabajo buscó evaluar los efectos de incorporar garbanzo (*Cicer arietinum*) en la composición nutricional, propiedades tecnológicas y características organolépticas de snacks extruidos, presentándolos como una alternativa a los tradicionales snacks de maíz tipo puff. Se analizaron parámetros de composición (humedad, proteínas, grasas, carbohidratos, fibra dietética y cenizas), parámetros tecnológicos como índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI), índice de absorción de aceite (OAI), capacidad de hinchamiento (SC) y densidad aparente (BD), así como ciertos parámetros sensoriales en diversas formulaciones desarrolladas con un extrusor de doble tornillo utilizando entre 25-65% de harina de garbanzo. La inclusión de harina de garbanzo aumentó la cantidad de proteína (7-19%) y la fibra dietética (2.63-5.80%), además de incrementar el contenido de cenizas (0.17-2.1%). Asimismo, disminuyó los valores de WAI (5.57-3.72%) y OAI (2.28-1.20 mL/g), pero incrementó los parámetros de WSI (3-17%) y BD (29.00-60.54 g/L), resultando en productos más duros. Los resultados hasta ahora muestran diferencias importantes en los parámetros tecnológicos que pueden afectar sensorialmente al nuevo producto, aunque hay una mejora nutricional en los valores de proteína y fibra.

Palabras clave. Snacks, Extrusión, Garbanzo.

Abstract. The consumption of snacks in Latin America is continuously growing. Although these products are often considered nutrient-limited, there is a growing interest in enhancing their nutritional composition by incorporating beneficial ingredients. This study aimed to evaluate the effects of adding chickpea (*Cicer arietinum*) on the nutritional composition, technological properties, and organoleptic characteristics of extruded snacks, presenting them as an alternative to traditional corn-based puff snacks. Parameters such as composition (moisture, proteins, fats, carbohydrates, dietary fiber, and ash), technological properties like water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), oil absorption index (OAI), swelling capacity (SC), and bulk density (BD), as well as certain sensory parameters, were analyzed in various formulations developed with a twin-screw extruder using 25-65% chickpea flour. The inclusion of chickpea flour increased the protein content (7-19%) and dietary fiber (2.63-5.80%), as well as the ash content (0.17-2.1%). It also decreased the WAI (5.57-3.72%) and OAI (2.28-1.20 mL/g) values, while increasing the WSI (3-17%) and BD (29.00-60.54 g/L) parameters, resulting in harder products. The results so far show significant differences in the technological parameters that may sensorially affect the new product, although there is a nutritional improvement in protein and fiber values.

Keywords: Snacks, Extrusion, Chickpea.

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

²Fritos TOTIS SA de CV, Hidalgo, México.

*Autor para correspondencia: ga472624@uaeh.edu.mx

1. Introducción

Latinoamérica es el segundo mercado potencial en el consumo de botanas, solamente superado por Asia (Sales & Associates, 2021). Este tipo de productos son densos en calorías, además de ser ricos en grasas saturadas, sal, azúcares y deficitarios en micronutrientes esenciales (Jensen & Schwartz, 2021). Por lo que la industria de snacks busca nuevas estrategias para mejorar estos productos alimentarios con mejor perfil nutricional, en parte motivada por la demanda de los consumidores (Sales & Associates, 2021). Una de estas estrategias más interesantes, es la incorporación de legumbres a estos productos extruidos tradicionalmente elaborados con cereales (Vatanparast et al., 2019). Las legumbres aportan ciertos beneficios nutricionales como son el aporte de mayor cantidad y calidad de proteínas, aporte fibra, minerales, vitaminas y compuesto bioactivos (FAO, 2021). El garbanzo es una de las legumbres más consumidas a nivel mundial, tiene un alto contenido en proteínas (20-22%) y es considerada una de las proteínas más asequibles en el mercado (Kaur & Prasad, 2021). Además, sus compuestos bioactivos han sido asociados con la disminución del riesgo de desarrollar obesidad y diabetes mellitus tipo 2 (Martínez-González et al., 2017). Por ello el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de la adición de la harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) a un snack a base de maíz (*Zea mays*), sobre sus características nutricionales, tecnológicas y sensoriales.

2. Materiales y métodos

Se elaboraron 6 formulaciones con diferentes combinaciones de harinas de garbanzo (*Cicer arietinum*) entre el 25 y el 65 % y maíz (*Zea mays L.*). Se utilizó un extrusor de doble tornillo (Cletral, modelo Evolum, Francia). Las muestras de snacks fueron trituradas y molidas por un molino ciclónico (UDY Corporation, modelo: 3010-030, USA) a un tamaño de partícula de (0.5 mm/500 micras). Índice de absorción de agua (WAI) e índice de sólidos solubles (WSI) fue determinado de acuerdo con Anderson et al. (1969). El Índice de absorción de aceite (OIA) fue determinado de acuerdo a Mokhtar et al. (2018). Para la Densidad aparente (BD) se utilizó la muestra entera. Se determinó según el método descrito por Okezie & Bello (1988). La Composición nutrimental se determinó mediante metodología AOAC (1999), humedad (925.09B), proteína (960.52), lípidos (920.39C), cenizas (923.03) y los hidratos de carbono fueron calculados por diferencia. Para el contenido de fibra dietética total se utilizó el kit TDF 100A de Sigma-Aldrich. Para la Sensorial se utilizó el Test de aceptabilidad de aceptabilidad y preferencia, sobre 30 panelistas expertos. Utilizando una escala hedónica de 9 puntos donde 1 significa me disgusta mucho y 9 me gusta mucho. El proceso estadístico consideró un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para comparar los valores medios a un nivel de significación de $p < 0,05$. Utilizando el software Statgraphics Centurion XIX version 19.6.02 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA).

3. Resultados y discusión

La inclusión de harina de garbanzo en snacks extruidos en el apartado de parámetros tecnológicos (Figura 1) redujo el índice de absorción de agua (WAI), al compararlo con la formulación con 100% de maíz. Este parámetro determina la disponibilidad del almidón para absorber agua y se asocia con el índice de gelatinización del almidón (Lazou et al., 2010) esta menor gelatinización puede deberse a la mayor cantidad de proteína y de fibra procedente del garbanzo, que dificultan en el proceso de

hidratación. Por otro lado, el índice de sólidos solubles (WSI), permite determinar la cantidad de componentes moleculares degradados, como consecuencia de la dextrinización (Lazou et al., 2010) e incrementado posiblemente debido a la mayor presencia de proteínas y de almidón que se libera y es soluble en agua. En cuanto al índice de absorción de aceite (OIA), se trata de un indicador de la naturaleza hidrófoba de los extruidos. Se redujo en todas las formulaciones con garbanzo, posiblemente por la presencia de proteínas (Lazou et al., 2010), afectando a posibles posteriores tratamientos del producto. En cuanto a la densidad aparente (BD), también se incrementó en las formulaciones con garbanzo (39-60.54 g/L), comparado con el producto 100% de maíz (29 g/L) como consecuencia de una menor expansión del producto.

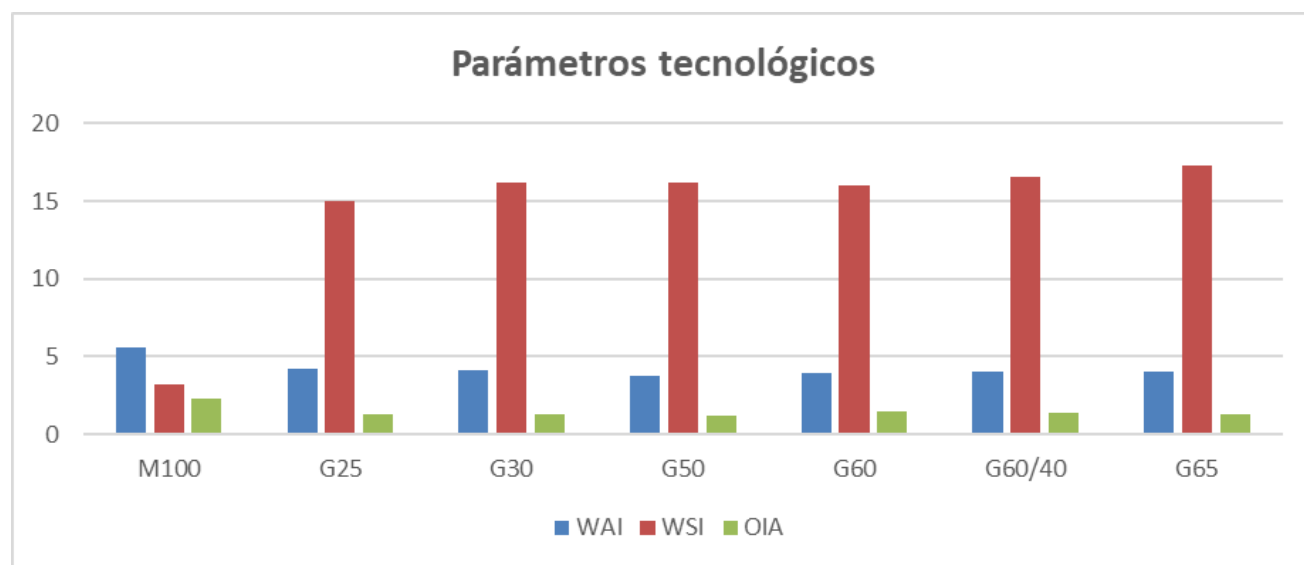


Figura 1. Parámetros tecnológicos. WAI: índice de absorción de agua (g/g), WSI: índice de sólidos solubles (%), OIA: índice de absorción de aceite (mL/g). Formulaciones snacks: M100 (100% maíz), G25 (25% garbanzo), G30 (30% garbanzo), G50 (50% garbanzo), G60 (60% garbanzo), G60/40 (60% garbanzo), G65 (65% garbanzo).

En cuanto a la composición nutrimental (Figura 2), hubo un incremento importante de la proteína, incrementando en las formulaciones con garbanzo entre un (5.42-11.4%) respecto al producto 100% de maíz. Al igual ocurrió con la fibra total dietética (0.43-3.18%), la ceniza (1.25-1.99%). En el caso de los hidratos de carbono se redujo entre un 7.91-17.88%. En el caso de la grasa el contenido en todas las formulaciones fue discreto, sin que hubiera diferencias importantes entre las formulaciones con garbanzo y sin él.

En el apartado sensorial la formulación G65 fue la preferida seguida por la G60 y la de menor preferencia fue la muestra M100. En cuanto a los atributos de color tuvieron todas unas puntuaciones entre 4-5 (Me gusta ligeramente-ni me gusta ni me disgusta), en cuanto al sabor la mejor valorada fue la G65 (4.6) y la peor valorada fue la M100 (3.87). En cuanto a la dureza las mejor valoradas fueron la G65 (5.6) y G60 (5.43) y la menos valorada fue M100 (3.07).

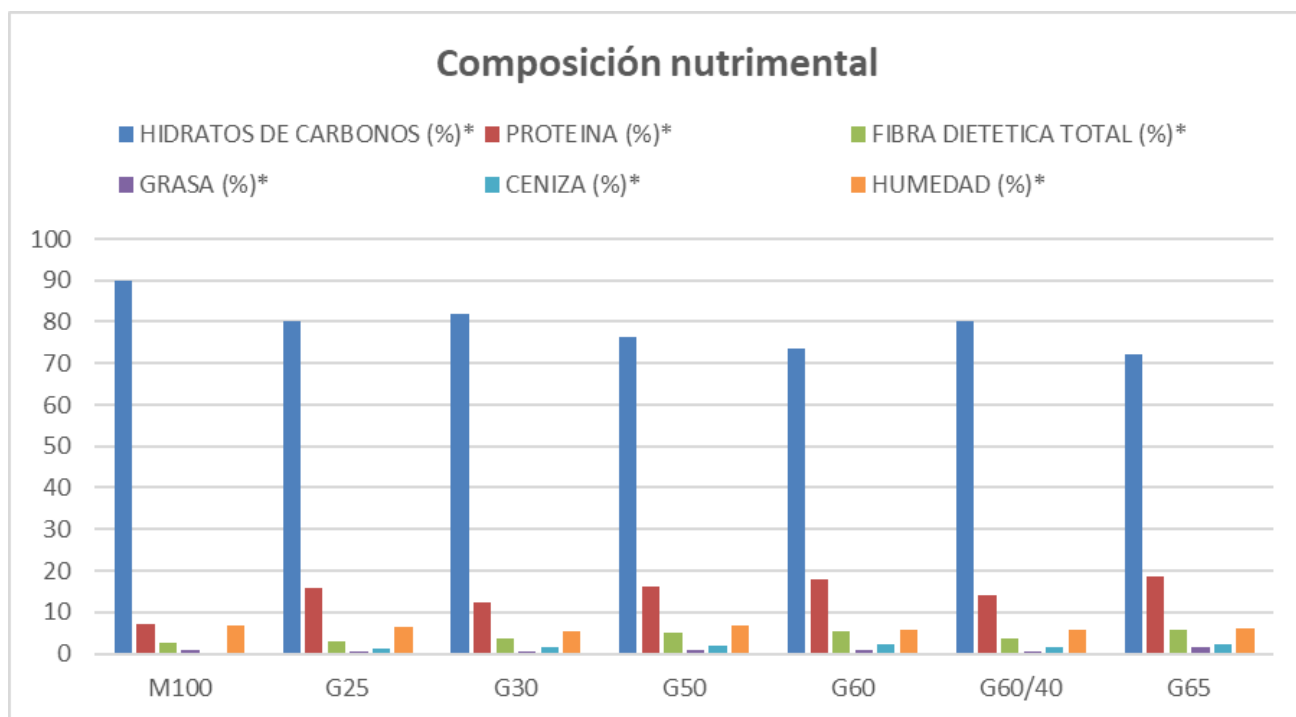


Figura 2. Composición nutrimental. *: porcentaje en extracto seco. Formulaciones snacks: M100 (100% maíz), G25 (25% garbanzo), G30 (30% garbanzo), G50 (50% garbanzo), G60 (60% garbanzo), G60/40 (60% garbanzo), G65 (65% garbanzo).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento en cuanto a los parámetros tecnológicos se asocian con un producto con menor capacidad de gelificación de almidón, lo cual guarda relación con una menor expansión y mayor densidad, por lo tanto, se prevé que sean productos más duros. Además, la menor capacidad de absorber grasas va a influir posiblemente en posteriores etapas de procesamiento de los snacks. La inclusión de garbanzo en los snacks, en cuanto al color, sabor y dureza fueron mejor percibidos que el producto a base de maíz por parte de los panelistas. Y en cuanto a la composición nutrimental, existe una mejora en cuanto al contenido de proteína, fibra dietética y minerales, y además de una reducción del contenido de hidratos de carbono, siendo resultados positivos que abre la posibilidad de nuevas investigaciones que permitan conocer si este nuevo perfil nutricional tiene efectos beneficiosos sobre la salud.

Referencias citadas

- Anderson, R. A. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *J. Cereal. Sci.*, 14, 4-7.
- Association of Official Analytical Chemists AOAC (1999). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, AOAC, Washington, DC, USA.
- FAO. (2021). Beneficios nutricionales de las legumbres. Global Pulse Confederation.

- Jensen, M. L., & Schwartz, M. B. (2021). Junk food consumption trends point to the need for retail policies. In *The American journal of clinical nutrition*. 114(3): 837–838.
- Kaur, R., & Prasad, K. (2021). Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 448-463.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food research international*, 43(2), 609-616.
- Martinez-Gonzalez, A. I., Díaz-Sánchez, Á. G., de la Rosa, L. A., Vargas-Requena, C. L., Bustos-Jaimes, I., & Alvarez-Parrilla, E. (2017). Polyphenolic compounds and digestive enzymes: In vitro non-covalent interactions. *Molecules*, 22(4), 669.
- Mokhtar, S. M., Swailam, H. M., & Embaby, H. E. S. (2018). Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: Composition of goldenberry juice waste. *Food Chemistry*, 248, 1-7.
- Okezie, B. O., & Bello, A. B. (1988). Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Journal of Food science*, 53(2), 450-454.
- Sales & Associates Creative Solutions. Trusted Advice., Arca Continental (2021).
- Vatanparast, H., Islam, N., Patil, R. P., Shafiee, M., Smith, J., Whiting, S. (2019). Snack consumption patterns among Canadians. *Nutrients*, 11(5).

Las mujeres en la producción del mezcal artesanal y en la conservación de agaves silvestres en el huerto familiar

Gema Lugo-Espinosa^{1,*}, Teodulfo Aquino-Bolaños¹, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz¹

Resumen. Los huertos familiares en Oaxaca representan una fuente de recursos naturales que coadyuvan la subsistencia familiar, y a su vez a preservar la biodiversidad y el medio ambiente. Tal es el caso del cultivo de los agaves silvestres para la producción de mezcal artesanal, que ha retomado una fuerza significativa, en este sector donde se han incorporado grupos de diferentes comunidades en busca de actividades que contribuyan al sustento para sus familias. El objetivo de este trabajo fue analizar la participación de las mujeres que se involucran en el proceso de elaboración de mezcal en Oaxaca. La metodología consistió en recabar sus testimonios, entrevistas no estructuradas con algunas integrantes de la unión de productoras, observación participativa en diversos puntos de venta. Los resultados son: las mujeres encontraron una fuente de empleo que les brindó sustento a sus familias, la integración en la unión de mujeres mezcaleras les ha abierto espacios de difusión de sus productos y su historia. El mezcal artesanal en Oaxaca representa para ellas un reto y oportunidad para posicionarse dentro del sector industrial como una fuerza de liderazgo. Se concluye que las mujeres rurales juegan un papel clave en el manejo y conservación de los agaves silvestres y en el desarrollo del mezcal artesanal, porque participan en todas las etapas de la producción, desde la recolección de semillas de diversos agaves para su propagación en los huertos familiares y su cultivo, producción de mezcal artesanal hasta la comercialización y difusión del producto salvaguardando la identidad cultural.

Palabras clave: Mujeres Mezcaleras, Ruralidad, Desarrollo Local, Huertos Familiares, Agaves

Abstract. The production of mezcal in Oaxaca has regained significant strength; groups from different communities have joined this sector in search of activities that contribute to the sustenance of their families; the objective is to analyze the participation of women involved in the mezcal production process in Oaxaca. The methodology consisted of collecting their testimonies, unstructured interviews with some members of the union of producers, and participatory observation at various points of sale. The results are the women found a source of employment that provided sustenance for their families, the integration in the mezcal women's union has opened spaces for them to disseminate their products and their history. Artisanal mezcal in Oaxaca represents for them a challenge and an opportunity to position themselves within the industrial sector as a leading force. It is concluded that rural women play a key role in the development of artisanal mezcal; they participate in all stages of production, from the collection of seeds from different agaves for propagation in family gardens, and their cultivation to the marketing and dissemination of the product, safeguarding the cultural identity.

Keywords: Mezcal Women, Rurality, Local Development, Home Gardens, Agaves.

1. Introducción

El mezcal de Oaxaca se ha convertido en una industria destacada a nivel estatal, gracias a la innovación en la marca, el diseño y la mercadotecnia de sus productos. La calidad y la diversidad de sabores que ofrece el mezcal derivado de los agaves silvestres que se utilizan, han generado una mayor aceptación

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Oaxaca, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: glugoe@ipn.mx

entre los consumidores y un impulso a la industria. La cuál ha logrado consolidarse mediante la participación de grupos y asociaciones que han establecido redes de trabajo para diseñar estrategias de comercialización a nivel estatal y expandirse a otros estados de la república mexicana. Oaxaca ocupa el primer lugar como productor con el 91.31% a nivel nacional, según estimaciones del Consejo Regulador del Mezcal (COMERCAM, 2023). No obstante, se trata de un sector fuertemente criticado por priorizar el crecimiento de sus plantaciones de agave a gran escala y en detrimento de otros cultivos esenciales para la alimentación básica.

Los huertos familiares como unidades de producción, representan el sustento de familias en entornos rurales, debido a que proveen de alimentos básicos para el autoconsumo mediante variedades de hortalizas y animales de crianza, funcionan como espacios de intercambio de conocimientos y en él participan los miembros de las familias en las actividades de mantenimiento y producción (Conteras-Cano, 2015), en ellos resulta importante la propagación de especies endémicas.

Torres et al. (2015) sugiere que la degradación del entorno natural debido a la extracción de especies de agaves silvestres no es equiparable con la reforestación. Los productores de mezcal artesanal conscientes de esta problemática han comenzado a tomar conciencia y en la búsqueda de alternativas más sustentables, han encontrado en la intercalación de cultivos en huertos familiares una práctica que ayuda a preservar el medio ambiente y la biodiversidad en sitios donde hay afectación por el monocultivo de agaves. Ampliar las acciones de reforestación y la propagación de agaves silvestres a través de la recolección y siembra de semillas e incluir a nuevos grupos sociales en el proceso productivo, desde la implementación de huertos, palenques, hasta la promoción y comercialización son otro ejemplo de este cambio de percepción y acción.

Las mujeres en el ámbito rural participan en actividades relativas a la producción de mezcal artesanal en Oaxaca. Sin embargo, en las comunidades rurales se refuerzan los roles tradicionales de género debido al bagaje cultural, dando pauta a invisibilizar la contribución de las mujeres catalogándolas como reproductoras dentro del ámbito doméstico (Alberti, 2011) y dentro de este contexto no recibían un pago justo por sus actividades en el ámbito de la producción de mezcal (Zavala, Carlos, 2023). En esta investigación, el objetivo es analizar la participación de las mujeres que se involucran en el proceso de elaboración de mezcal en Oaxaca para hacer visible su labor.

2. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en los Valles Centrales de Oaxaca, en particular en las comunidades de: San Dionisio Ocotepec, San Baltazar Guelavia, San Baltazar Chichicápam, San Francisco Sola de Vega, Santiago Matatlán y Villa Santiago Tejupam de la Unión, tal como se muestra en la Figura 1.

El enfoque teórico metodológico se fundamenta en la perspectiva de género para comprender el fenómeno de la desigualdad de condiciones en comunidades rurales y la búsqueda de acciones que permitan la equidad (Alberti-Manzanares, 1999); el interaccionismo simbólico (Alvarez-Gayou, 2003) para comprender el impacto que los símbolos de identidad otorgan arraigo; motivación para la producción de mezcal y la forma en que este simbolismo puede contribuir a mejorar las prácticas hacia la sustentabilidad.

La investigación adoptó un enfoque cualitativo, centrándose en la recopilación de testimonios de mujeres pertenecientes a la organización Mujeres del Mezcal A.C. Se seleccionaron aquellas que desempeñaron un papel destacado en la promoción de sus actividades durante el evento de difusión sobre el mezcal en Oaxaca en 2023.

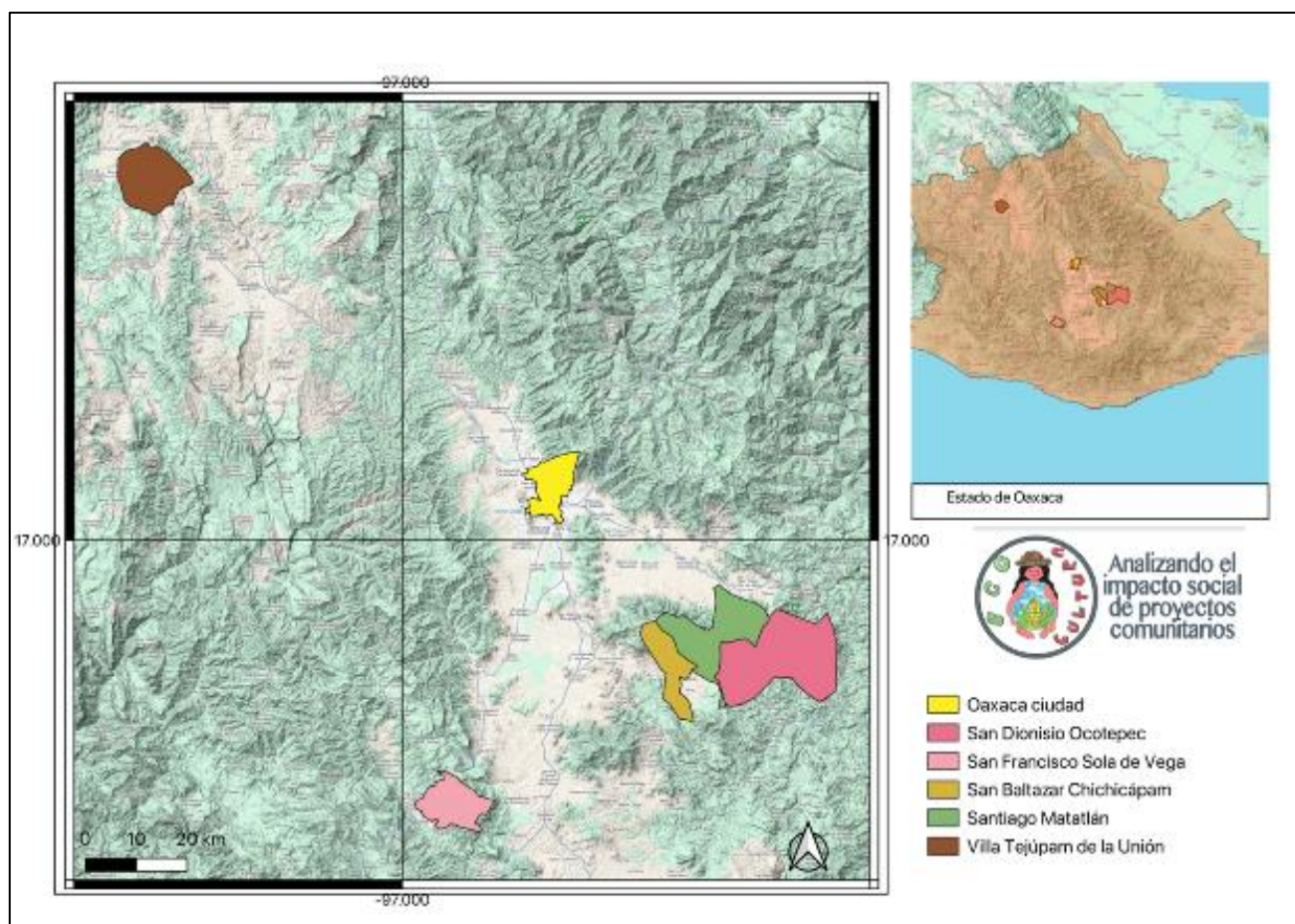


Figura 1. Mapa de ubicación comunidades de estudio, mujeres productoras de mezcal en Oaxaca.

Se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas y se realizaron recorridos de campo en puntos de venta, comunidades y zonas turísticas del centro de Oaxaca. Estos métodos permitieron obtener una comprensión profunda del contexto de los espacios de promoción, difusión e intercambio de experiencias, así como del papel de las mujeres en la cadena de producción agave-mezcal.

3. Resultados y Discusión

Las comunidades de estudio presentan un alto nivel de rezago, carencias económicas y pobreza (CONEVAL, 2020); su vocación es agrícola y cultural. En ellas, las organizaciones civiles son parte fundamental para sacar adelante la industria del mezcal.

Con los testimonios de las mujeres dedicadas a la elaboración del mezcal como se muestra en el Cuadro 1, se reconoce que la importancia de su participación radica en que pueden hacer vínculos sociales que les da la oportunidad de desarrollar competencias en conjunto, intercambio de saberes y una estrategia de autoempleo para solventar las dificultades que enfrentan. A continuación, se presentan los testimonios recopilados de maestras mezcaleras en diversos palenques y durante el evento de fomento económico en la feria del mezcal Oaxaca, 2023.

Cuadro 1. Testimonios de experiencias de las maestras mezcaleras

Maestra mezcalera	Comunidad	Testimonio
Angelica	San Baltazar Chichicapam	<i>“A las mujeres no nos tomaban en cuenta, porque una mujer no puede hacer mezcal, no es nada más por no poder hacer un esfuerzo grande como levantar piñas, pero hay cosas que si podemos hacer...en mi pueblo hay mucho machismo, me decían que una mujer no podía estar en un palenque, porque no se cocía el maguey”</i>
Sheila	San Dionisio Ocoteppec	<i>“Una historia arraigada en mi familia, mi historia comenzó con la recolección y reproducción de semilla de agave, esa actividad la realizaba junto con otras mujeres mientras charlábamos sobre nuestros sueños y esperanzas”</i>
Marisol	Santiago Matatlán	<i>“Emocionada por participar y trabajar en la producción de mezcal”</i>
Liova	Sola de Vega	<i>“Tengo una nena con discapacidad y las mujeres me motivaron a entrar a este oficio.... lo que más he aprendido es que por más difícil que sea se puede lograr si uno se propone algo”</i>
Araceli	Santiago Tejupam Mixteca	<i>“Mis hijos ahora forman parte de mi equipo, yo entre en el mezcal, cuando mi esposo fallece y mis suegros me abandonan...en mi comunidad existe mucho el machismo y uno de los problemas que he enfrentado es que no eres bien vista en un trabajo que dicen de hombres”</i>
Ana Laura	San Baltazar Guelavia	<i>“Yo me motivé gracias a mis padres y hermanos, me contagiaron del amor al aprender de ellos, tenemos una marca familiar... mi papá me decía si quieres aprender un trabajo debes saber hacerlo desde como germinar una semilla y así empecé creando mi propio vivero rescatando agaves silvestres”.</i>
Claudia	Sola de Vega	<i>“Si yo le ayudo a mi pareja en todo el proceso, paso muchas horas en el campo para reproducir los agaves por semilla y por hijuelos.”</i>
Laura	Sonora	<i>“Hemos sido pioneras, hemos tratado de abrir brechas y puertas, hemos trabajado en una serie de eventos, estamos potenciando las marcas, trabajamos en conjunto par jalar a las mujeres a la formalidad”</i>
Dena	Oaxaca	<i>“Soy agavera quinta generación de mezcaleros y hace un par de años un grupo de amigas que estábamos en este tema del mezcal nos conformamos como las mujeres del mezcal y agave capítulo Oaxaca, estamos constituidas legalmente y nuestra asociación creció y ahora somos 161 mujeres en toda la cadena productiva agave- mezcal...yo llevo en esto desde que nací, vengo de familia mezcalera” Presidenta de la Asociación Mujeres del Mezcal y Maguey de Oaxaca, 2023.</i>

Elaboración a partir de los testimonios de las mujeres mezcaleras.

Las mujeres de las comunidades de estudio se han incorporado al sector del mezcal, con dificultades han enfrentado retos y están dispuestas a continuar con la producción por brindar bienestar. Rompen estereotipos de género, enfrentando con valentía las condiciones de desigualdad que enfrentan en el espacio público (Alberti, 2011), ante una industria dominada por hombres, donde instituciones, formas de organización y acciones en comunidad obstaculizan su participación. Para lograr el desarrollo rural

sustentable se precisa incorporar la participación de los actores sociales que dinamizan las actividades económicas para bienestar colectivo (Bórquez & Ventura, 2009).

Por lo tanto, su papel como gestoras de desarrollo es vital, ellas a través del trabajo colaborativo, la búsqueda de espacios y oportunidades han aprendido de sus familiares la labor en la cadena productora agave-mezcal, desarrollan una fuente de empleo que va desde la implementación de huertos familiares, recolección y resguardo de semillas de agaves, corte y cocción de piñas, destilado y etiquetado, venta y promoción, con la búsqueda de alternativas de desarrollo local. La acción colectiva en el medio rural, contribuye a que las mujeres se cuestionen la opresión y limitación en los espacios públicos y las impulse a la búsqueda de equidad (Vázquez-García et al., 2023). Con sus testimonios y actividades, ellas identifican elementos sociales, ambientales y económicos que debieran ser tomados en consideración y ser remunerados, por la importancia que tienen para la producción de mezcal.

Los elementos sociales destacables para la producción de mezcal, incluyen: a) La conformación de uniones sociales es fundamental para apoyar la búsqueda de oportunidades en el sector del mezcal, y les ha significado una independencia que les ayuda a desarrollar autonomía y gestión; b) Los principales problemas que enfrentan están relacionados con la aceptación de sus labores por parte de las personas de la comunidad porque rompen con patrones tradicionales de género. Su lucha real es contra los patrones establecidos culturalmente; c) La unión y creación de redes de apoyo para compartir experiencias, conocimientos y recursos les ha permitido fortalecer el papel que tienen como *mujeres mezcaleras* en la industria, así como promover la calidad, la sustentabilidad y la diversidad de sus productos, como se muestra en la Figura 2; d) Las mujeres pueden ser independientes, aún en caso de viudez y tener un sustento económico gracias a la producción de mezcal y los conocimientos que ellas poseen; e) Existen diversos retos y desafíos para consolidar los negocios y acceder a nuevos mercados, transitar a la formalidad de sus actividades, es el primer paso; f) Es necesario acceder a espacios de difusión, han participado en varios eventos para presentar productos alimenticios creativos derivados del mezcal como: gomitas de mezcal, pay a base de tuna y mezcal, bebidas saborizantes a base de residuos de agave; g) Su labor se complementa con el trabajo masculino, quienes realizan las actividades más pesadas y se puede denominar un trabajo conjunto dentro del palenque.

Los elementos ambientales de valor significativo para las mezcaleras, consideran: a) La propagación de semillas de agave silvestre asegura la continuidad de especies en peligro de extinción, además que otorga un valor inherente a los saberes ancestrales en la recuperación de las semillas; b) Para el mantenimiento, se genera una base de abonos orgánicos (composta) en huertos y se apoyan también riego de temporal, tienen limpia de malezas y partes de agave o composta que se reintegra para la producción de agaves libres de tóxicos y apropiados para asegurar la calidad del mezcal; c) Manejan una pequeña área de propagación de semilla una vez que bajan de los quiotes, en camas de desarrollo y abonan con estiércol de ganado. Aunque es un esfuerzo pequeño en comparación con las áreas que deben reforestarse, es muy valioso porque la propagación de agaves silvestres puede replicarse y crecer como tendencia; d) Ellas conocen el momento apropiado para el traspaso de hijuelos al huerto y posterior a su crecimiento, lo que fomenta el intercambio de saberes entre mujeres como se muestra en la Figura 3; e) Están iniciando el reúso de residuos orgánicos en la elaboración de subproductos como playeras a base de fibra de agave, como el caso del mezcal Carreño.



Figura 2. Mujeres del mezcal compartiendo testimonios y experiencias. Observación participativa durante los eventos de promoción y difusión.

Los elementos económicos identificados por las maestras mezcaleras, incluyen: a) El ingreso que perciben varía entre los \$500-\$1600 pesos por botella; sus ventas varían de acuerdo con el lugar donde se promocionen sus productos, debido a que deben pagar aportaciones para adquirir espacios en algunas ferias regionales; b) La industria del mezcal representa una alternativa de desarrollo rural, muchas de ellas continúan capacitándose y aperturan espacios de participación para la venta y promoción de sus productos; c) Han logrado establecer redes de colaboración con compañeros que anteriormente se reusaban a integrarlas; ahora se conforman gremios que poco a poco reconocen su la fuerza como actores sociales relevantes para detonar la economía local; d) Este sector productivo se consolida como uno de los ejes de la economía para el estado de Oaxaca y se proyecta como un sector en crecimiento constante, “La industria de mezcal aporta al IEPS en Oaxaca, este fue uno de los pocos sectores que no se detuvo ni en pandemia, al estar con esta dispersión geográfica en nuestro estado, como industria organizada, aporta como motor económico, abona positivamente a que la cuestión social sea estable porque tienen una actividad productiva que genera ingresos, evita la migración, representa un eje económico en nuestro estado” Diputada del H. Congreso de Oaxaca, Haydeé.

Desarrollo y conservación en zonas rurales, implica reconocer que la sociedad es la que transforma su entorno con todo el simbolismo que impregnan en las actividades productivas como lo muestra la Figura 4. El maguey transformado en mezcal artesanal es el símbolo de identidad cultural como se aprecia en la Figura 5, las personas de la comunidad se sienten parte del territorio por todo el interaccionismo simbólico que implica la producción “la parte que más me gusta es la destilación para ver la esencia y alegría que nos transmite ver el mezcal cayendo en chorrito y el envasado porque la mayoría de las personas que envasan son mujeres, es bueno ver a otras mujeres trabajando”(Araceli, maestra mezcalera).



Figura 3. Siembra de hijuelos de Agave en San Dionisio Ocotlán, a) 2022. B) 2023. (Evento Mujeres del Mezcal y Maguey de Oaxaca, 2023).



Figura 4. Trabajo en palenque. (Evento Mujeres del Mezcal y Maguey de Oaxaca, 2023)

El proceso de desarrollo a nivel comunitario es lento, la incorporación y reconocimiento de las mujeres en el ámbito rural ha estado lleno de obstáculos, pero son las maestras mezcaleras una muestra clara que su ejemplo motiva a otras mujeres a incorporarse y buscar alternativas de equidad y autonomía.



Figura 5. Fotografías de pinturas impregnadas de simbolismo e identidad cultural, tomadas durante el evento de difusión de la feria del mezcal 2023, Oaxaca.

4. Conclusiones

La participación de todos los agentes locales en la conservación de los recursos naturales es clave para lograr un desarrollo sustentable que respete el medio ambiente y las actividades productivas que lo simbolizan. Así, se promueven iniciativas que fortalecen el vínculo social y la responsabilidad territorial. Son valiosos los esfuerzos de las mujeres rurales que juegan un papel fundamental en el desarrollo rural para generar productos cargados de identidad cultural. El simbolismo impregnado en los agaves representa cultura, tradición, arraigo y una oportunidad para cimentar las bases hacia la equidad de género para este grupo emergente de productoras de mezcal. Además, que trabajar con agaves ha significado salvaguardar su patrimonio cultural.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación de las mujeres mezcaleras y a la presidenta de la Asociación Mujeres del Mezcal y Maguey de Oaxaca, Dena Chagoya por compartir sus experiencias; a los productores por sus aportes durante los recorridos. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT por la estancia posdoctoral. Al Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca por hacer posible el acercamiento con las y los productores de agave y mezcal en Oaxaca. Al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores SNII por su valioso apoyo a la investigación.

Referencias Citadas

- Alberti, P. (2011). Los estudios de género y su crítica al androcentrismo en las Ciencias Sociales. En Rodríguez-Shadow, María, y Campos, Lilia (eds.). *Mujeres: Miradas interdisciplinarias*. México, DF: Centro de Estudios de Antropología de la Mujer (pp. 213–236).
- Alberti-Manzanares, P. (1999). La identidad de género y etnia. Un modelo de análisis. *Nueva Antropología*, XVI(55), 105–130.
- Alvarez-Gayou, J. L. (2003). Cómo hacer investigación Cualitativa. En *Fundamentos y metodología*. Paidós Mexicana.
- Bórquez, L. C., & Ventura, S. G. (2009). Nueva ruralidad y desarrollo territorial. Una perspectiva desde los sujetos sociales. *Veredas. Revista del Pensamiento Sociológico*, 18, Article 18.
- COMERCAM. (2023). Informe estadístico 2023. (pp. 1–20) [Estadístico].
- CONEVAL. (2020). Informe de pobreza y evaluación 2020. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Conteras-Cano, J. E. (2015). Huertos familiares: Un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista pueblos y fronteras digital*, 10(20), 70–91.
- Mujeres del Mezcal y Maguey de Oaxaca. (2023). Capítulo Oaxaca | Mujeres del Mezcal [Difusión]. Capítulo Oaxaca | Mujeres del Mezcal.
- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M., & Delgado-Lemus, A. (2015). Population Dynamics and Sustainable Management of Mescal Agaves in Central Mexico: Agave potatorum in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Economic Botany*, 69(1), 26–41.
- Vázquez-García, V., Ojeda-Gutiérrez, D., & Peña-Godínez, E. (2023). Género, extractivismo y defensa del territorio en el Soconusco, Chiapas. *Perfiles Latinoamericanos*, 31(62), Article 62.
- Zavala, Carlos. (2023, marzo 12). Mujeres son 35.3% en producción de mezcal en Oaxaca; la mayoría no son remuneradas [El Universal Oaxaca]. Oaxaca. <https://oaxaca.eluniversal.com.mx/sociedad/mujeres-son-353-en-produccion-de-mezcal-en-oaxaca-la-mayoria-no-son-remuneradas>

Suplementación foliar de nosodes sobre las características agronómicas, físicas, fitoquímicas y fitopatológicas de *Phaseolus vulgaris* L.: un estudio pre y post-cosecha

Beatriz Quiroz-González^{1,*}, Luicita Lagunez-Rivera¹, Sabino Honorio Martínez-Tomás¹, Carlos Granados-Echegoyen², Rafael Pérez-Pacheco¹, Israel Dionicio-y de Jesús³

Resumen. Los nosodes son soluciones preparadas a partir de plagas, capaces de controlar esas mismas plagas cuando se aplican foliarmente a los cultivos. Su uso en agricultura es una tecnología emergente, ecológica y económica. Se evaluó el efecto de la aplicación de nosodes en el cultivo de frijol antes y después de la cosecha. El experimento se realizó en campo abierto, con la aplicación del nosode 200 CH una vez, tres veces, quincenalmente y semanalmente desde la etapa de floración de frijol "Delgado". La aplicación de nosodes promovió, con respecto a las plantas no tratadas, un rendimiento hasta 108% mayor, una biomasa 26% mayor, una longitud de raíz 32% más larga, un número de vainas 34% mayor y hasta un 227% menos vainas dañadas. Además, las plantas tratadas exhibieron un 37% mayor estabilidad de membrana y hasta un 27% mayor contenido fenólico en semillas y hojas en comparación con las no tratadas. Las plantas bajo manejo convencional mostraron un 61% menos de incidencia de *Diabrotica balteata* que las tratadas con nosodes. Las semillas tratadas con nosodes mostraron una mortalidad de *Zabrotes subfasciatus* de hasta un 80%. Este estudio destaca el uso de nosodes en el cultivo de frijol como una estrategia agronómica para mejorar la producción y calidad de semillas, ayudando a los productores a tomar decisiones informadas sobre su aplicación.

Palabras clave. Agrohomeopatía, Poscosecha, Permeabilidad de membrana, Compuestos fenólicos.

Abstract. Nosodes are solutions prepared from pests, capable of controlling those same pests in crops. Their use in agriculture is an emerging, eco-friendly, and cost-effective technology. The effects of applying nosodes to bean crops before and after harvest were evaluated. The experiment was conducted in the field, with nosode 200 CH applied once, three times, biweekly, and weekly from the flowering stage of the "Delgado" bean plant. Application of nosodes resulted in 108% higher yield, 26% greater biomass, 32% increase root length, 34% more pods, and up to 227% decrease in damaged pods compared to untreated plants. Furthermore, compared to the untreated plants, treated plants exhibited 37% higher membrane stability and up to 27% higher phenolic content in seeds and 22% higher in leaves. Plants under conventional management showed 61% less *Diabrotica balteata* incidence than nosode-treated ones. Seeds treated with nosodes exhibited a mortality in *Zabrotes subfasciatus* of up to 80%. This study highlights the use of nosodes in bean cultivation as an agronomic strategy to enhance seed production and quality, aiding producers in informed decision-making about their application.

Keywords: Agrohomeopathy, Post-harvest, Membrane permeability, Phenolic compounds.

¹Instituto Politécnico Nacional, Bioplanta-CIIDIR Oaxaca, México.

²CONAHCYT- Instituto Politécnico Nacional, Bioplanta-CIIDIR Oaxaca, México.

³CONAHCYT-Programa Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica, Ciudad de Mexico, México.

*Autor para correspondencia: bquiroz@ipn.mx

1. Introducción

La agrohomeopatía consiste en la utilización de plagas para la elaboración de “agronosodes”, los cuales tienen la capacidad de controlar, en los cultivos, la misma plaga con la que fueron elaborados (Rodríguez-Hernández et al., 2017). La agrohomeopatía ofrece un modelo ecológico y económicamente viable con potencial para reducir el uso de agroquímicos (Mazón-Suástegui et al., 2020). Diversos estudios han probado con éxito la efectividad de la agrohomeopatía para reducir la presencia de algunas plagas como *Dysaphis plantaginea* Pass (Wyss et al., 2010), *Acromyrmex* spp. (Giesel et al., 2012), *Epilachna varivestis* (Rodríguez Hernández et al., 2017), *Meloidogyne enterolobii* (Ferreira et al., 2021), *Alternaria solani* (Carneiro et al., 2010), *Xanthomonas campestris* (Rossi et al., 2007) y *Pseudomonas syringae* (Shah-Rossi et al., 2009). No obstante, hasta nuestro conocimiento, no hay reportes científicos que evalúen el efecto de los agronosodes sobre variables agronómicas (v.g. rendimiento), respuestas fitoquímicas, físicas, ni postcosecha, que permitan valorar la situación de las plantas de manera integral. Entonces, el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta agronómica, física (índice de estabilidad de la membrana), fitoquímica, y fitopatológica del cultivo y semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) ante la aplicación de agronosodes durante su desarrollo y almacenamiento, para evidenciar la efectividad de los agronosodes aplicados durante el manejo agrícola y/o en postcosecha.

2. Materiales y métodos

El material biológico empleado para la elaboración de los agronosodes se obtuvo de cultivos de frijol (*P. vulgaris*), tales como araña roja (*Tetranychus urticae*), trips (*Thrips* sp.), antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), roya (*Uromyces phaseoli*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), pulgón verde (*Schizaphis graminum*), Diabrotica (*D. balteata*), gorgojo (*Z. subfasciatus*), conchuela (*Epilachna varivestis*) y chapulín (*Sphenarium purpurascens*). El procedimiento se realizó de acuerdo con lo propuesto por Hahnemann (1998), el agronosode final estuvo a una potencia de 200C.

El estudio se realizó en el municipio de Villas de Zaachila, Oaxaca, México, cuyas coordenadas corresponden a 16° 54'31.211" latitud norte, 96°44'41.409" longitud oeste y 1518 m de altitud, la temperatura media anual es de 21.5 °C (Servicio Meteorológico Nacional, 2016).

El 20 de noviembre de 2022, se sembraron (mecánicamente) semillas de frijol cv “Delgado”, la aplicación de los tratamientos (Cuadro 1) se realizó vía foliar en las mañanas (7 a 8 am), a partir de la etapa de prefloración (Meier, 2018); cada tratamiento consistió de al menos 3 surcos de 100 m, se etiquetaron 20 plantas al azar y se descartaron las orillas durante los muestreos. Para la aplicación de los tratamientos se agregó 1 gota del agronosode 200C en 1 L de agua corriente, se sucusionó durante 2 min y se agregó en 19 L de agua (Ruiz-Espinoza & Rivadeneira-Cruz, 2023).

Se evaluó la longitud de la raíz, longitud de vaina, número de vainas por planta y número de vainas vanas por planta, la evaluación se realizó en 20 plantas. También se evaluó el rendimiento de producción, el cual se expresó en g·planta⁻¹ y t·ha⁻¹. El cálculo de rendimiento por ha⁻¹ se realizó tomando como referencia 132 000 plantas.

Para la evaluación de la biomasa y la relación biomasa-fruto, 3 gramos de muestra de hoja, tallo, vaina, y semilla se secaron en horno a 80 °C hasta que las muestras por triplicado mantuvieron a peso constante. La evaluación se realizó por triplicado y se expresó en gramos de peso seco (Sofi et al., 2018; Pérez-Barbeito et al., 2018; Berny-Mier et al., 2019).

Cuadro 1. Tratamientos, con agronosodes o productos sintéticos, aplicados al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante su desarrollo.

Tratamiento	Descripción
C-	Aplicación de agua corriente cada 8 d
C+	Manejo convencional con insecticida y fertilizante (Cipermetrina y Urea, Bayer®)
1V	Aplicación del agronosode 1 sola vez durante el ciclo (en prefloración)
3V	Aplicación del agronosode 3 veces durante el ciclo (en prefloración, floración y formación de vaina)
15D	Aplicación del agronosode cada 15 d durante el ciclo
8D	Aplicación del agronosode cada 8 d durante el ciclo

La incidencia de larvas de *D. balteata* en vainas de frijol se calculó a través de la relación entre el número de vainas que presentaron gusanos y número de vainas totales (por planta), y el cociente de esta relación se multiplicó por 100 para expresar la incidencia en porcentaje (%).

El Índice de estabilidad de la membrana (IEM) se evaluó siguiendo el método empleado por Khalil et al. (2021) con un conductivímetro (OAKTON, CON 400 series, Singapore).

La determinación de los compuestos fenólicos se realizó siguiendo la metodología de Parmar et al. (2017). Los compuestos fenólicos totales se calcularon con una curva estándar de ácido gálico (Sigma-Aldrich®) y se reportaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) g⁻¹ de peso seco.

Los gorgojos (*Z. subfasciatus*), inoculados en semillas de frijol, se obtuvieron en un mercado local de Villa de Zaachila, Oaxaca, México. Después de la identificación taxonómica (Romero & Johnson, 1999) los insectos se reprodujeron a temperatura ambiente (25 ± 2°C) en contenedores de plástico cubiertos con una tela. Se colocaron 20 semillas de frijol de cada tratamiento en contenedores de plástico de 30 mL. Se evaluó un tratamiento que consistió en sumergir las semillas del C- en el agronosode durante 2 min (C-AN), y otro consistió en la aplicación de fosforo de aluminio (3 g por cada 50 kg de semillas, Phostoxin 333®) (C+P) (Paul et al., 2009). Cada tratamiento fue replicado tres veces, y la evaluación se realizó a los 10 d de almacenamiento. Los resultados se expresaron en porcentaje de mortalidad.

Se aplicó un DCA, un ANOVA y una prueba Tukey para evaluar la diferencia entre medias de las variables agronómicas, MSI, compuestos fenólicos; la incidencia de larvas de *D. balteata* y la prueba de mortalidad de *Z. subfasciatus* se evaluaron con la prueba de Kruskal-Wallis, y una prueba post hoc Mann-Whitney con corrección de Bonferroni. Los análisis se realizaron con el lenguaje de Programación R 4.2.0.

3. Resultados y discusión

La aplicación del agronosode sobre el cultivo de frijol tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) en el rendimiento de frijol (Cuadro 2), una sola aplicación del agronosode en la etapa de prefloración promovió 108 % mayor rendimiento que el C-, e incluso 32 % mayor rendimiento que el observado en el cultivo de frijol tratado de manera convencional (C+). Es notable que a mayor frecuencia de aplicación del agronosode el rendimiento disminuyó ($P < 0.05$), pero fue 27 % mayor que el C-.

Cuadro 2. Rendimiento, biomasa y relación fruto-biomasa de plantas de frijol tratadas con aplicaciones agrohomeopáticas una vez (1V), tres veces (3V), quincenalmente (15D) y semanalmente (8D) durante el ciclo de producción, se incluyó un control negativo (C-, sin tratamiento) y manejo convencional (C+). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) dentro de cada columna.

Tratamiento	Rendimiento (g de peso fresco planta ⁻¹)	Rendimiento (t de peso fresco ha ⁻¹)	Biomasa (g de peso seco planta ⁻¹)	Relación fruto- biomasa
C-	9.1±1.2d	1.20d	14.5±0.1c	0.55±0.00f
C+	14.3±0.7b	1.89b	11.6±0.0e	1.18±0.00a
1V	19.0±1.9a	2.51a	18.3±0.1a	0.86±0.01e
3V	14.4±0.6b	1.90b	13.2±0.1d	0.90±0.01d
15D	14.9±0.6b	1.96b	15.0±0.0b	0.92±0.00c
8D	11.5±1.3c	1.52c	10.4±0.0f	1.10±0.00b

Media ± desviación estándar

La biomasa en las plantas tratadas con una sola aplicación del agronosode también fue estadísticamente ($P < 0.05$) mayor a todos los tratamientos, siendo 26 % mayor que el C- y 58 % mayor que el C+; sin embargo, la eficiencia de la planta (fruit-to-biomass ratio) fue menor, siendo el C+ 27 % superior a éste, y 53 % más eficiente que el C-. Para esta variable también se observó que la frecuencia en la aplicación del agronosode reduce la producción de biomasa, pero mantiene elevada la relación fruta-biomasa sólo 7 % por debajo del C+.

El mayor rendimiento observado por efecto de los agronosodes podría estar relacionado con la mayor inducción de la resistencia ante las condiciones de estrés tanto biótico como abiótico (Moreno, 2017; Sen & Chandra, 2018); lo que permitió mantener la energía y la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis (Lucietta et al., 2018) y favorecer la elevada productividad del cultivo (Deboni et al., 2021; Méndez et al., 2021). Además, se ha observado que las preparaciones homeopáticas pueden inducir cambios en los mecanismos fisiológicos en las tasas fotosintéticas, al promover la eficiencia de algunos compuestos fotosintéticos (Méndez et al., 2021); esta eficiencia también es favorecida por la reducción del estrés en las plantas (Lerner, 2018; Parry et al., 2007).

Dada la premisa del efecto positivo de la agrohomeopatía sobre el rendimiento, los autores esperaban que éste se incrementara conforme se incrementaba la frecuencia de aplicación, no obstante, se observó lo contrario, y el mayor rendimiento, debido al mayor número y tamaño de vainas, se indujo en las plantas que fueron tratadas con una sola aplicación del agronosode, en la etapa de prefloración. En este sentido, Jütte & Riley (2005) mencionan que tampoco las potencias bajas o altas de los homeopáticos sugieren una superioridad de las potencias bajas sobre las potencias altas o viceversa; asimismo, Ferreira et al. (2021) indicaron que el efecto y la intensidad del efecto del nosode dependerá del CH, dado que observaron que la lechuga es afectada negativamente conforme se incrementaba la potencia de los nosodes aplicados.

Además del mayor rendimiento en las plantas tratadas con una sola aplicación del agronosode, también produjeron la mayor biomasa y el menor daño a la membrana. Esto confirma lo mencionado previamente en el sentido de que la planta se encontraba en las condiciones adecuadas para llevar a cabo una fotosíntesis eficiente, dada la mayor integridad de la membrana, la cual podría ser reflejo de

una mayor tolerancia al estrés (Khalil et al., 2021). No obstante, a pesar de que la relación fruto-biomasa fue baja en las plantas expuestas sólo una vez al agronosode, este resultado no es contradictorio, ya que diversos estudios han demostrado que una elevada biomasa no garantiza necesariamente un mayor rendimiento; la eficiencia en la absorción de la energía lumínica y su transformación está determinada por las propiedades termodinámicas del cultivo, su ambiente (Murchie et al. 2009) y las condiciones de estrés (Lucietta et al. 2018).

Cuadro 3. Longitud de raíz, longitud de vaina, número de vainas, vainas dañadas, y vainas vanas en plantas de frijol tratadas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) dentro de cada columna.

Tratamiento	Longitud de raíz (cm)	Número de vainas por planta	Longitud de vaina (cm)	Número de vainas dañadas por planta	Número de vainas vanas por planta
C-	14.6±3.7b	27.3±2.4c	8.4±1.2ab	3.6±1.1a	1.2±1.2bc
C+	13.1±6.3c	31.4±5.8b	8.2±1.0 ab	3.5±1.1a	0.3±0.5c
1V	16.9±3.3a	41.4±4.8a	8.6±1.3a	1.8±0.9b	1.4±1.2b
3V	19.4±5.0a	31.0±5.1b	8.2±1.3ab	1.1±0.5b	1.7±1.0ab
15D	17.8±3.2a	33.5±4.6b	8.1±1.3b	1.5±1.1b	0.8±0.6c
8D	17.3±4.5a	27.6±2.1c	8.2±1.2ab	1.8±1.1b	2.4±0.5a

Media ± desviación estándar

El agronosode también indujo la mayor longitud de raíz (hasta 32 % y 48 % más largas que el C- y el C+, respectivamente) y el menor número de vainas dañadas (hasta 227 % y 218 % menos vainas dañadas que C- y el C+, respectivamente) (Cuadro 3), se observó que el daño a las vainas fue provocado por larvas de *D. balteata* (Figura 1), cuya incidencia de este insecto fue menor (menos de 1.3%) en las plantas homeopatizadas y en las tratadas con el insecticida Cipermetrina; lo que sugiere que el agronosode tuvo un efecto similar al de un insecticida sintético. Este efecto pudo haber sido debido a que la condición de la raíz favoreció el aprovechamiento de nutrientes, además de que el principio activo del agronosode pudo activar mecanismos celulares (Ferreira et al., 2021; Mazón-Suástegui et al., 2019), a través de sus receptores de reconocimiento de patrones moleculares asociados al daño, que están presentes en la membrana plasmática (Zipfel, 2014), los cuales tienen la capacidad de enviar a la planta señales de resistencia (Ferreira et al., 2021; Mazón-Suástegui et al., 2019) que conllevan a la producción de metabolitos secundarios para la intoxicación de patógenos (Lorenzo et al., 2021) y/o interrupción de su migración a través de los tejidos vegetales (Ferreira et al., 2021).

De manera particular, las plantas tratadas con una sola aplicación del agronosode produjeron el mayor número y tamaño de vainas, no obstante, el número de vainas vanas fue estadísticamente ($P < 0.05$) similar al C- y 79 % mayor que el C+, el cual presentó la menor cantidad de vainas vanas, similar a lo encontrado en las plantas homeopatizadas cada 15 d.

El índice de estabilidad de la membrana refleja la lesión de la membrana celular y su función (Khalil et al., 2021). Una sola aplicación del agronosode indujo el mayor ($P < 0.05$) índice de estabilidad de la membrana en las hojas de frijol, el cual fue hasta 37 % mayor a todos los demás tratamientos y

controles (Cuadro 4). Esto refleja una elevada tolerancia al estrés (Khalil et al., 2021), lo que sugiere una estructura celular robusta que mantiene el balance electrolítico (Martins et al., 2008), esto podría ser una respuesta clave que explica el mayor rendimiento.

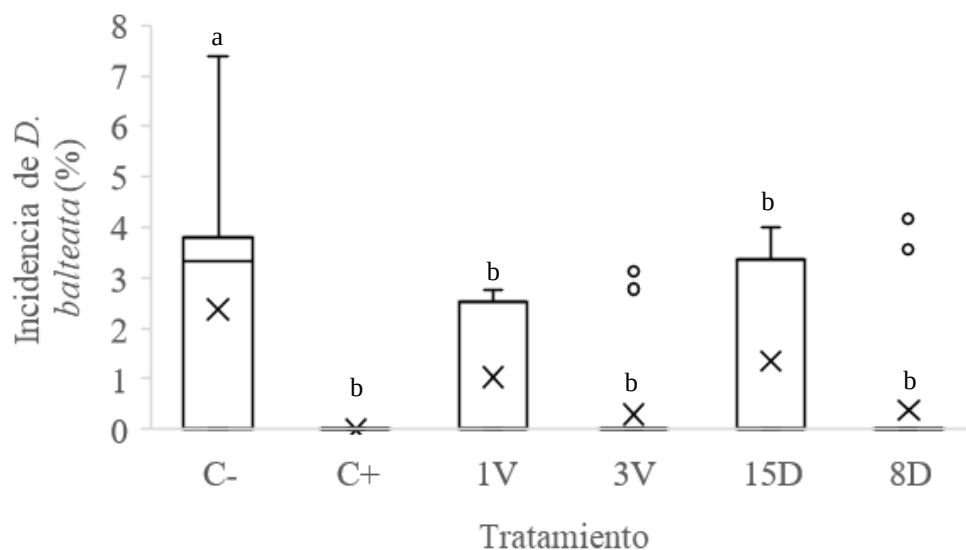


Figura 1. Incidencia de larvas de *Diabrotica balteata* en plantas de frijol tratadas con aplicaciones agrohormónicas una vez (1V), tres veces (3V), quincenalmente (15D) y semanalmente (8D) durante el ciclo de producción, se incluyó un control negativo (C-, sin tratamiento) y manejo convencional (C+). Letras diferentes indican las diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).

El contenido de compuestos fenólicos totales en las semillas de frijol fue hasta 27 % mayor al C- cuando las plantas fueron asperjadas 3 veces o cada 8 d. Por su parte, las semillas obtenidas de las plantas tratadas con AN-1V o AN-15D mostraron un contenido fenólico estadísticamente similar a lo cuantificado en el C+. En las hojas se observó un patrón diferente, dado que tanto el C+ como la aplicación semanal del agromonode indujeron la mayor (hasta 22 %) síntesis de compuestos fenólicos en comparación con los demás tratamientos y C-.

Se observó que tanto las plantas tratadas con el manejo convencional (químico) y las que se expusieron a la mayor frecuencia de aplicación del agromonode mostraron el mayor contenido fenólico en las hojas, no obstante, sólo las plantas tratadas cada 8 d tuvieron la capacidad de producir frutos con elevado contenido fenólico. Esto sugiere que los tratamientos homeopáticos indujeron la defensa de las plantas mediante la producción de compuestos fenólicos ya que éstos se producen y acumulan frecuentemente en las capas subepidérmicas de los tejidos vegetales expuestos a golpes, heridas, sequía y ataques de patógenos (Bhattacharya et al., 2010) como una forma de defensa natural. Además de lo previamente mencionado, los hallazgos durante el almacenamiento son consistentes en el sentido de que la mortalidad de *Z. subfasciatus*, además de ser inducida en presencia de fosforo de aluminio, también fue inducida cuando estos gorgojos fueron expuestos a semillas homeopatizadas. Una sola

aplicación del agrososode y el manejo convencional (C+) durante precosecha, y el tratamiento poscosecha con fósforo de aluminio (C+P) resultó en un incremento significativo de la mortalidad de *Z. subfasciatus* inoculado en las semillas de frijol (Figura 2), lo que demuestra una efectividad 80% mayor en comparación con las semillas sin tratar (C-).

Cuadro 4. Índice de estabilidad de la membrana (IEM) y contenido de compuestos fenólicos (mg equivalentes de ácido gálico g-1 peso seco) en semillas (A) y hojas (B) de plantas de frijol tratadas con agrososodes una vez (1V), tres veces (3V), quincenalmente (15D) y semanalmente (8D) durante el ciclo de producción, se incluyó un control negativo (C-, sin tratamiento) y manejo convencional (C+). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) dentro de cada columna.

Tratamiento	IEM (%)	Compuestos fenólicos totales (semillas)	Compuestos fenólicos totales (hojas)
C-	61±9.6	1.3±0.03c	6.14±0.39b
C+	52±1.5	1.52±0.04b	7.37±0.40a
1V	77±5.5	1.42±0.04bc	6.37±0.21b
3V	60±5.9	1.79±0.21a	6.64±0.43b
15D	62±5.2	1.44±0.08bc	6.37±0.09b
8D	60±7.9	1.78±0.17a	7.90±0.34a

Media ± desviación estándar

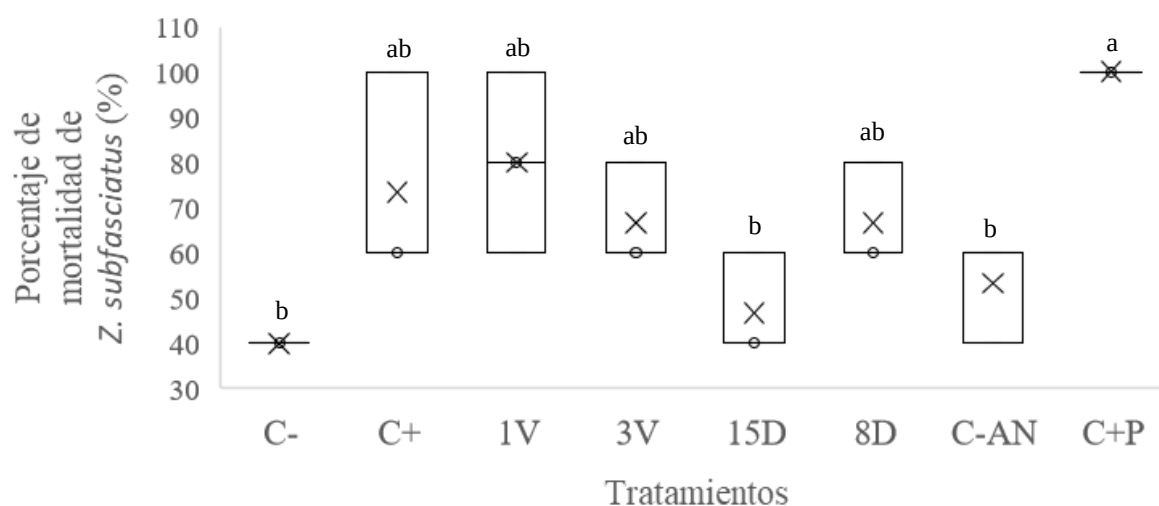


Figura 2. Porcentaje de mortalidad de *Zabrotes subfasciatus*, después de 10 d de almacenamiento, sobre semillas de plantas de frijol tratadas con aplicaciones agrohormónicas una vez (1V), tres veces (3V), quincenalmente (15D) y semanalmente (8D) durante el ciclo de producción, se incluyó un control negativo (C-, sin tratamiento) y manejo convencional (C+); también se evaluó la impregnación del agrososode (C-AN) y fósforo de aluminio (C+P) en poscosecha. Letras diferentes indican las diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).

Cabe destacar que, a diferencia del fosforo de aluminio, que actúa como insecticida tóxico, el efecto observado en los tratamientos con semillas homeopatizadas, debido a la ausencia de toxicidad (De Almeida et al., 2021), podría estar relacionado con la producción de compuestos fenólicos o la composición de la semilla, que, al ser desagradables para los gorgojos, conduce a su muerte por inanición. Este efecto antialimentario no se logró con la exposición breve de las semillas de C- a la solución agrohomeopática en poscosecha. Esto sugiere que, para observar la protección de las semillas durante el almacenamiento, el agonosode debe estar presente de manera sistémica en la semilla, como consecuencia de un efecto epigenético (Lorenzo et al., 2021).

4. Conclusiones

Este estudio proporciona evidencia científica sobre los efectos positivos de la aplicación de la agrohomeopatía durante el desarrollo del cultivo de frijol, tanto desde la perspectiva del rendimiento como de la calidad de las semillas. Sin embargo, es importante señalar que la frecuencia de aplicación de los tratamientos agrohomeopáticos puede generar respuestas variables, lo cual es de interés para los agricultores. Se sugiere que podría existir un límite potencial para la frecuencia de aplicación de los agrosodes, ya que aplicaciones más frecuentes podrían dirigir la energía de la planta hacia la defensa o la calidad nutracéutica, expresada a través de la producción de compuestos fenólicos, mientras que menos aplicaciones podrían inducir una mayor estabilidad de la membrana del área foliar y, en consecuencia, un mayor rendimiento de las semillas. Se observó que la síntesis de compuestos fenólicos es una respuesta de defensa activada contra ciertas plagas, como *D. balteata* y *Z. subfacsiatus*.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada a Quiroz-González para su estancia posdoctoral (proyecto 3396), así como a la beca "Prácticas Interinstitucionales de Inmersión Territorial" en el marco del programa "Interinstitucional de Especialidad en Soberanías Alimentarias y Gestión de Incidencia Local Estratégica" (PIES AGILES), otorgada a M.C. Israel Dionicio y de Jesús (CVU 385219). Agradecemos al Dr. Felipe de Jesús Ruiz Espinoza por guiar la aplicación de los nosodes. Además, reconocemos al Laboratorio de Extracción y Análisis de Productos Naturales Vegetales del CIIDIR Unidad Oaxaca-IPN (Proyecto CONACYT 270428), donde se realizó la evaluación fitoquímica.

Referencias citadas

- Berny-Mier y Teran, J.C.; Konzen, E.R.; Medina, V.; Palkovic, A.; Ariani, A.; Tsai, S.M. (2019). Root and shoot variation in relation to potential intermittent drought adaptation of Mesoamerican wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ann Bot*, 124: 917–932.
- Bhattacharya, A., Sood, P., & Citovsky, V. (2010). The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection. *Mol. Plant Pathol.*, 11(5): 705–719.
- Deboni, T. C., Cargnelutti, D., Ghizzoni, J. C., Santiago, G. de M., Garbin, E., Loregian, A. C., Giesel, A., Boff, P., & Petry, C. (2021). Actividad peroxidasa y concentración de proteínas en *Phaseolus vulgaris* L. tratado con preparaciones homeopáticas. *Res., Soc. Dev.*, 10(9): e59110918457.

- Ferreira, T. M., Mangeiro, M. Z., Almeida, A. M., Almeida, R. N., & Souza, R. M. (2021). Effect of Nosodes on Lettuce, Parasitized or Not by *Meloidogyne enterolobii*. *Homeopathy*, 110(4): 256–262.
- Giesel, A., Boff, M. I. C., & Boff, P. (2012). Atividade de formigas cortadeiras *Acromyrmex* spp. submetidas a preparações homeopáticas. *ACTA SCI-AGRON*, 34(4): 445–451.
- Hahnemann, S. (1998). *Organón de la medicina* (Sexta Edic). Editorial Albatros: AR.
- Jütte, R., & Riley, D. (2005). A review of the use and role of low potencies in homeopathy. *Complement Ther. Med.*, 13(4): 291–296.
- Khalil, R., Haroun, S., Bassyoini, F., Nagah, A., & Yusuf, M. (2021). Salicylic acid in combination with kinetin or calcium ameliorates heavy metal stress in *Phaseolus vulgaris* plant. *J. Agric. Food Res.*, 5: 100182.
- Lerner, H. R. (2018). *Plant Responses to Environmental Stresses: From Phytohormones to Genome Reorganization*. Taylor and Francis: Boca Ratón, FL.
- Lorenzo, F. Di, Dinelli, G., Marotti, I., & Trebbi, G. (2021). Systemic Agro-Homeopathy: A New Approach to Agriculture. *OBM Integrative and Complementary Medicine*, 06(03): 1–13.
- Lucietta, B., Trebbi, G., Nani, D., Majewsky, V., Scherr, C., Jäger, T., & Baumgartner, S. (2018). Models with Plants, Microorganisms and Viruses for Basic Research in Homeopathy. In *Signals and Images* (pp. 97–111).
- Martins, J.R.R., Oliveira, M.S.C., Baccache, M.A., Paula, F.M. (2008). Effects of water deficit and rehydration on the polar lipid and membranes resistance leaves of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 51: 361–367.
- Mazón-Suástegui, J. M., Ojeda-Silvera, C. M., García-Bernal, M., & Abasolo-Pacheco, D. B.-S. F. (2019). La Homeopatía incrementa la tolerancia al estrés por NaCl en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán. *TERRA LATINOAMERICANA*, 38: 149–163.
- Mazón-Suástegui, J. M., Ojeda-Silvera, C. M., García-Bernal, M., Avilés-Quevedo, M. A., Abasolo-Pacheco, F., Batista-Sánchez, D., Tovar-Ramírez, D., Arcos-Ortega, F., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Ferrer-Sánchez, Y., Morelos-Castro, R. M., Alvarado-Mendoza, A., Díaz-Díaz, M., & Bonilla-Montalvan, B. (2020). Agricultural Homoeopathy: A New Insight into Organics. In *Multifunctionality and Impacts of Organic and Conventional Agriculture*. IntechOpen.
- Meier, U (2018) BBCH Monograph. <https://doi.org/10.5073/20180906-074619>
- Méndez, P., García, P., Pérez, H., Morales, Q., & Torres, A. (2021). Agrohhomeopathy: New tool to improve soils, crops and plant protection against various stress conditions. *Review. ASAHO*, 40(101): 43–58.
- Moreno, N. M. (2017). Agrohhomeopatía como alternativa a los agroquímicos. *Rev Med Homeopat.*, 10(1): 9–13.
- Murchie, E. H., Pinto, M., & Horton, P. (2009). Agriculture and the new challenges for photosynthesis research. *New Phytologist*, 181(3): 532–552.
- Parmar, N., Singh, N., Kaur, A., & Thakur, S. (2017). Comparison of color, anti-nutritional factors, minerals, phenolic profile and protein digestibility between hard-to-cook and easy-to-cook grains from different kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) accessions. *J. Food Sci. Technol*, 54(4): 1023–1034.
- Parry, M. A. J., Madgwick, P. J., Carvalho, J. F. C., & Andralojc, P. J. (2007). Prospects for increasing photosynthesis by overcoming the limitations of Rubisco. *J Agric Sci.*, 145(1): 31–43.
- Paul, U.V.; Lossini, J.S.; Edwards, P.J.; Hilbeck, A. (2009). Effectiveness of products from four locally grown plants for the management of *Acanthoscelides obtectus* (Say) and *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (both Coleoptera: Bruchidae) in stored beans under laboratory and farm conditions in Northern Tanzania. *J Stored Prod Res*, 45: 97–107.
- Pérez-Barbeito, M.; González, A.M.; Rodiño, A.P.; De Ron, A.M.; Santalla, M. (2008). Effects of planting season and plant cultivar on growth, development, and pod production in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Aust J Agric Res*, 59: 1121–1129.

- Rodríguez-Hernández, C., Ruiz-Espinoza, F. D. J., Serrano-Covarrubias, L. M., & Ronquillo-Cedillo, I. (2017). Inducción de resistencia en frijol contra conchuela *Epilachna varivestis* con nutrición y homeopatía. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6: 43–56.
- Romero, J., & Johnson, C. D. (1999). *Zabrotes sylvestris*, a New Species from the United States and Mexico Related to *Z. subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae: Amblycerinae). *The Coleopterists Bulletin*, 53(1), 87–98.
- Ruiz-Espinoza, F. de J.; Rivadeneira-Cruz, I.E. (2020). *Agrohomeopatía para la vida*. Universidad Autónoma Chapingo: México. 85 p.
- Sen, S., & Chandra, I. (2018). Agrohomeopathy: an emerging field of agriculture for higher crop productivity and protection of plants against various stress conditions. *IJRAR*, 5: 52–56.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2016). Normales Climatológicas por Estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=oax>
- Sofi, P.A.; Djanaguiraman, M.; Siddique, K.H.M.; Prasad, P.V.V. (2018). Reproductive fitness in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress is associated with root length and volume. *Indian J Plant Physiol*, 23: 796–809.
- Wyss, E., Tamm, L., Siebenwirth, J., & Baumgartner, S. (2010). Homeopathic Preparations to Control the Rosy Apple Aphid (*Dysaphis plantaginea* Pass.). *Sci. World J.*, 10, 38–48.
- Zipfel, C. (2014). Plant pattern-recognition receptors. *Trends in Immunol.*, 35(7): 345–351.

Efecto de *Glomus intraradices* como agente simbiótico bioestimulante en el cultivo del tomate en variedades criollo y pony F2

Indira Carolina Mejía Cruz^{1,*}, Angie Rachell Zambrana Gutiérrez¹

Resumen. La utilización de bioestimulantes micorrícicos presentan resultados beneficiosos para el cultivo del tomate, logrando incrementar la capacidad de absorción de nutrientes disponibles en el suelo, los cuales son necesarios para una evolución óptima durante las fases fenológicas de las plantas y cultivos de hortalizas. Por lo tanto, para evaluar los efectos de las micorrizas del género *Glomus* en el cultivo del tomate, se emplearon inoculaciones con *Glomus intraradices* más sustrato orgánico preparado a partir de biomásas disponibles en las semillas de tomate de las variedades criollo y pony F2. Se realizaron mediciones a la altura de los tallos, grosor del tallo, número de hojas por plántula. A los datos de altura de tallos y grosor del tallo se aplicó análisis de varianza y prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Entre los resultados obtenidos, se logró establecer a nivel de laboratorio que el cultivo de tomate de variedad criollo tuvo mejor adaptación y respuesta positiva ante el sustrato y micorrizas, ya que en un lapso de siete días el 100% de estas germinaron, mientras que la variedad pony F2 obtuvo un 40% de germinación. Las mediciones más simétricas fueron alcanzadas por las muestras variedad criolla con tratamiento (VCT3, VCT4), Variedad Pony F2 (VP1 y VP2) con valores de 0,48 cm de grosor al cabo de 15 días.

Palabras clave. Agricultura sostenible, Micorrizas arbusculares, Bioestimulante.

Abstract. The use of mycorrhizal bio-stimulants has beneficial effects on the development of plants and vegetable crops during phenological phases. Therefore, to evaluate the effects of mycorrhizae of the genus *Glomus* on tomato cultivation, inoculations with *Glomus intraradices* plus organic substrate prepared from biomasses present in tomato seeds of the Criollo and Pony F2 varieties were used. Stem height, stem thickness and number of leaves per seedling were measured. Analysis of variance and Tukey's test were applied to the stem height and thickness data to identify significant differences between treatments. Among the results obtained at the laboratory level, it was found that the Criollo tomato plant had a better adaptation and positive response to the substrate and mycorrhizae, germinating 100% of them in a period of seven days, while the Pony F2 variety obtained 40% germination. The most symmetrical measurements were obtained by the samples of the Creole variety with treatment (VCT3, VCT4), Pony F2 variety (VP1 and VP2) with values of 0.48 cm thickness after 15 days.

Keywords: Sustainable agriculture, Arbuscular mycorrhizae, Biostimulant.

1. Introducción

En Nicaragua, el tomate (*Solanum lycopersicum*) ocupa uno de los primeros lugares en consumo y comercialización entre las hortalizas, siendo este el cultivo más consumido y con más alto valor nutritivo en comparación con las chiltomas y zanahorias. Su demanda aumenta continuamente y con

¹Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

*Autor para correspondencia: imejia@unan.edu.ni

ella su cultivo, producción y comercio, sin embargo, su producción ha requerido el uso indiscriminado de insumos agrícolas, esto incluye fertilizantes y plaguicidas. Las malas prácticas en la producción agrícola causan la pérdida de suelo, lugar donde están los nutrientes y la materia orgánica necesarios para el crecimiento de las plantas. Esto ha generado la reducción de calidad y capacidad productiva del suelo, y un continuo desbalance de nutrientes, cuya consecuencia es la baja competitividad y sostenibilidad de los sistemas productivos (Peñaranda et al., 2020). Desde el punto de vista de sanidad vegetal el empleo excesivo de plaguicidas y su aplicación tipo calendario rompen el equilibrio biológico y destruyen los insectos benéficos (Rodríguez, 2018, Raudez & Rojas, 2023).

La necesidad de buscar vías que mejoren e incrementen la capacidad de absorción de nutrientes disponibles en el suelo para el crecimiento eficiente de las plantas, y en este caso, en el cultivo del tomate; han dado nueva vida e impulso notable a la idea del uso de los hongos micorrizógenos arbusculares (MA); pudiendo ser estos aplicados mediante técnicas bioestimulantes y biofertilizantes cada vez más respetuosas con los ecosistemas y el ambiente. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) son microorganismos que viven en forma natural en el suelo. Se asocian con el 72 al 80 % de las especies vegetales (Brundrett & Tedersoo, 2018; Naranjo-Morán et al., 2021) mediante una simbiosis en la cual tanto la planta como el hongo se benefician. Su función es transportar nutrientes y agua desde el suelo hasta la planta, especialmente desde sitios afuera de la zona de agotamiento de nutrientes y de poros pequeños donde la raíz por sí sola no puede ingresar (rizosfera). El hongo recibe carbohidratos mientras la planta recibe nutrientes y agua. Esta relación permite a las plantas adaptarse más fácilmente a situaciones de estrés biótico (enfermedades, plagas) y abiótico (sequía, deficiencia de nutrientes).

Los nutrientes claves para el crecimiento vegetal son N, P y K, siendo esencial la presencia de fósforo en el suelo para el fortalecimiento de raíces en etapas de germinación en las plantas, que combinado con microorganismos mutualistas podrían mejorar la capacidad de resistencia ante el ataque de plagas prematuras y atenuar alteraciones provocadas por la falta de agua. (Carvajal & Mera, 2010 citado por Herrera, 2022). En gran medida, el interés que ha despertado la asociación micorrízica arbuscular se debe a su ubicuidad entre las familias de plantas vasculares, su aparente inespecificidad al colonizarlas y a numerosos reportes de su influencia en el crecimiento de las plantas mediante el incremento de la incorporación de nutrimentos y el mejoramiento de sus relaciones hídricas (Powell y Bagyaraj, 1984; Allen et al., 2003). Uno de los nutrimentos que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas arbusculares, es el fósforo (Yong-Guan et al., 2003), debido a que las plantas lo requieren en relativamente grandes cantidades, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo. (Aguilera et al., 2007). En etapas tempranas del cultivo, durante la formación de raíces; las micorrizas permiten un mejor y más rápido crecimiento, lo que favorece el desarrollo y vigor de las plantas, así como su capacidad de adaptación a un sitio definitivo, lo cual se ve reflejado en el aumento de la producción y rendimiento de los cultivos. (Begum et al., 2019). Este rendimiento y productividad puede evaluarse mediante el índice de área foliar (IAF) a través de métodos no destructivos. Favarin et al. (2002), estudiaron la variación temporal de área foliar (AF) del cultivo del café, mediante un método simple y no destructivo, en este contexto, la medición del AF es un indicador de productividad, además de que es fácil de identificar a través de variables como el diámetro de la sección inferior del dosel (primer par de ramas) y altura de la planta.

Adicionalmente, Cabezas-Gutiérrez et al. (2009), determinaron un modelo que utiliza las medidas de longitud y ancho de las hojas, como producto de la multiplicación de los dos atributos

foliares, para proveer estimaciones de alta precisión para la determinación rápida y económica del área foliar en plantas de *Alnus acuminata* y *Quercus humboldtii*, y proponen que las ecuaciones propuestas en la investigación pueden ser empleadas con seguridad en estudios fisiológicos, biológicos, ambientales, agronómicos, ecológicos y forestales, sin necesidad de recurrir al muestreo destructivo. En esta investigación se empleó una técnica de inoculación simbiótica con *G. intraradices* y se realizó una evaluación sobre los efectos estimulantes y biofertilizantes que influyeron en la etapa de germinación y crecimiento en las plantas de tomate en variedades criolla y pony F2.

2. Materiales y métodos

Según el nivel inicial de profundidad el estudio es tipo exploratorio, descriptivo y experimental. Por la ocurrencia de los hechos y registro de la información, es transversal ya que los datos fueron obtenidos en el transcurso de la investigación. De acuerdo con el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico y predictivo (Hernández et al., 2007). Se estudiaron de forma prospectiva las germinaciones de las semillas de tomate de la variedad criolla, los cuales son resistentes a la sequía, ciertas enfermedades y exposición al sol de forma directa, y germinaciones de tomate variedad pony F2, las cuales se caracterizan por tener un crecimiento precoz, gran tamaño y rendimiento. Como biofertilizante se seleccionó micorriza de la especie *Glomus intraradices* obtenidas en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Nicaragua. Para las muestras en tratamientos se seleccionaron 16 semillas, cinco semillas por cada variedad para ser inoculadas con *Glomus* y seis semillas seleccionadas como testigo. Se consideraron VC: Variedad criolla, VCT: Variedad criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, y VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

Para la preparación del sustrato se utilizó 1 kg suelo, 100 g fibra de coco, 1 kg compost; estos materiales se mezclaron para formar una masa sólida con la ayuda de una pala pequeña para jardinería, cubeta de plástico y se resguardó en un contenedor con tapa. Los materiales usados se esterilizaron para evitar contaminantes biológicos externos. Para el proceso de desinfección del sustrato se realizó mediante método de solarización de esta manera, el cual al termino de elaboración fue colocado sobre un plástico, seguidamente se añadió agua hasta humedecerlo y finalmente se cubrió en su totalidad con otro plástico dejándolo reposar por un periodo de una semana. En un beaker de 50 mL se pesó en una balanza analítica 10 g de micorrizas, se disolvió en una pequeña cantidad de agua y luego se traspasó a un balón de 100 mL, 3 mL de aceite vegetal (el aceite tendrá una función adherente y ayudará a preservar la humedad al momento de inocular), luego aforar.

En una bandeja para semillero de dimensiones 50 x 30 cm y tamaño de alveolos 5 x 4 x 3,5 cm, la bandeja se esterilizó con agua clorada relación 2:1. Se pesaron 13,68 g de sustrato preparado para cada almácigo utilizado para siembra, se depositaron las semillas, una por cada almácigo. Se decidió colocar semillas individuales para evitar la competencia por la obtención de nutrientes en el sustrato. A las semillas seleccionadas para tratamiento se agregó 2 mL de micorrizas, sellando con una capa fina de sustrato y se humedeció con 3 mL agua. Al final de la siembra se aplicó solución de *Trichoderma* 1 g/L de agua como medida de protección de patógenos fúngicos en la fase post-emergente. Durante el ciclo de siembra las semillas de tomate se estiman que están normalmente germinan en un lapso de 8 a 15 días aproximadamente. Durante esta fase, el semillero se ubicó en un espacio iluminado, pero sin recibir la luz directa del sol en los primeros tres días luego de germinar. Se monitoreó el tiempo en que tardaron en germinar las primeras semillas testigo y las inoculadas.

Para combatir el fenómeno de ahilamiento se instaló una cámara de luz para proporcionar una iluminación uniforme a las muestras cuando no había día soleado. Se humedecía cada 2 o 3 días el sustrato, siempre y cuando se observaran con poca humedad, evitando el contacto directo con el agua en los cotiledones. Se monitoreo cambios fisiológicos de la planta como: color, indicios de hongos en tallo y cotiledones. Para la fase de escalonamiento y trasplante, cada cuatro días se midieron la altura y grosor del tallo de las plántulas con un vernier. Cuando empezaron a aparecer las primeras hojas verdaderas se trasplantaron las plántulas de tomate a recipientes más grandes, en este caso se optó por recipientes plásticos de 8,3 cm de altura y 5,3 cm de base en lugar de bolsas de jardinería. En el momento del primer trasplante se replicó el procedimiento realizado en el semillero para proporcionar las mismas condiciones al momento de germinar, por tanto, al extraer las plántulas se sumergieron las raíces en solución de micorrizas por 10 min y se preparó por capas el suelo con el sustrato. Este procedimiento es necesario para lograr que la plántula no sufra estrés por cambios en el medio en el que creció.

Al cumplir 18 días luego de su germinación, se realizó un segundo trasplante en maceteras ya que era necesario aumentar la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo para lograr un desarrollo óptimo. El trasplante debe ser realizado por tercera vez al sitio definitivo cuando la plántula alcance a tener más de 10 hojas verdaderas y en el envés de las hojas y tallo se observe tener una coloración morada. Indicando a la vez que se regaban las plántulas cada tres o cuatro días luego del primer y segundo trasplante.

Para el parámetro porcentaje de germinación se planteó un intervalo de 24 h a 192 h para reportar la fase emergente de radículas, se monitoreó semillas con inóculos y las testigos. La medición de altura de planta se realizó durante toda la etapa del almácigo cada cuatro días, se utilizó una regla (graduada en centímetros) desde la base de la planta hasta el meristemo apical de la planta. El grosor de tallo se realizó en la base de la planta mediante la utilización de un Vernier cada cuatro días. El conteo de las hojas se realizó a partir de la salida de las primeras hojas verdaderas tomando únicamente las hojas desarrolladas en su totalidad. Con la ayuda de un higrómetro digital de campo para suelo se midió el porcentaje de humedad y temperatura, esto era necesario para evitar el estrés hídrico por riego excesivo, el porcentaje de humedad debía estar en un porcentaje menor al 60 % y la temperatura no debían superar los 40 °C. Estos factores deben ser monitoreados para evitar que influyan en la aparición de enfermedades provocadas por fitopatógenos.

El Índice de área foliar (IAF) se utiliza para predecir la producción primaria fotosintética, evapotranspiración y como herramienta de referencia para crecimiento de cultivo. Para el cálculo de área foliar se optó por un método no destructivo de las hojas, realizando mediciones de Lámina foliar (Lh), ancho máximo de la lámina foliar (Ah), el producto del largo por el ancho (LhxAh).

$$IAF = [((\text{Área foliar}) (\text{Densidad población})) / (\text{Área sembrada})]$$

$$AF = (Lh \times Ah) * 0,72$$

0,72 = coeficiente para estimar el AF (Cabezas-Gutiérrez et. al., 2009)

Densidad de la población= Número de hojas

Tomando en cuenta que los trasplantes se hicieron en vasos plásticos y maceteras se debe utilizar las siguientes ecuaciones para determinar el área sembrada.

Área lateral: Área lateral (cm²) = $\pi g (R + r)$

$$g = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

a = radio superior, cm

b = Altura, cm

R= radio mayor, cm

R= radio menor, cm

g= generatriz, cm

$$Ab1 = \pi R^2 \quad Ab2 = \pi r^2$$

$$\text{Área sembrada: } As = AL + Ab1 + Ab2$$

Análisis estadístico. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza paramétrica de un factor para un intervalo de confianza del 95%. De igual manera se aplicó prueba de Tukey para indicar diferencias significativas entre los tratamientos. Posteriormente, para la comparación múltiple de medias, se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey. También se determinaron las desviaciones estándar y se prepararon gráficos de distribución normal. Las hipótesis de investigación planteadas son: Ho = Las medias de las mediciones son iguales. H1 = La media de las mediciones son diferentes. (Al menos una de las medias es diferente) $p < 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos H1, $p > 0,05$ rechazamos la Ho y aceptamos la H1.

3. Resultados y discusión

Porcentaje de germinación. El criterio para considerar a una semilla germinada es la emergencia de la radícula. Durante esta etapa a las 96 h luego de la siembra, germinaron las muestras VP1 testigo, VCT1, VCT2; a las 120 h VCT3 y a las 168 h VCT4 y VCT5. Durante el crecimiento de las plántulas se registró la altura y grosor del tallo cada cuatro días a partir del séptimo día, justo después de que germinara la última semilla de la variedad criolla VCT5.

Cuadro 1. Etapa de germinación y altura de tallos.

No.	ID	7 días (cm)	11 días (cm)	15 días (cm)
1	VC1		No germinó	
2	VC2	2,4	4	4,2
3	VC3	1,2	2,7	5,3
4	VP1	3,1	4,7	5,6
5	VP2	2,7	4,2	5,2
6	VP3		No germinó	
7	VCT1	2,9	3,8	4,6
8	VCT2	2,5	5	5,8
9	VCT3	2,5	4,9	6,1
10	VCT4	1,7	3,7	4,7

No.	ID	7 días (cm)	11 días (cm)	15 días (cm)
11	VCT5	0,8	1,1	2,3
12	VPT1		No germinó	
13	VPT2	1,5	2,1	3,1
14	VPT3		No germinó	
15	VPT4		No germinó	
16	VPT5	2	3,8	4,8

VC: Variedad criolla, VCT: Variedad criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.



Figura 1. De izquierda a derecha. a) Siete días después de la emergencia de la radícula. b y c) Trasplante con hojas verdaderas y cotiledones. d) Medición de altura y área foliar de plántulas.

Dentro de los requerimientos ambientales necesarios para la germinación se consideran esenciales el agua, el oxígeno y la temperatura; es por esto por lo que, bajo condiciones controladas de estos factores se logró establecer a nivel de laboratorio que el cultivo de tomate de la variedad criolla tuvo mejor adaptación y respuesta positiva ante el sustrato y micorrizas, ya que en el lapso de 7 días el 100% de estas germinaron, mientras que la variedad pony F2 obtuvo un 40% de germinación. Según (Zambrano y Díaz, 2008), cuando las semillas llegan al suelo estas interactúan con diversos microorganismos de la rizosfera. En este sentido, las bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento vegetal (PGPBs) forman asociaciones con hongos los MA, ayudando a la fijación de N₂, la producción de fitohormonas como giberelinas y del ácido indolacético, lo que estimula y acelera la germinación.

Crecimiento de plántulas. En el Cuadro 2 se presentan los promedios entre las alturas registradas hasta los 15 días, considerando este tiempo para realizar el primer trasplante para aumentar la cantidad de sustrato y espacio disponible para el desarrollo y fortalecimiento de raíces. De igual manera las muestras en observación VCT5, VPT2 y VPT5 presentaron signos de enfermedad por damping - off o mal del talluelo provocado comúnmente por *Phytophthora infestans* en las hortalizas como el tomate, precisamente en las fases iniciales durante el proceso de germinación. Al contraer esta enfermedad era irremediable la pudrición del tallo y pérdida de las muestras. Los factores que incidieron al desarrollo del hongo patógeno fue el aumento de la humedad y escasez de la radiación

solar provocado por lluvias esporádicas a mediados de noviembre del 2023. Se controló la aparición de damping – off en las otras muestras con el aumento de ventilación, uso de cámara de luz y monitoreando la humedad y temperatura. La humedad debía permanecer por debajo del 60% y temperatura en intervalos no superiores a 40 oC para evitar que sean factores para propagación de patógenos).

Cuadro 2. Promedio altura de plántulas registradas hasta los 15 días.

No.	ID	7 días (cm)	11 días (cm)	15 días (cm)	Promedio (cm)
1	VC2	2,4	4,0	4,2	3,53
2	VC3	1,2	2,7	5,3	3,07
3	VP1	3,1	4,7	5,6	4,47
4	VP2	2,7	4,2	5,2	4,03
5	VCT1	2,9	3,8	4,6	3,77
6	VCT2	2,5	5,0	5,8	4,43
7	VCT3	2,5	4,9	6,1	4,50
8	VCT4	1,7	3,7	4,7	3,37
9	VCT5	0,8	1,1	2,3	1,40
10	VPT2	1,5	2,1	3,1	2,23
11	VPT5	2,0	3,8	4,8	3,53

VC: Variedad criolla, VCT: Variedad criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

El endurecimiento o grosor del tallo reduce la succulencia de la planta; además cierra las estomas, baja la tasa de respiración de la planta y cambia el balance hormonal (incrementa el ácido abscísico, ABA) lo que en conjunto contribuye a disminuir la tasa de crecimiento (Leskovar, 2001). Cabe resaltar que el ABA es una sustancia que puede inducir la floración vegetal; no obstante, altos niveles de este metabolito pueden inducir un mal desarrollo en la planta y, como efecto secundario, puede reducirse la transpiración vegetal por medio de la regulación de las estomas estableciendo desequilibrio osmótico (Alcántara et al., 2019). Las muestras VP1 y VP2 sin tratamiento alcanzaron 0,48 cm de grosor del tallo, mientras que las VCT1 y VCT2 obtuvieron 0,52 cm de grosor del tallo, siendo aptas para el trasplante (Cuadro 3). En términos generales una plántula de calidad se identifica por un tallo vigoroso, el grosor del tallo comúnmente está relacionado con la dureza de la plántula; es decir un tallo de 0,4 - 0,5 cm es adecuado para el momento del trasplante (Monge, 2007). Entre los indicadores del vigor de las plántulas de tomate se encuentra la altura, que va de 20-30 cm a una edad de 28 días después de la siembra (Villegas et al., 2000).

Cuadro 3. Promedio Grosor de tallo registradas hasta los 15 días.

No.	ID	7 días (cm)	11 días (cm)	15 días (cm)
1	VC2	0,10	0,30	0,30
2	VC3	0,11	0,33	0,33

No.	ID	7 días (cm)	11 días (cm)	15 días (cm)
3	VP1	0,12	0,36	0,48
4	VP2	0,12	0,36	0,48
5	VCT1	0,13	0,39	0,52
6	VCT2	0,13	0,39	0,52
7	VCT3	0,12	0,36	0,48
8	VCT4	0,12	0,36	0,48
9	VCT5	0,11	0,33	0,33
10	VPT2	0,10	0,30	0,30
11	VPT5	0,11	0,33	0,33

VC: Variedad criolla, VCT: Variedad criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

Según las agrupaciones de las medias se deduce que, existe diferencias entre las agrupaciones A y B. Estableciendo que, si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes. Comparando los datos, estas diferencias se deben a la aceleración en el crecimiento de las plántulas al cumplir 11 días. Sobresaliendo con un notablemente 50% el grupo de la variedad criollo con tratamiento sobre las demás (Cuadro 4 y 5, Figura 2). Al realizar comparaciones por Tukey se establece que no existen diferencias significativas entre las medias de los valores del grosor de tallos de las variedades criolla y pony F2. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 4. Análisis de varianza de las mediciones de la altura (cm).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	37,04	18,520	16,64	0,000
Error	30	33,38	1,113		
Total	32	70,42			

Según el ANOVA de las mediciones realizadas para la altura de los tallos de plántulas de tomate se afirma que $F_{\text{calculado}} > 16,64$ que $F_{\text{crítico}} = 3,316$ para $GL = 2$.

Cuadro 5. Comparaciones por el método de Tukey y una confianza de 95%.

Factor	N	Media	Agrupación
Medición 3	11	4,700	A
Medición 2	11	3,636	A
Medición 1	11	2,118	B

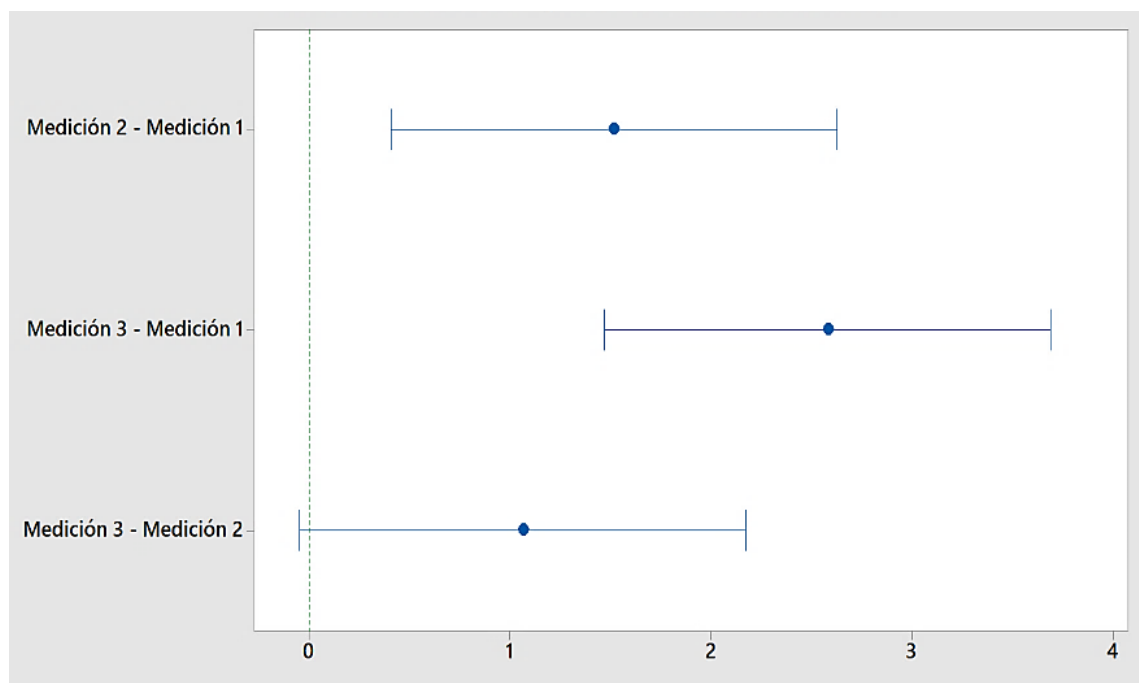


Figura 2. Intervalos de confianza simultáneos de 95% de Tukey.

Cuadro 6. Comparación en porcentajes de crecimiento.

Muestras					
VC2	VP1	VCT2	VCT3	VCT4	VPT5
16,67 %	16,67 %		50%		16,67 %

VC: Variedad criolla, VCT: Criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

Cuadro 7. Tukey con IC 95% para las mediciones de grosor de tallo.

ID	N	Media	Agrupación
VCT2	3	0,347	A
VCT1	3	0,347	A
VP2	3	0,320	A
VP1	3	0,320	A
VCT4	3	0,320	A
VCT3	3	0,320	A
VPT5	3	0,2567	A
VCT5	3	0,2567	A
VC3	3	0,2567	A
VPT2	3	0,2333	A
VC2	3	0,2333	A

VC: Variedad criolla, VCT: Criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

En la Figura 3 se observa la distribución de las mediciones de los grosores de los tallos de variedades criolla y pony F2, inoculas y sin inóculo; dicha distribución permite comparar la simetría de los datos e identificar si existen valores atípicos entre las series medidas. Las mediciones más simétricas fueron alcanzadas por las muestras VCT1, VCT2, VCT3, VCT4, VP1 y VP2 con valores de 0,48 cm de grosor al cabo de 15 días.

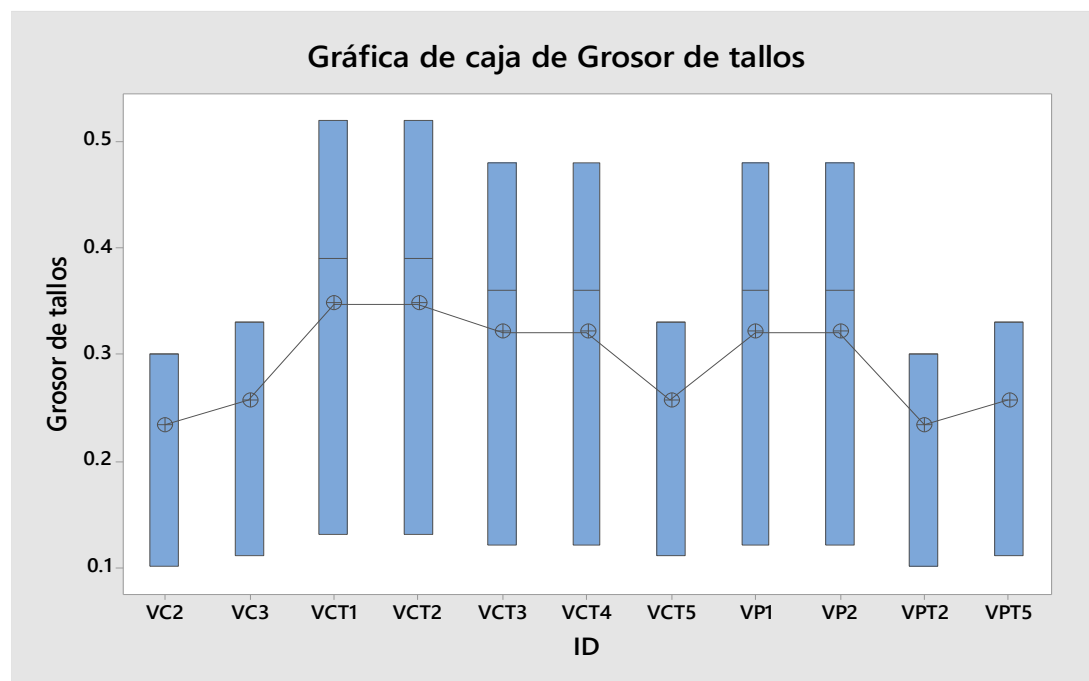


Figura 3. Diagrama de caja del grosor de tallos. VC: Variedad criolla, VCT: Variedad criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

Siguiendo el modelo predictivo propuesto por Cabezas-Gutiérrez et. al.,2009) para estimar el AF de las plántulas, se observa que la muestra VCT1 alcanzó 2,153 cm², este resultado está asociado al número de hojas verdaderas en la plántula. De igual manera, la muestra VCT2 obtuvo una respuesta aceptable para AF (Cuadro 8, Figura 4).

Con respecto al IAF, esta variable está relacionada con el índice de biomasa fotosintética. Es un gran indicador para comprender el flujo de agua, nutrientes y carbono en un ecosistema. Los valores pueden oscilar entre 1 y 4,5. Tomando en cuenta lo anterior, los datos en el cuadro 5 para el IAF se encuentran fuera del rango de saturación (mayor a 4,5), siendo VCT1 con 1,887 y VCT2 con 1,947, ambas muestras de la variedad criollo; por tanto, el uso de la luz en proceso de fotosíntesis y el mecanismo de flujo de nutrientes (materia orgánica) hicieron posible que los rendimientos en el crecimiento y adaptación de las plántulas destacaran en el cultivo de tomate variedad criollo.

Cuadro 8. Área foliar y Índice de área foliar

ID	Área foliar (cm ²)		AF _{TOTAL}	IAF
VCT1	1,217	0,936	2,153	1,887
VCT2	0,778	0,778	1,555	1,947
VCT3	0,202	0,288	0,490	0,616
VCT4	0,778	0,302	1,080	1,351
VC2	0,259	0,648	0,907	0,606
VC3	0,389	0,302	0,691	1,384
VP1	1,109	0,302	1,411	1,412
VP2	0,684	0,432	1,116	1,118

VC: Variedad criolla, VCT: Criolla con tratamiento, VP: Variedad Pony F2, VPT: Variedad Pony F2 con tratamiento.

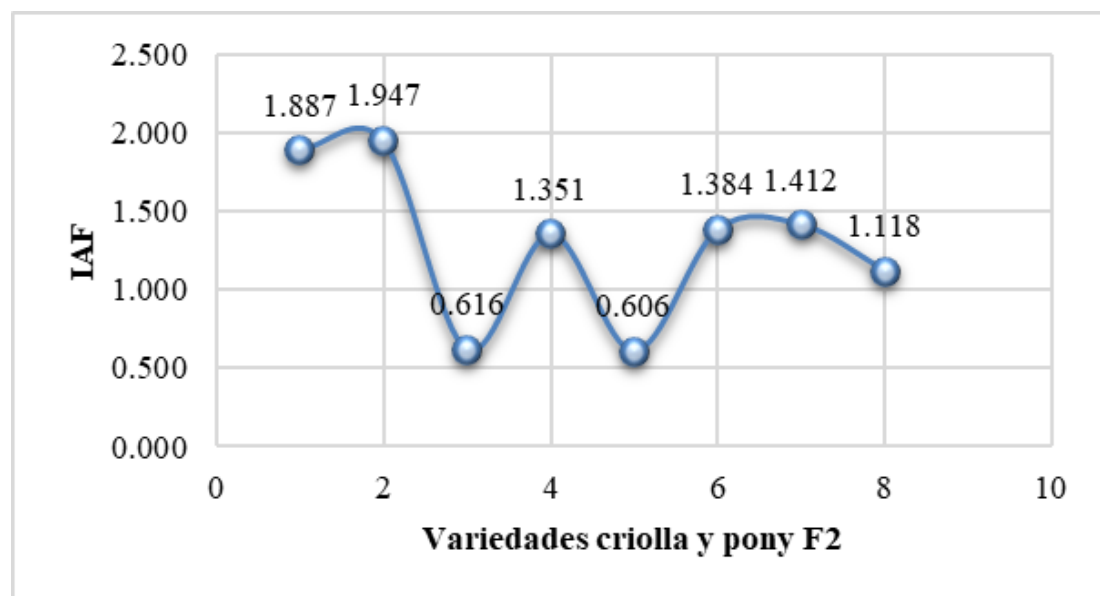


Figura 4. Índice de área foliar en variedades criolla y pony F2.



Figura 5. De izquierda a derecha. a) Planta de tomate VCT1 variedad criollo 40 días de germinación. b y c) VCT2 variedad criollo 53 cm de altura a los 60 días de germinación.

4. Conclusiones

En conclusión, en etapas iniciales del cultivo del tomate y durante la formación de raíces, las MA del género *Glomus* permiten un mejor y más rápido crecimiento en el cultivo de tomate en la variedad criolla, lo cual favorece el desarrollo y vigor de las plantas; así como también su capacidad de adaptación, fortalecimiento de raíces y mejor rendimiento en la asimilación de nutrientes en el sustrato. De igual manera, aplicar *Trichoderma* como medida de protección para la fase post-emergente de la radícula mitiga el porcentaje de riesgo de adquirir organismos fitopatógenos, pero, si no se controlan frecuentemente las condiciones climáticas como la humedad y temperatura durante la fase de almácigo y en las fases de trasplantes, estos factores pueden influir en el desarrollo de enfermedades provocadas por *Phytophthora infestans* y *Alternaria Solani*; e incluso influir en la aparición de plagas provocadas por *Phthorimaea absoluta*.

Agradecimientos

Agradecemos cordialmente al Departamento de Química y a los encargados de los laboratorios 101 y 107 de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua; por apoyarnos con los espacios y disponibilidad de los materiales y cristalería necesarias para desarrollar la fase experimental de esta investigación. Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria por su disposición y colaboración oportuna para la obtención de las micorrizas de la especie *Glomus Intraradices* y *Trichoderma*, sin estos insumos, no podríamos haber completado nuestro diseño de experimentos.

Referencias citadas

- Aguilera, L., Olalde, V., Arriga, R., & Contreras, R. (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENCIA ergo-sum*, 14(3): 300-306.
- Alcántara, J., Acero, J., Alcántara, J., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17, 109-129.

- Begum, N., Qin, C., Ahanger MA, R., Ishfaq, M., Ahmed, M. I., & Nadeem, A. a. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- Cabezas-Gutiérrez, M., Peña, F., Duarte, H., Colorado, J., & Lora, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 12 (1): 121-130
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2007). *Fundamentos de la metodología de la investigación*. McGraw - Hill. 100p.
- Herrera, N. (2022). Micorrizas arbúsculares en *Lycopersicum esculentum* (Tomate Santa Clara): el bioensayo como una estrategia para la elaboración de un material didáctico que reconozca el uso de los biofertilizantes. Tesis de Licenciatura. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. 139p.
- Monge, A. S. (2007). Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon Esculentum*) Mill y Chile Dulce (*Capsicum Annuum*) Linn, mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en El Cantón de San Carlos, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico De Costa Rica, Costa Rica. 109p.
- Naranjo-Morán, J., Vera-Morales, M., Barcos-Arias, M., Oviedo-Archundia, R., Sánchez-Rendón, V., & Pino-Acosta, A. (2021). Dispersión y transporte de propágulos micorrícicos en el bosque tropical seco. *Ecosistemas*, 30(1), 2062.
- Peñaranda, A., Ramírez, M., Serralde, D., & Pérez, U. (2020). Producción y aplicación de hongos formadores de micorrizas en vivero de caña para panel. Mosquera, Colombia: Agrosavia, Mosquera, Colombia. 54p.
- Raudez, D., & Rojas, J. (2023). Manejo agronómico en tomate y chiltoma realizado por los socios de la cooperativa de productores hortaliceros COPRAHOR. *Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano, FAREM-Estelí*. 11(44): 133-153.

Impacto de la fertilización biológica en el rendimiento del maíz nativo Vandeño

Cid Aguilar-Carpio^{1,*}, Yessica Flor Cervantes-Adame², José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹, Adriana Pérez-Ramírez²

Resumen. El maíz es fundamental en la dieta de los mexicanos, pero el uso excesivo de fertilizantes químicos ha llevado a la contaminación del suelo y el agua. Los fertilizantes biológicos podrían ofrecer una solución para mejorar el rendimiento del grano mientras se protege el medio ambiente. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la producción de biomasa, el rendimiento del grano y sus componentes en el maíz nativo Vandeño, comparando la nutrición química con la biológica. El experimento se llevó a cabo en Xalostoc, Morelos, bajo condiciones de temporal, utilizando tratamientos de fertilización química, extracto de nopal y algas marinas. Al momento de la cosecha, se registraron la biomasa total, el rendimiento del grano, el número de granos por metro cuadrado y el peso de los granos por mazorca. Los resultados mostraron un efecto significativo de los fertilizantes biológicos en las variables evaluadas en comparación con el testigo sin aplicación. Aunque la biomasa total no mostró variaciones significativas con respecto a los tratamientos, la combinación de fertilización química y extracto de nopal resultó en el mayor rendimiento, así como en un mayor número y peso de granos por mazorca.

Palabras clave. Nutrientes, producción, cultivos básicos.

Abstract. Corn is a staple food for Mexicans, but excessive use of chemical fertilizers has led to soil and water contamination. Biological fertilizers could provide a solution to increase grain yield while being more environmentally friendly. To compare chemical and biological fertilization, this study aimed to evaluate biomass production, grain yield, and its components in native Vandeño maize. We conducted the experiment in Xalostoc, Morelos, under rainy conditions. The treatments included chemical fertilization, prickly pear extract, and seaweed. We measured total biomass, grain yield, number of grains per square meter, and grain weight per ear during harvest. The results showed a significant impact of the biological fertilizers on the assessed variables compared to the control group with no application. Although total biomass did not show significant changes across treatments, the combination of chemical fertilizer and prickly pear extract led to the highest yield, as well as the greatest number and weight of grains per ear.

Keywords: Nutrients, Production, Basic Crops.

1. Introducción

El maíz es el cultivo con mayor relevancia en la alimentación de los mexicanos y se consume de diferentes formas procesadas como en tlaxcal, tamales, atole, tortilla, esquite y no procesados como en elote, derivando un consumo per capita de maíz de 273 g día⁻¹ (González-Cortés et al., 2016). En Morelos se siembran en promedio 38,582 ha, de los cuales el 8.8% (3,428 ha) corresponde a maíces nativos donde la producción es de 10,902 t con rendimientos de 3.18 t ha⁻¹ (SIAP, 2021).

¹Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor para correspondencia: aguilar.cid@colpos.mx

La siembra de maíces mejorado es de suma importancia para que los agricultores alcancen altos rendimientos, sin embargo, a consecuencia de los anterior se están perdiendo los maíces nativos. Por lo que es indispensable seguirlos cultivando, ya que, para la generación de maíces mejorados o híbridos es necesario el uso de maíces nativos, por lo cual es imperativo la conservación de estos, además de que se puede seguir manteniendo nuestra gran diversidad de maíces en México.

A pesar de que el maíz es uno de los principales cultivos en el país, para su producción se ha observado un evidente incremento en los diversos insumos que se utilizan como son los fertilizantes químicos, que en los últimos años se han incrementado su valor comercial, lo que se traduce en una menor rentabilidad para los productores. Para reducir el costo de producción en maíz es necesario complementar la fertilización química con alternativas de origen orgánico o biológico (Aguilar et al., 2015). Como lo son las algas marinas que se han utilizados como nutrientes vegetales por su contenido de vitaminas, carbohidratos y proteínas que favorecen la producción de los cultivos (Aguilar-Carpio et al., 2022).

Por otro lado, los microorganismos promotores del crecimiento han sido un importante factor de estudios por diferentes investigadores, ya que han encontrado una fuerte relación de los microorganismos con la nutrición de los cultivos. Por lo que es importante seguir generando información relacionadas con los genotipos de maíz nativo y su asociación con el uso de fertilizantes de origen biológico, debido a la respuesta positiva que se ha observado en diversos cultivos, así como en el ambiente (Díaz et al., 2013; Aguilar-Carpio et al., 2017). Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes en el maíz nativo Vandeño con respecto a la nutrición química y biológica.

2. Materiales y métodos

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal en el municipio de Xalostoc, Morelos, con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con temperaturas promedio anual de 24 °C, precipitación anual de 820 mm y altitud de 1286 m. El material vegetativo utilizado fue el maíz nativo Vandeño que se sembró el 15 de junio del 2022, en donde los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo de extractos de algas marinas [*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis], el hongo *Trichoderma harzianum* y extracto de nopal. La densidad de población fue de 4.10 plantas m⁻² y distancia entre surcos de 80 cm. En el caso de fertilización química se utilizó sulfato de amonio a dosis de 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno, el cual se aplicó a los 20 días después de la siembra (dds) la mitad de la dosis y la otra mitad a los 40 dds.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en el cultivo de maíz Vandeño.

No	Tratamientos	Dosis
1	Testigo sin aplicación	Sin aplicación
2	Fertilización química 100% (FQ)	200 N
3	FQ (100%) + <i>Ascophyllum nodosum</i>	200 N + 2 L ha ⁻¹
4	FQ (50%) + Extracto de nopal	200 N + 20 L ha ⁻¹
5	FQ (100%) + <i>Trichoderma harzianum</i>	300 g ha ⁻¹

El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho por 4 m de longitud. A madurez fisiológica se

evaluó la biomasa total (BT, g m^{-2}), rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}), número de granos (NG, m^2) y peso de granos por mazorca (PGM, g). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza, con el programa estadístico de SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0), la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$).

3. Resultados y discusión

Biomasa total. En la Figura 1, se observa que en la biomasa total los tratamientos presentaron diferencias significativas respecto al testigo sin aplicación. A pesar de que la aplicación del FQ al 100% más el extracto de nopal presentó la mayor biomasa total, estadísticamente no fue significativo respecto a los demás fertilizantes biológicos, así como tampoco a la fertilización química. Lo anterior indica, que la nutrición proporcionada al cultivo fue suficiente para que la planta pueda expresar su máxima producción en biomasa, así como lo han observado diversos autores en otros cultivares de maíz (Aguilar et al., 2022).

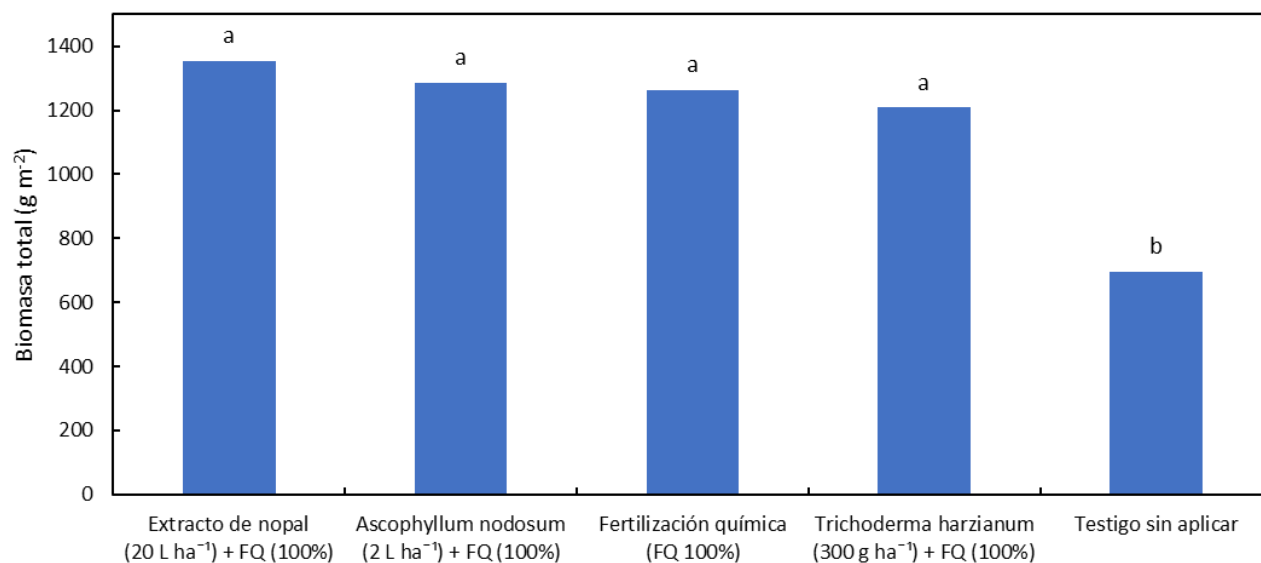


Figura. 1. Biomasa total de plantas de maíz Vandeño con respecto a la nutrición química y biológica.

Número de granos por metro cuadrado. En el número de granos por m^2 , se puede observar que el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre tratamientos solo en relación con el testigo sin aplicación (Figura 2). Lo cual señala, que los niveles de fertilización química en asociación con los biológicos fueron los adecuados para lograr una fecundación similar en cada mazorca y así generar el mismo número de granos por m^2 en los tratamientos. Efecto que también fue registrado por Aguilar-Carpio et al. (2022) en diferentes genotipos de maíz con el uso de biofertilizante y fertilizantes químicos.

Peso de granos por mazorca. En el peso de granos, se puede observar que el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos, así como con relación al testigo sin aplicación (Figura 3). El extracto de nopal presentó el mayor peso de granos, sin embargo,

estadísticamente no fue diferente a la aplicación de *Ascophyllum nodosum* y *Trichoderma harzianum*. Lo cual señala, que la fertilización biológica promovió una mayor de fotoasimilados en el grano. Efecto que también fue registrado por Aguilar-Carpio et al. (2022) en diferentes genotipos de maíz con el uso de biofertilizante y fertilizantes químicos

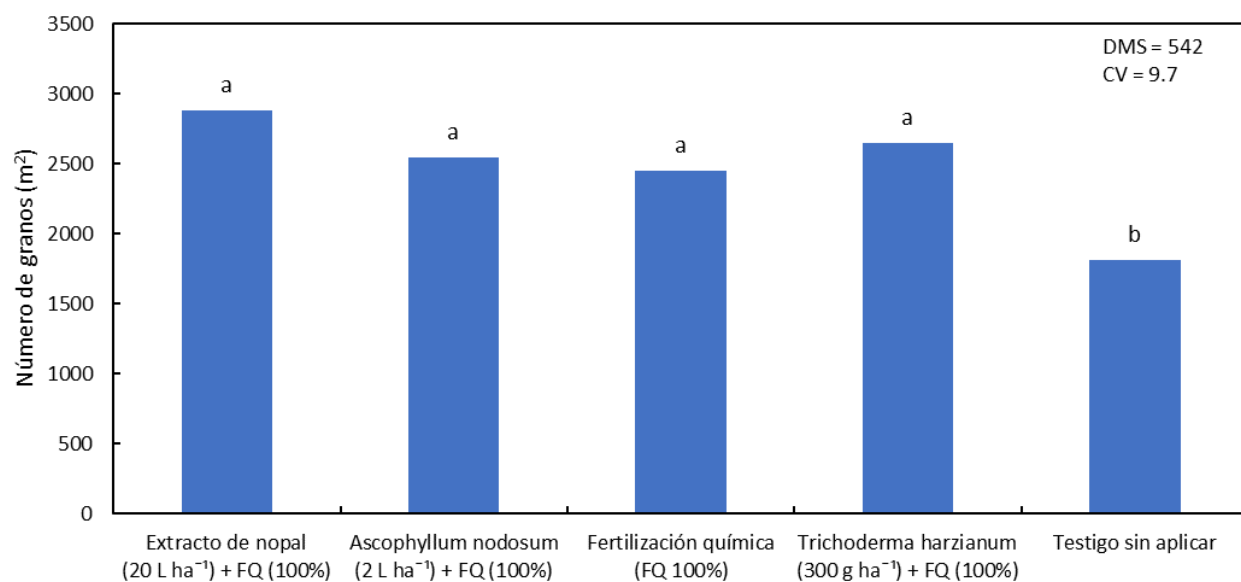


Figura. 2. Número de granos por m² de maíz Vandeño respecto a la nutrición química y biológica.

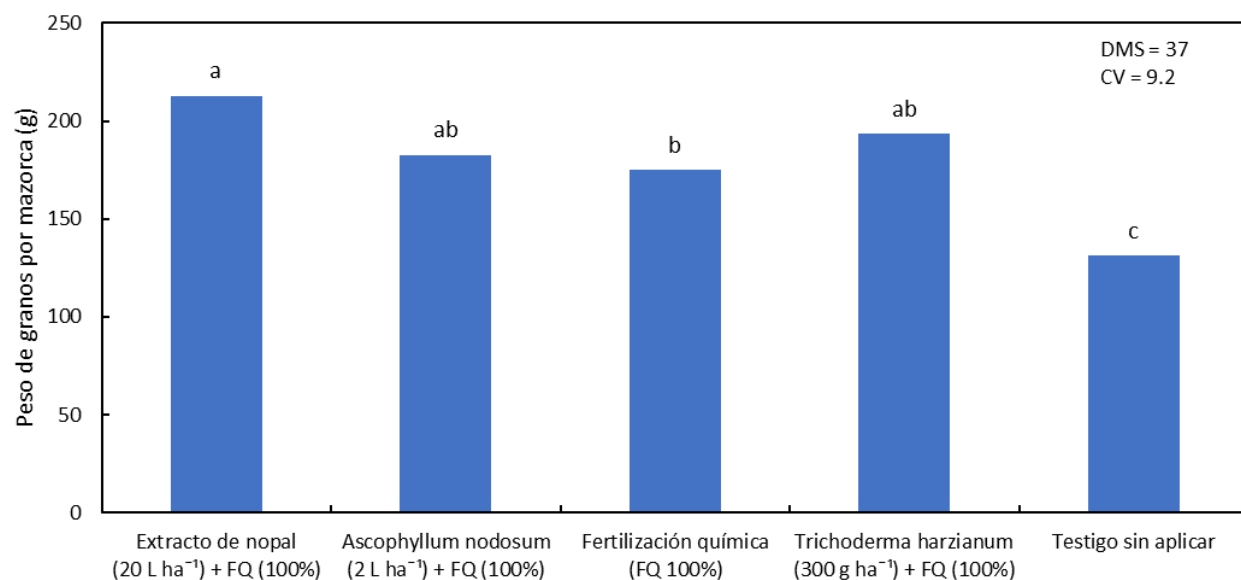


Figura. 3. Peso de granos por mazorca de maíz Vandeño respecto a la nutrición química y biológica.

Rendimiento de grano. En cuanto al rendimiento de grano (Figura 4), el análisis de varianza mostró cambios significativos entre tratamientos y con relación al testigo sin aplicación. La aplicación del FQ al 100% + extracto de nopal generó el rendimiento más alto seguido de la FQ (100%) + *T. harzianum*, así como *A. nodosum*, estadísticamente no fueron significativos entre ellos, pero sí, respecto a la fertilización química. En términos generales, se observó una tendencia positiva a la aplicación de los fertilizantes biológicos (Aguilar-Carpio et al., 2023).

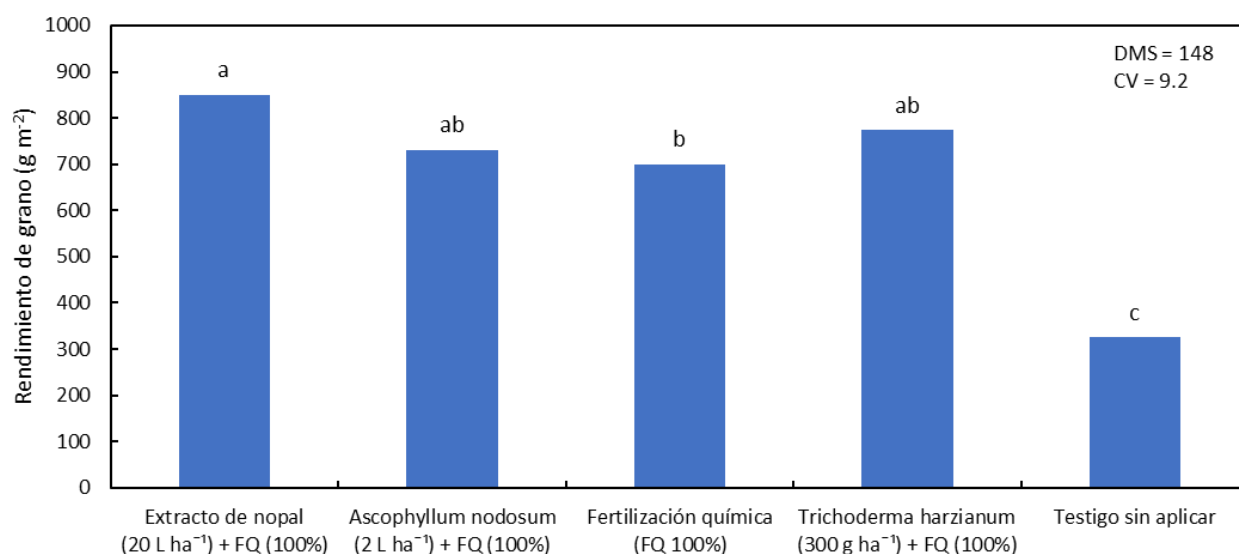


Figura. 4. Rendimiento en grano de maíz ancho en función de la nutrición química y biológica.

4. Conclusiones

En general, se observó un efecto significativo sobre las variables evaluadas por efecto de los fertilizantes biológicos, respecto al testigo sin aplicación. La biomasa total no registró efectos por la aplicación de los tratamientos, solo respecto al testigo. La fertilización química + extracto de nopal generó el mayor rendimiento, número de granos y peso de granos por mazorca.

Agradecimientos

Los autores agradecen al laboratorio de efectividad biológica IDAGRO S de RL de CV y a los estudiantes del CBTA 71 por el apoyo recibido para la realización de este trabajo de investigación.

Referencias citadas

- Aguilar, C. C., Arriaga, R. L. M., Cervantes, A. Y. F., Arenas, J. Y. R. & Escalante, E. J. A. S. 2022. Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria*, 32(1): e3285.
- Aguilar, C. C., Escalante, E. J. A. S. & Aguilar, M. I. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1): 51-62.

- Aguilar-Carpio, C., Cervantes-Adame, Y. F., Sorza-Aguilar, P. J. & Escalante-Estrada, J. A. S. 2022. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. *Terra Latinoamericana*, 40(1): 1-12.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S. & Pérez-Ramírez, A. 2023. Efecto de la nutrición química y biológica sobre el rendimiento y rentabilidad en maíz ancho. *Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología*, 3(3): 25-30.
- Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I. & Pérez-Ramírez, A. 2017. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12): 475-483.
- Díaz, F. A., Ortiz, C. F. E., Lozano, C. M. G., Aguado, S. A. G. & Grageda C. O. A. 2013. Growth, mineral absorption, and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research*, 8(28): 3764-3769.
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada-Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A. & Tejero-Jiménez, L. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3): 669-680.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2021. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Elongación de raíz y producción de biomasa de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en estrés hídrico, Campeche, México

Antonio Villalobos-González¹, Mónica Beatriz López-Hernández^{2,*}, Yaritza Yolanda Quintal-Vargas², Enrique Arcocha-Gómez², Nancy Alonso-Hernández³, Carlos Alejandro Granados Echegoyen³

Resumen. La producción de frijol se ve afectada por el estrés hídrico, reduciendo la biomasa y el rendimiento del cultivo. Este estudio evaluó la elongación de raíz y producción de biomasa de cuatro genotipos de frijol (Peruano, Michigan, Bayo y Sangre Maya) bajo condiciones de sequía en Campeche, México. El experimento se realizó en invernadero con un diseño de bloques completamente al azar, utilizando tubos de PVC con suelo de la región. Se establecieron dos tratamientos: riego continuo y sequía inducida en la fase reproductiva, con recuperación posterior. Se midieron la longitud de la raíz y la biomasa total seca, analizándose mediante ANOVA y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). Los resultados indicaron que el estrés hídrico afectó significativamente todas las características evaluadas. Se observó mayor elongación radicular en sequía, especialmente en los genotipos Bayo y Sangre Maya. En cuanto a biomasa, San Luis presentó la mayor producción en sequía, seguido de Bayo. La relación raíz-vástago fue menor en sequía, indicando un menor desarrollo radicular en estas condiciones. El frijol Peruano resultó ser el más susceptible al estrés hídrico, mientras que San Luis y Bayo mostraron mejor adaptación. Estos resultados pueden contribuir a la selección de genotipos más resistentes a la sequía para mejorar la producción en regiones con limitaciones hídricas..

Palabras clave. Elongación, Sequía, Materia seca.

Abstract. Bean production is affected by water stress, reducing biomass and crop yield. This study evaluated root elongation and biomass production in four bean genotypes (Peruano, Michigan, Bayo, and Sangre Maya) under drought conditions in Campeche, Mexico. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized block design with PVC tubes containing regional soil. Two treatments were established: continuous irrigation and drought-induced during the reproductive phase, followed by recovery irrigation. Root length and total dry biomass were measured and analyzed using ANOVA and mean comparison (Tukey, $p \leq 0.05$). The results indicated that water stress significantly affected all evaluated traits. Greater root elongation was observed under drought conditions, particularly in Bayo and Sangre Maya genotypes. Regarding biomass production, San Luis showed the highest yield under drought, followed by Bayo. The root-to-shoot ratio was lower under drought, indicating reduced root development in these conditions. The Peruano bean was the most susceptible to water stress, while San Luis and Bayo showed better adaptation. These findings may contribute to selecting drought-resistant genotypes to improve production in regions with water limitations.

Keywords: Elongation, Drought, Dry matter.

¹Instituto Tecnológico de Chiná, Tecnológico Nacional de México, Campeche, México.

²Campo Experimental Edzná, INIFAP, Campeche, México.

³CIIDIR-IPN-Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxca, México.

*Autor para correspondencia: monica.lh@china.tecnm.mx

1. Introducción

La producción del frijol se ve afectada por los cambios irregulares en las condiciones climáticas, tales como el estrés por sequía (Gómez et al., 2023), que coadyuva a la reducción de la producción de materia seca y rendimiento de semilla de frijol (Romero et al., 2021). La gravedad de la sequía y el estrés calórico se define por la frecuencia, duración e intensidad del estrés y por la fase de desarrollo del cultivo en la que se produce (Seleiman et al., 2021). En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo el estudio de la elongación de raíz y producción de biomasa de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de estrés hídrico en Campeche, México.

2. Materiales y métodos

El experimento se realizó en el área de invernadero del Tecnológico de México Campus Chiná, Campeche, México (19° 46' 15" N, 91° 29' 41" W y 20 msnm), que presentaba una cubierta de polietileno (plástico transparente de 30% sombra) a una altura de 4 m en el ciclo primavera-verano 2022. El experimento agrupó a tres variedades comerciales: frijol Peruano que presenta un tipo de crecimiento uno (TC: I), Michigan (TC: III) y Bayo (TC: III). y una nativa denominada en la región como sangre maya (TC: IV) proveniente del Laboratorio de Agricultura Agroecológica Orgánica Sustentable (LAAOS) del TECNM Campus Chiná.

Se utilizó una plántula por cada tubo de PVC con dimensiones de 100 cm de alto y 10 cm de ancho que contenía una bolsa cilíndrica de plástico con las mismas dimensiones, con un sustrato a base de suelo de la región denominado Sakluum (leptosoles líticos) y arena. En total se utilizó 30 tubos para los tratamientos de humedad riego y sequía, con un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones para ambos factores de humedad. La unidad experimental consistió de una plántula por tubo, cuyo sustrato se llevó a capacidad de campo (CC). Este fue determinado mediante el peso inicial (sustrato seco) y la diferencia del peso final (sustrato irrigado) después de 24 h.

Las plantas en condiciones de humedad se mantuvieron con un riego continuo durante todo el ciclo del cultivo. Mientras que las plantas con sequía, se les suspendió el riego en la fase reproductiva del cultivo a los 39 días después de la siembra (dds) durante 28 días sin llegar al punto de marchitez permanente (PMP), que posteriormente al término del estrés se aplicó un riego de recuperación (RR) a los 65 dds.

Se midió la longitud de la raíz con una regla de madera (cm). La biomasa total seca aérea (BMT) se determinó al cosechar al finalizar la madurez fisiológica que seguidamente fueron introducidas a una estufa de secado, modelo UNP 400 de la marca MEMMERT® a una temperatura de 70°C durante 72 h para obtener peso seco. Se realizaron un análisis de varianza para cada uno de los tratamientos (riego y sequía) y una interacción entre genotipo por humedad, mediante el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.0 para Windows (SAS, 2002). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (Tukey) a un nivel de probabilidad de error de 0.05..

3. Resultados y discusión

El efecto del estrés hídrico afectó significativamente la expresión de todos los caracteres de frijol (Cuadro 1). Asimismo, esta condición propicia que los genotipos obtuvieran una variación

significativa en la longitud de la raíz y producción de materia seca. Si embargo, con respecto a la interacción genotipo por humedad, no se presentó una interacción positiva $p \leq 0.05$ para la elongación de la raíz.

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de cuadrados medios en características de frijol Peruano, Bayo, San Luis y Sangre Maya en condiciones de sequía y riego durante el ciclo P-V 2022.

FV	GL	LOR	BMT
Repetición	2	333.24ns	2.93ns
Humedad	1	637.36*	23.60*
Genotipo	3	238.34ns	445.79**
Genotipo*Humedad	3	260.12ns	36.61*
Error	14	115.19	3.94
Total	23		
C.V. %		12.38	12.62

ns: No significativo, *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$; LOR= longitud de raíz; BMT= Biomasa seca total (g).

Longitud de raíz. Se obtuvo diferencias ($p \leq 0.05$) para la longitud de raíz (LOR) con base al genotipo por humedad (Figura 1). En promedio, la LOR fue menor en condiciones de riego que en sequía. Asimismo, el frijol Bayo y Sangre Maya mostraron mayor elongación de la raíz en sequía. Mientras que en riego sobresalieron San Luis con una diferencia superior del 14 % sobre el frijol Bayo. Estos resultados difieren a los de Pohlmann et al. (2022) quienes no encontrando diferencia entre genotipos en la etapa R5 al someterlos a riego y sequía, que pudo deberse al corto periodo utilizado en la suspensión de riego (7 días).

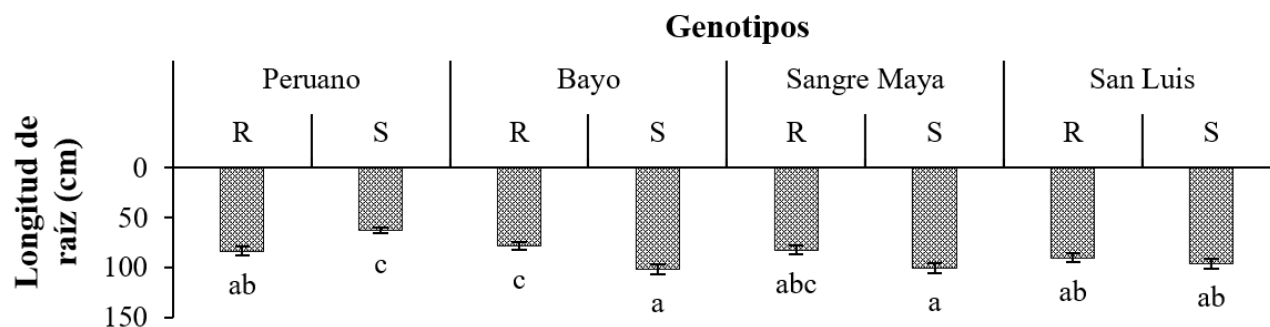


Figura. 1. Comparación de medias con base a la longitud de raíz de genotipos de frijol en condiciones de riego (R) y sequía (S). Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Biomasa total. Entre genotipos, el frijol San Luis en condición de sequía presento la mayor ($p \leq 0.05$) producción de BMT con 23 g, seguido por el frijol Bayo en sequía y Sangre maya en riego, respectivamente (Figura 2A). Estos resultados se asimilaran a los de Polanía et al. (2022), donde observaron que la variedad Pinto Saltillo resistente a la sequía terminal acumulo mayor biomasa aérea

en comparación con el frijol susceptible Bayo Madero. Suárez et al. (2020) indica que esto podría estar relacionado con mecanismos implicados en el equilibrio del crecimiento bajo estrés y con una movilización más eficiente de fotoasimilados..

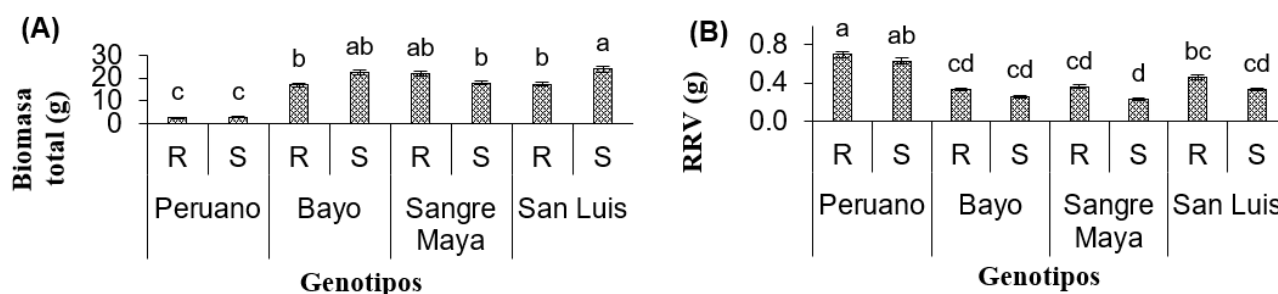


Figura. 2. Comparación de medias con base a la biomasa total (BMT, g) (A) y relación raíz-vástago (RRV, g) (B) de plantas de frijol en riego (R) y sequía (S). Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las barras verticales muestran el error estándar.

Relación raíz-vástago. Se detectaron diferencias ($p \leq 0.05$) para la relación raíz-vástago (RRV) entre genotipos por humedad (Figura 2B). Asimismo, a través de los genotipos en riego se obtuvo mayor RRV. Mientras en condición de sequía, el frijol Peruano, Bayo, Sangre Maya y San Luis la relación fue inferior de entre 13 a 33 % respectivamente. Mago et al., (2020) indica que es común observar un aumento de la proporción de asimiladores en producir biomasa de raíz a expensas de la biomasa aérea en algunos genotipos.

4. Conclusiones

El frijol Peruano fue el más susceptible al estrés hídrico con base a la elongación de la raíz y producción de biomasa total. El menor efecto del estrés hídrico se obtuvo en el frijol San Luis y Bayo.

Agradecimientos

Al laboratorio de Agricultura Agroecológica Orgánica Sustentable del Tecnológico Nacional de México (TECNM) Campus Chiná por la donación de semilla de frijol.

Referencias citadas

- Gómez, L. D. A., Leguizamon, Y. R., Ortega, E. R. & Rivera, A. T. 2023. Estimación del efecto de la sequía sobre la productividad de frijol variedad AGROSAVIA rojo 43 en el Caribe colombiano. *Avances en Investigación Agropecuaria* 27 (1):25-38.
- Romero, F. C. S., López, C. C., Kohashi, S. J., Martínez, R. C. G., Miranda, C. S. & Aguilar, R. V. H. 2021. Rendimiento y biomasa acumulada en frijol común bajo riego y secano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12 (8):1363-1376.
- SAS, 2002. The SAS System Release for Windows 9.0; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2002.

- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Hafiz, H., Abdul-Wajid, H. H. & Battaglia, M. L. 2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants* 10:1-25.
- Mago, M., Pire, R. & García, M. 2021. Efecto del déficit hídrico durante la fase juvenil sobre el crecimiento y acumulación de prolina en tres genotipos de *Phaseolus Vulgaris* L. *Científica Ecociencia* 8 (1):49-64.
- Pohlmann, V., Lago, I., Lopes, S. J., Zanon, A. J., Streck, N. A., Martins, J. T. Da, S., Caye, M., Bittencourt, P. N., Santana, V. F. K. & Portalanza, D. 2022. Water deficit tolerance of bean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 57:1-11.
- Polanía, J. A., Salazar, C. V., González, L. I., Acosta, M. A., Chater, C. C. C. & Covarrubias, A. A. 2022. Contrasting *Phaseolus* Crop Water Use Patterns and Stomatal Dynamics in Response to Terminal Drought. *Frontiers in Plant Science* 13:1-16.
- Suárez, J. C., Polanía, J. A., Contreras, A. T., Rodríguez, L., Machado, L., Ordoñez, C., Beebe, S. & Rao, I. M. 2020. Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: Genotypic differences in phenological and agronomic performance. *Euphytica* 216:1-20.

Condición edáfica y conservación de árboles longevos: el caso del Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*) en Oaxaca, México

Beatriz Quiroz-González¹, Israel Dionicio-y de Jesús¹, Carlos Granados-Echegoyen¹, Alfonso Vásquez-López², Sabino Honorio Martínez-Tomás², Baldomero, Zarate-Nicolás^{2,*}

Resumen. Este estudio presenta una evaluación integral del suelo que sustenta al Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*), un ejemplar notable de 2,000 años en Oaxaca, México. Se realizaron análisis físicos, químicos, microbiológicos y biológicos. Los resultados revelaron un suelo alcalino (pH 8.1) con salinidad moderada (1.1 dS/m) y acumulación de carbonatos (7.7%), con deficiencias de Fe, Zn y Mn. El suelo posee alta materia orgánica (2.81%) pero baja humificación (índice: 38.74), dominada por ácidos fúlvicos (1.10 g/100g) sobre húmicos (1.94 g/100g). El perfil microbiológico mostró una comunidad resiliente, evidenciada por una relación NLFA/PLFA equilibrada (0.93). Los hongos fueron particularmente abundantes (4.6 nmol PLFA g⁻¹ suelo), con saprotróficos (3.1 nmol g⁻¹) y micorrizas arbusculares (1.4 nmol g⁻¹). Las bacterias Gram-positivas (10.3 nmol g⁻¹) dominaron sobre Gram-negativas (4.7 nmol g⁻¹). En general, la cromatografía confirmó una buena actividad biológica del suelo, aunque con ligera compactación. Estos hallazgos proporcionan información científica para la conservación de árboles milenarios en entornos urbanizados. El estudio destaca las propiedades únicas del suelo y la dinámica microbiana que han contribuido a la longevidad excepcional de este icónico árbol, al tiempo que identifica factores edáficos clave a considerar en estrategias de preservación a largo plazo. Estos resultados establecen una base importante para desarrollar enfoques de conservación basados en ciencia que atiendan tanto los requerimientos biológicos como fisicoquímicos de árboles antiguos en paisajes urbanos.

Palabras clave. Fertilidad, Suelo, Nutrientes, Microbiología, Materia Orgánica, Cromatografía De Pfeiffer.

Abstract. This study presents a comprehensive soil assessment of the root zone supporting El Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*), a remarkable 2,000-year-old specimen in Oaxaca, Mexico. Physical, chemical, microbiological, and biological analyses were conducted. Results revealed an alkaline soil (pH 8.1) with moderate salinity (1.1 dS/m) and carbonate accumulation (7.7%), exhibiting deficiencies in plant-available Fe, Zn, and Mn. The soil contains elevated organic matter (2.81%) but displays limited humification (index: 38.74), with fulvic acids (1.10 g/100g) predominating over humic acids (1.94 g/100g). Microbiological profiling identified a resilient soil community, evidenced by a balanced NLFA/PLFA ratio (0.93). Fungal populations were particularly abundant (4.6 nmol PLFA g⁻¹ soil), comprising saprotrophs (3.1 nmol g⁻¹) and arbuscular mycorrhizal fungi (1.4 nmol g⁻¹). Gram-positive bacteria (10.3 nmol g⁻¹) dominated over Gram-negative species (4.7 nmol g⁻¹). Soil chromatography confirmed robust biological activity despite mild compaction. These findings provide critical scientific insights for conserving millennial trees in urbanized landscapes. The study highlights unique edaphic properties and microbial dynamics contributing to this iconic tree's exceptional longevity, while identifying key soil factors for long-term preservation strategies. These results establish an essential foundation for developing science-based conservation approaches addressing both biological and physicochemical requirements of ancient trees in urban ecosystems.

Keywords: Fertility, Soil, Nutrients, Microbiology, Organic Matter, Pfeiffer Chromatography.

¹Instituto Politécnico Nacional - CIIDIR Oaxaca, México.

²ECIHTI - Instituto Politécnico Nacional, Bioplanta-CIIDIR Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: bzaraten@ipn.mx

1. Introducción

Los árboles longevos son componentes clave de los ecosistemas terrestres, no sólo por su longevidad y biomasa excepcionales, sino también por su papel en la conservación de la biodiversidad (Guo et al., 2011) y en el equilibrio ecológico (Yan, 2023). Además, poseen un valor cultural, histórico y espiritual, debido a sus particulares estéticas, y su significado simbólico y/o religioso (Blicharska y Mikusiński, 2014).

Entre los factores naturales que determinan la salud de los árboles longevos, el suelo destaca como uno de los más importantes. Ya que, el suelo no sólo actúa como un soporte físico, sino que también funciona como fuente de agua, nutrientes esenciales y comunidades microbianas benéficas. En particular, la vida microbiana en la rizosfera está influenciada por características edáficas como el contenido de materia orgánica, el pH y la disponibilidad de fósforo, elementos críticos para el reciclaje de nutrientes y la resistencia frente a enfermedades. La interacción entre raíces y suelo también promueve procesos como la meteorización biológica y la formación de suelo, fortaleciendo la sostenibilidad del ecosistema, a largo plazo (Mao et al., 2024).

Esta relación no es unidireccional, debido a que, así como el suelo influye sobre la salud del árbol, los árboles longevos también ejercen un efecto positivo sobre el suelo. Su sistema radical extenso y el aporte constante de hojarasca enriquecen el perfil edáfico, lo que favorece la retención de nutrientes, el aumento de la porosidad y la mejora en la actividad biológica. Estos procesos generan lo que se ha denominado "islas fértiles", puntos críticos de funcionamiento ecológico en paisajes intervenidos por las actividades humanas (Rhoades, 1996; Yan, 2023).

De acuerdo con lo anterior, la conservación y gestión adecuada de los árboles longevos requieren diagnósticos para la mejora de las condiciones del suelo, de tal manera que se favorezca su salud y supervivencia, y permitir que continúe desempeñando su función ecológica y cultural. Por lo que, el presente estudio de caso tiene como objetivo analizar integralmente la condición física, nutrimental, microbiológica y biológica del suelo que sostiene al Árbol del Tule, uno de los árboles más antiguos (2000 años) y monumentales en México y a nivel mundial, con una circunferencia de más de 42 metros. A través de este análisis se busca generar evidencia científica que ayude a guiar su manejo y conservación, al tiempo que se fortalece el diseño de estrategias para proteger árboles patrimoniales en paisajes urbanos.

2. Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en Santa María del Tule, Oaxaca (17°02'47"N, 96°38'10"O), a una altitud aproximada de 1,560 msnm. La zona se caracteriza por un clima semicálido, con una temperatura media anual de 18.7 °C y una precipitación media anual de 561.4 mm, con las primeras lluvias en mayo (Municipio de Santa María del Tule, 2008). El ejemplar arbóreo presenta una altura total de 42 m, un diámetro de copa de 32 metros y 14 m de diámetro, su edad es de alrededor de 2 mil años.

Análisis de agua de riego. Se recolectó 1 L de agua directamente de los aspersores en funcionamiento dentro de la zona de estudio, utilizando una botella de PET estéril y previamente enjuagada con la misma muestra. Inmediatamente después, la botella fue almacenada en una hielera con hielo y bolsas de hidrogel para mantener la temperatura y preservar la integridad de la muestra hasta su análisis. Los análisis fueron realizados por el laboratorio certificado Fertilab® (Celaya,

Guanajuato). El pH se determinó por potenciometría; la conductividad eléctrica mediante conductimetría; los elementos calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, manganeso, zinc y arsénico se cuantificaron mediante extracción acidificada con ácido nítrico (HNO₃) y lectura por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los sulfatos se analizaron por turbidimetría con espectrofotometría UV-Vis; los fosfatos y nitratos mediante espectrofotometría UV-Vis; los carbonatos y bicarbonatos por volumetría ácido-base; los cloruros por electrometría con electrodo de ion específico; y el amonio mediante volumetría ácido-base, utilizando el método del formaldehído. Las características del agua de riego se muestran en el Cuadro 1..

Cuadro 1. Características del agua de riego (de pozo) del árbol de Santa María del Tule Oaxaca.

Variable	Abreviatura	Unidades	Resultado	Categoría
Conductividad Eléctrica	CE	dS/m	1.14	Moderadamente Alto
pH	pH	-	6.95	Moderadamente Ácido
Relación de Adsorción de Sodio	RAS	-	1.17	Moderadamente Bajo
Relación de Adsorción de Sodio Ajustada	RASaj	-	1.87	Moderadamente Bajo
Dureza	°f	°f	43.72	Dura
Calcio	Ca	meq/L	7.42	Alto
Magnesio	Mg	meq/L	1.36	Moderadamente Bajo
Sodio	Na	meq/L	2.46	Moderadamente Bajo
Potasio	K	meq/L	0.18	Bajo
Sulfatos	S-SO ₄	meq/L	0.91	Muy Bajo
Bicarbonatos	HCO ₃	meq/L	8.27	Alto
Cloruros	Cl	meq/L	2.2	Moderadamente Bajo
Carbonatos	CO ₃	meq/L	0	-
Nitratos	N-NO ₃	meq/L	0.02	Bajo
Boro	B	mg/L	0.35	Mediano
Hierro	Fe	mg/L	1.57	Muy Alto
Manganeso	Mn	mg/L	1.21	Muy Alto
Cobre	Cu	mg/L	0.01	Bajo
Zinc	Zn	mg/L	0.01	Bajo
Arsénico	As	mg/L	0.02	Moderadamente Bajo

Dureza: Se expresa en grados franceses (°f).

Análisis físico, químico y nutrimental de suelo. Se tomaron muestras de suelo en tres profundidades: 15, 30 y 45 cm, en tres zonas diferenciadas dentro del área de influencia del árbol, zonas donde se observaron raíces absorbentes activas. Las zonas fueron: semi-sombreada con humedad normal (SS-HN), soleada y húmeda (SOL-H), y sombreada y húmeda (SOMBRA-H). De cada zona se obtuvo una muestra compuesta de 2 kg. Por lo que el análisis del suelo se realizó por triplicado. Se enviaron las

muestras de suelo a Fertilab® (Celaya, Guanajuato) para su análisis físico, químico y nutrimental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Métodos analíticos utilizados para la evaluación de parámetros edáficos.

Tipo de análisis	Parámetro	Método	Unidad
Físico	Textura	Bouyoucos	-
	Textura manual	Método del tacto	-
	Densidad aparente	Probeta modificada	mg/cm ³
	Porcentaje de humedad	Gravimétrico	%
	Relaciones de humedad	Gravimétrico	%
	Conductividad hidráulica	Correlación	cm/h
Químicos	Acidez (H ⁺) y aluminio intercambiable	Cloruro de potasio	-
	Carbonatos totales	Neutralización ácida	%
	Conductividad eléctrica	Relación 1:2 (suelo:agua)	dS/m
	pH	Relación 1:2 (suelo:agua)	-
	pH Buffer	Método SMP	-
	Materia orgánica (MO)	Walkley and Black	%
	Ácidos húmicos y fúlvicos	Extracción alcalina y separación ácido-base	g/100g
	Fósforo disponible (P-Olsen)	Olsen	ppm/ mg/kg
Nutrimentales	Fósforo (P-Bray1, P-Bray2)	Bray y Kurtz 1 y 2	ppm / mg/kg
	Bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na)	Acetato de amonio	ppm / mg/kg
	Micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu)	DTPA-Sorbitol pH 7	ppm / mg/kg
	Boro (B)	DTPA-Sorbitol pH 7	ppm / mg/kg
	Azufre (S)	Turbidimétrico	ppm / mg/kg
	Nitratos (N-NO ₃)	Colorimétrico	ppm / mg/kg

Análisis de ácidos grasos (microbiológico) en el suelo. Se recolectaron muestras de suelo a la profundidad (15, 30 y 45 cm) y en las zonas mencionadas previamente (SS-HN, SOL-H y SOMBRA-H). De cada zona, se obtuvo una muestra compuesta de 100 g, se colocó inmediatamente en una hielera con hielo y bolsas de hidrogel, durante el transporte al laboratorio. En el laboratorio, se tomaron 20 g de cada muestra y se colocaron en bolsas de polietileno. Posteriormente, fueron enviadas en una hielera con bolsas de hidrogel al Laboratorio de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES-UNAM), donde se realizó la caracterización de los ácidos grasos mediante cromatografía de gases. El análisis se llevó a cabo mediante el fraccionamiento de ácidos grasos neutros (NLFA) y ácidos grasos fosfolipídicos (PLFA), siguiendo la metodología descrita por Sasser (1990). Los biomarcadores lipídicos fueron agrupados según su afinidad taxonómica (Veum et al., 2019). Los hongos se asociaron a los ácidos grasos 18:1ω9c, 18:3 ω6c (6,9,12), 16:1ω5c, de manera particular, los hongos micorrízicos arbusculares se identificaron mediante el ácido graso 16:1ω5c, los hongos saprotróficos 18:1 ω9c y 18:3 ω6c (6,9,12).

Los protozoarios, se identificaron a través de los ácidos grasos 20:4 w6,9,12,15c. La biomasa bacteriana total se asoció a un conjunto de PLFAs: 14:1 w5c, i15:0, a15:0, 15:0 3OH, i16:0, 16:1 w9c, i17:0, a17:0, cy17:0, 17:0, 18:1 w7 y cy19:0. Las eubacterias se asociaron a los ácidos grasos cy17:0, cy19:0, i15:1. Las bacterias Gram-positivas se caracterizaron por la presencia de ácidos grasos ramificados del tipo iso y anteiso, como i15:0, a15:0, i16:0, i17:0 y a17:0. Por otro lado, las bacterias Gram-negativas se identificaron por la presencia de ácidos grasos monoinsaturados y cíclicos, principalmente 17:0cy, 19:0cy, 15:1 w8c, 15:1 w6c, 17:1 w7c y 17:1 w8c. Finalmente, los actinomicetos se caracterizaron por ácidos grasos metilados en la posición 10 del carbono, en particular 17:010Me y 18:010Me. Los resultados de la biomasa microbiana se expresaron como nmol de PLFA g⁻¹ de suelo seco, y sólo los hongos micorrízicos se expresaron como nmol de NLFA g⁻¹ de suelo seco. Para calcular la proporción de lípidos de reserva (NLFA) en relación con los lípidos de membrana (PLFA), se calculó la relación NLFA/PLFA con la ecuación siguiente:

Relación NLFA/PLFA=(Concentración del biomarcador NLFA)/(Concentración del biomarcador PLFA) (Ferrari, 2015).

Análisis biológico del suelo. Las muestras de suelo (100 g) se colocan en bolsas de papel estraza y se llevaron al laboratorio, donde se secaron a temperatura ambiente (28 ± 5°C) durante 7 días, en un lugar seco y sombreado. El análisis biológico del suelo (interacción microbiológica, mineral y de la materia orgánica) se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Kokornaczyk et al. (2017). La interpretación de los cromatogramas se realizó tomando como referencia la zona central, interna, media y externa, que reflejan la condición de aireación, disponibilidad de minerales, condición de la materia orgánica y presencia de ácidos húmicos, respectivamente. La actividad microbiana se representó por la presencia o ausencia de un centro blanco en el cromatograma. La biodisponibilidad de minerales se indicó por la aparición de rayos que se extienden desde el centro hacia la zona de la materia orgánica. La transformación de la materia orgánica en ácidos húmicos y fúlvicos se observó a través de una coloración marrón oscura que se extiende hacia la parte externa del cromatograma con picos y manchas al final del cromatograma (Kokornaczyk et al. 2017; Graciano et al., 2020). En cada zona y profundidad, la evaluación se realizó por triplicado

3. Resultados y discusión

Se identificó un suelo alcalino (8.1 ± 0.07), con salinidad media (1.1 ± 0.37 dS/m) y una moderada presencia de carbonatos (7.7 ± 1.32 %), esta condición podría estar generando un bloque alcalino, porque, a pesar de que el zinc, el hierro y el manganeso se encuentran en concentraciones elevadas en el agua de riego (Cuadro 1), se detectaron niveles muy bajos en el suelo (Cuadro 3). Es posible que en el suelo se formen compuestos insolubles con estos elementos, o se adsorban fuertemente en las partículas del suelo, lo que los hace menos accesibles para la absorción vegetal (Sinha et al., 1978). Estas deficiencias deben atenderse en árboles longevos, dado que pueden afectar el metabolismo general de la planta y su resiliencia al estrés, ya que el hierro es un elemento determinante durante la síntesis de clorofila y la producción de energía, mientras que el zinc juega un papel importante para la función enzimática, la síntesis de proteínas y la regulación del crecimiento; por su parte, el manganeso

es necesario para la fotosíntesis y actúa como cofactor de diversas reacciones enzimáticas (Rai et al., 2021).

Cuadro 3. Fertilidad del suelo.

Determinación	Valor	Nivel
MO (% p/p)	2.81 ± 0.31	Alto
P-Olsen (mg/kg)	13.23 ± 3.15	Mod. Bajo
K (mg/kg)	286.00 ± 79.27	Mod. Alto
Ca (mg/kg)	3375.67 ± 125.24	Mod. Alto
Mg (mg/kg)	279.67 ± 44.88	Medio
Na (mg/kg)	169.67 ± 57.01	Medio
Fe (mg/kg)	6.58 ± 1.09	Mod. Bajo
Zn (mg/kg)	1.55 ± 0.81	Mod. Bajo
Mn (mg/kg)	2.20 ± 0.59	Bajo
Cu (mg/kg)	1.07 ± 0.16	Medio
B (mg/kg)	2.56 ± 0.93	Mod. Alto
S (mg/kg)	7.90 ± 1.91	Mod. Bajo
N-NO ₃ (mg/kg)	9.74 ± 8.07	Mod. Bajo

±Desviación estándar

La disponibilidad de nitrógeno, azufre y fósforo se encuentra en rangos moderadamente bajos, lo que limita los procesos de mineralización y la eficiencia en la absorción de nutrientes, sobre todo en un entorno con exceso de cationes básicos (Cuadro 4). El potasio, calcio y magnesio se encuentran en niveles aceptables a moderadamente altos, pero las relaciones entre ellos (por ejemplo, Ca/K > 24 meq/100g y Ca/Mg > 7 meq/100g) revelan un desbalance catiónico que puede interferir con la absorción radicular y compactación estructural (Pandey y Bennett, 2023).

Cuadro 4. Cationes intercambiables y porcentaje de saturación de bases.

Catión	Valor	Nivel
Ca (% sat)	81.77 ± 3.11	Alto
Mg (% sat)	11.19 ± 1.85	Medio
K (% sat)	3.53 ± 0.87	Medio
Na (% sat)	3.56 ± 1.10	Medio
Ca (meq/100g)	16.83 ± 0.61	Alto
Mg (meq/100g)	2.30 ± 0.37	Medio
K (meq/100g)	0.73 ± 0.20	Medio
Na (meq/100g)	0.74 ± 0.25	Medio
CIC	20.60 ± 0.60	Medio

±Desviación estándar

Por otro lado, se encontró que el suelo contiene alta cantidad de materia orgánica, lo que es característico de suelos forestales, donde oscila entre el 1 al 5 % (Osman, 2013). Esto es benéfico para el árbol, porque la materia orgánica es fuente de energía del suelo, que permite mantener la vida microbiana y los procesos biogeoquímicos que allí ocurren (Binkley y Fisher, 2019). A pesar de tener una materia orgánica elevada, la concentración de ácidos húmicos es relativamente baja (1.94 ± 0.81 g/100 g ps) si los comparamos con lo encontrado en otros suelos, donde se han encontrado concentraciones de hasta 5% (Polyakov et al., 2024). Cabe resaltar que un alto contenido de materia orgánica en el suelo no significa exactamente una alta acumulación de ácidos húmicos. De hecho, lo encontrado es algo benéfico, dado que es posible que la materia orgánica del suelo que contiene el árbol del Tule, sea materia orgánica joven y fácilmente degradable, lo que predomina es carbono activo y transitorio, no formas humificadas y estables. Esto se confirma con el Índice de humificación de 38.74, que indica que la materia orgánica es poco humificada, y predominan ácidos fúlvicos (1.10 ± 0.55 g/100 g ps) sobre los fúlvicos (1.10 ± 0.55 g/100 g ps). En general, la presencia de materia orgánica joven y fácilmente degradable es un sello distintivo de los sistemas de sotobosque saludables, ya que fomenta el ciclo de nutrientes, la resistencia a las enfermedades y la restauración del suelo a largo plazo (Rigal et al., 2020; Zhang et al., 2022).

El análisis de ácidos grasos (microbiológico) en el suelo fortalece lo encontrado previamente, dado que se encontró una relación NLFA/PLFA de 0.93, lo que sugiere un equilibrio entre biomasa activa y reserva energética. Esto quiere decir que el suelo que contiene el árbol del tule ha logrado mantener un sistema microbiano bien balanceado, donde los microorganismos mantienen suficiente energía almacenada (NLFA) sin sacrificar su actividad metabólica (PLFA). Por lo anterior, es capaz de responder a estrés ambiental (sequía, contaminación) usando reservas energéticas (NLFA) sin colapsar. Asimismo, la biomasa activa (PLFA) asegura ciclos biogeoquímicos eficientes (Chubukov et al., 2014; Tong et al., 2021).

Se detectaron en abundancia hongos saprotróficos y micorrízicos arbusculares (Cuadro 5), esenciales para la descomposición de materia orgánica y la simbiosis con raíces e incluso la tolerancia al estrés (para el caso de los micorrízicos, Dowarah et al., 2021), aunque se observó una baja proporción de actinomicetos y protozoarios. Por otro lado, el predominio de bacterias Gram-positivas sobre Gram-negativas refuerza la aseveración del equilibrio del sistema, ya que su pared celular gruesa y metabolismo versátil les permite prosperar en condiciones de deficiencias nutricionales. Este sistema microbiano especializado expresa adaptación al ambiente alcalino, aún de la presencia de un posible bloqueo de ciertos nutrientes. mientras que los PLFA de bacterias Gram+ garantizan la continuidad de los procesos biogeoquímicos esenciales.

Finalmente, el análisis biológico del suelo indicó que el suelo del longevo árbol del Tule cuenta con microbiología activa (Figura 1), no obstante, se encontró una ligera compactación que puede ser atribuida a la alta concentración de bicarbonatos, que puede precipitar como carbonato de calcio, debido al entorno alcalino.

No obstante, aunque se nota esa compactación, se observa la biodisponibilidad de los minerales y la presencia de ácidos húmicos. Por lo que se observa que la calidad biológica del suelo es buena, ya que en la mayoría de los cromatogramas se nota la integración de todos los elementos hasta la revelación de la presencia de ácidos húmicos.

Cuadro 5. Biomarcadores de ácidos grasos específicos de grupos microbianos y sus contenidos ($\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ de suelo) de los ácidos grasos neutros (NLFA), ácidos grasos fosfolipídicos (PLFA) y la relación NLFA/PLFA en el suelo que contiene el árbol de Santa María del Tule, Oaxaca.

Grupo microbiano	Contenido de ácidos grasos neutros (NLFA)	Contenido de ácidos grasos fosfolipídicos (PLFA)
Hongos totales	----	4.6 ± 1.91
Hongos micorrízicos arbusculares	3.3 ± 1.40	1.4 ± 0.58
Hongos saprotróficos	----	3.1 ± 1.34
Protozoarios	----	0.1 ± 0.09
Bacterias totales	----	15.4 ± 4.80
Eubacterias	----	4.4 ± 1.17
Gram +	----	10.3 ± 3.18
Gram -	----	4.7 ± 1.27
Actinomicetos	----	1.4 ± 0.39

±Desviación estándar



Figura. 1. Cromatografías del suelo del árbol del Tule, a tres profundidades (15, 30 y 45 cm).

4. Conclusiones

El diagnóstico integral del suelo que sostiene al Árbol del Tule revela que el suelo ha sido capaz de lograr un equilibrio ecosistémico a través de los años, donde los componentes biológicos, físicos y químicos han desarrollado una sinergia funcional que permite tener resiliencia ante situaciones de estrés ambiental. Sin embargo, se identificaron limitantes clave que deben atenderse para garantizar la salud a largo plazo de este ejemplar patrimonial. En respuesta a este diagnóstico, se recomienda corregir la alcalinidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica activa y bioinsumos con efecto acidificante moderado, lo que también proporcionará microbiología para favorecer la descompactación. También se recomienda enriquecer la fertilidad edáfica con aportes dirigidos de

zinc, nitrógeno y azufre, complementando con el hierro y zinc presentes en el agua de riego. Este enfoque permite no sólo mejorar las condiciones actuales del suelo, sino también establecer una base técnica para el diseño de estrategias de conservación de árboles longevos y monumentales en entornos urbanos, reconociendo su papel ecológico, cultural y simbólico en los territorios donde se encuentran.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento del proyecto “Diagnóstico no invasivo para la conservación del Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*; patrimonio cultural de la humanidad): fortalecimiento de las actividades comunitarias en Santa María del Tule, Oaxaca, mediante educación ambiental”, a través de los Apoyos Extraordinarios para Realizar Actividades de Investigación 2024.

Referencias citadas

- Binkley, D., & Fisher, R. F. (2019). Organic matter in forest soils. In *Ecology and management of forest soils* (5th ed.). Wiley Blackwell.
- Blicharska, M., & Mikusiński, G. (2014). Incorporating social and cultural significance of large old trees in conservation policy. *Conservation Biology*, 28(6), 1558–1567.
- Chubukov, V., Gerosa, L., Kochanowski, K., & Sauer, U. (2014). Coordination of microbial metabolism. *Nature Reviews Microbiology*, 12, 327–340.
- Dowarah, B., Gill, S., & Agarwala, N. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi in conferring tolerance to biotic stresses in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 1429–1444.
- Ferrari, A., Ravnskov, S., Larsen, J., Tønnersen, T., Maronna, R., & Wall, L. (2015). Crop rotation and seasonal effects on fatty acid profiles of neutral and phospholipids extracted from no-till agricultural soils. *Soil Use and Management*, 31(2), 138–147.
- Graciano, I., Matsumoto, L. S., Demétrio, G. B., & Peixoto, E. M. (2020). Evaluating Pfeiffer chromatography for its validation as an indicator of soil quality. *Journal of Agricultural Studies*, 8(3), 420–446.
- Guo, Y., Zhang, Z., Wen, L., Liu, J., Zhang, K., & Zhang, R. (2011). The relationship between ancient trees health and soil properties. *African Journal of Biotechnology*, 10(83), 17997–18004.
- Kokornaczyk, M. O., Primavera, F., Luneia, R., Baumgartner, S., & Betti, L. (2017). Analysis of soils by means of Pfeiffer’s circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biological Agriculture & Horticulture*, 33(3), 143–157.
- Mao, J., Wang, Q., Yang, Y., Pan, F., Zou, Z., Su, X., Wang, Y., Liu, W., & Tang, Y. (2024). A treasure trove of urban microbial diversity: Community and diversity characteristics of urban ancient *Ginkgo biloba* rhizosphere microorganisms in Shanghai. *Journal of Fungi*, 10(10), 720.
- Municipio de Santa María el Tule. (2008). Plan de desarrollo rural sustentable del municipio de Santa María el Tule, Oaxaca [Sustainable rural development plan for the municipality of Santa María el Tule, Oaxaca].
- Osman, K. T. (2013). *Forest soils: Properties and management*. Springer.
- Pandey, B., & Bennett, M. (2023). Uncovering root compaction response mechanisms: New insights and opportunities. *Journal of Experimental Botany*, 75(3), 578–583.
- Rai, S., Singh, P., Mankotia, S., Swain, J., & Satbhai, S. (2021). Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. *Plant Stress*, 1, 100008.
- Rhoades, C. C. (1996). Single-tree influences on soil properties in agroforestry: Lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*, 35, 71–94.
- Rigal, C., Xu, J., & Vaast, P. (2020). Young shade trees improve soil quality in intensively managed coffee systems recently converted to agroforestry in Yunnan Province, China. *Plant and Soil*, 447, 1–19.

- Sasser, M. (1990). Identification of bacteria by gas chromatography of cellular fatty acids (Technical Note 101). Microbial ID, Inc.
- Sinha, M., Dhillon, S., Dhillon, K., & Dyanand, S. (1978). Solubility relationships of iron, manganese, copper and zinc in alkaline and calcareous soils. *Soil Research*, 16(1), 19–26.
- Tong, T., Chen, X., Hu, G., Wang, X., Liu, G., & Liu, L. (2021). Engineering microbial metabolic energy homeostasis for improved bioproduction. *Biotechnology Advances*, 53, 107841.
- Veum, K. S., Lorenz, T., & Kremer, R. J. (2019). Phospholipid fatty acid profiles of soils under variable handling and storage conditions. *Agronomy Journal*, 111(3), 1090–1096.
- Yan, S. (2023). The role and value of ancient trees in the ecosystem. *International Journal of Molecular Ecology and Conservation*, 13(2), 1–7.
- Zhang, S., Yang, X., Li, D., Li, S., Chen, Z., & Wu, J. (2022). A meta-analysis of understory plant removal impacts on soil properties in forest ecosystems. *Geoderma*, 406, 116116.

Hongos asociados al Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*), árbol emblemático y patrimonio cultural de la humanidad

Alfonso Vásquez-López^{1,*}, Beatriz Quiroz-González¹, Carlos Granados-Echegoyen¹, Baldomero H. Zárate-Nicolás¹

Resumen. El Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*), un sabino o ahuehuete majestuoso y patrimonio cultural de la humanidad ha visto pasar el tiempo durante 2000 años; ha convivido con la tierra, con el agua y con una enorme biodiversidad de microorganismos que son parte de su existencia. De acuerdo con los registros actuales, pocos estudios científicos y pocas intervenciones se le han realizado al árbol en aras de cuidar su salud; entre ellos se reportan algunas podas moderadas, análisis de suelos y agua; sin embargo, no se le han realizado diagnósticos fitosanitarios o de asociación de microorganismos. El presente estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de hongos asociados al Árbol del Tule. Se recolectaron hojas con áreas necróticas, ramas terciarias secas y corteza del tallo. Las muestras biológicas se recolectaron en 2024; se lavaron, se desinfectaron y se sembraron en medio de cultivo PDA con antibióticos. La identificación de los hongos se realizó mediante análisis morfológico considerando sus características culturales y microscópicas. Del tejido foliar se aisló a *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. y *Penicillium* spp.; en las ramas se aisló a *Fusarium* spp. y en la corteza, cerca del suelo, se encontró a *Trichoderma* spp. y hongos parecidos a *Rhizoctonia*. Este es el primer estudio que demuestra la diversidad de hongos asociados al Árbol del Tule; la presencia de estos microorganismos no implica patologías, por lo que se recomienda no intervenir el árbol con productos químicos sintéticos que puedan alterar el equilibrio de las poblaciones de microorganismos que conviven con el árbol. Los estudios de los árboles emblemáticos son escasos debido en parte a que su enorme importancia social y cultural limita la toma de muestras biológicas para su análisis fitosanitario y de otros tipos. **Palabras clave.** Santa María del Tule, Antagonismo, Hongos, Bacterias, Árboles Majestuosos.

Abstract. The Tule Tree (*Taxodium mucronatum*), a majestic Montezuma cypress, known as Sabino or ahuehuete, and cultural heritage of humanity, has stood for over 2,000 years, coexisting with the land, water, and an enormous biodiversity of microorganisms that are part of its existence. According to current records, few scientific studies and limited interventions have been carried out in order to safeguard the tree's health, these include moderate pruning, soil and water analyses. However, no phytosanitary or microorganism association diagnoses have been performed. This study aimed to diagnose the fungal species associated with the Tule Tree. Leaves with necrotic areas, dry tertiary branches, and bark from the trunk were collected. The biological samples were collected in 2024; they were washed, disinfected, and cultured in PDA medium with antibiotics. Fungal identification was carried out through morphological analysis, considering their cultural and microscopic characteristics. From the leaf tissue, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., and *Penicillium* spp. were isolated; from the branches, *Fusarium* spp. was isolated; and from the bark near the soil, *Trichoderma* spp. and fungi similar to *Rhizoctonia* were found. This is the first study demonstrating the diversity of fungi associated with the Tule Tree. The presence of these microorganisms does not imply disease, so the use of synthetic chemical products is not recommended, as they could disrupt the microbial balance of the tree's environment. Studies on emblematic trees are scarce, partly because their immense social and cultural importance limits the collection of biological samples for phytosanitary and other types of analysis. **Keywords:** Santa María del Tule, Antagonism, Fungi, Bacteria, Majestic Trees.

¹Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Unidad Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: avasquez@ipn.mx

1. Introducción

En las culturas de todo el mundo, existen árboles emblemáticos o sagrados que han sido receptáculos de toda clase de simbolismo que forma parte del imaginario colectivo y que en muchos casos se han convertido en motor de la economía local. Los árboles longevos son símbolos estéticos y percibidos como maravillas de la naturaleza (Lindenmayer et al., 2014). En el mundo, existen ejemplares milenarios como el árbol Matusalén (*Pinus longaeva*) de 4,856 años situado en el bosque de pinos de Bristlecone en las Montañas Blancas del estado de California, Estados Unidos (Salzer et al., 2019); el árbol de Alerce (*Fitzroya cupressoides*) de 3,500 años ubicado en el Parque Nacional Alerce Costero, en la Región de Los Ríos, Chile (Conaf, 2020); el Tejo de Fortingall (*Taxus baccata*) en Escocia, siendo el árbol más longevo de Europa con 5000 años de edad (Díaz-González, 2010). En algunas comunidades de México, los árboles son venerados y se han generado diversos rituales en torno a ellos. Algunos de los ejemplares más famosos en la República Mexicana son el “Árbol de la Noche Triste” que se estima alcanzó la edad de 600 años; así como los ahuehuetes mexicas del Bosque de Chapultepec, los del Parque Nacional “El Contador” de Texcoco y el “Árbol Sagrado” de Chalma, estos dos últimos situados en el Estado de México, entre otros (López-Cabello y Mendieta-Ramírez 2024). Sin duda alguna, el árbol más importante por su larga vida y belleza escénica es el sabino o ahuehuete (palabra de origen Náhuatl que significa “viejo del agua”) conocido como el Árbol del Tule (*Taxodium mucronatum*) con una estimación de 2000 años de edad, ubicado en la población de Santa María del Tule, Oaxaca, México.

El Árbol del Tule pertenece a la familia de las Cupresaceas; el diámetro de su tallo es de 14.5 m y se considera como el más grande del mundo; una circunferencia de copa de 58 m y una altura de 42 m; su follaje es perenne y ordenado en espiral, esta especie no produce flores, pero sí unas piñas ovas, este árbol fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 2003. El origen de este ancestro se remonta a mitos teológicos de las culturas mixe y zapoteca, ambos relacionados con deidades masculinas (Lorente-Fernández, 2024). A pesar del valor histórico y cultural del Árbol del Tule, se han realizado pocas investigaciones para entender sus mecanismos fisiológicos. Un estudio realizado por Campos-Ángeles et al. (2005), determinó que la permanencia y salud del espécimen dependen en mayor medida de las condiciones del manto freático que de la precipitación local de su ubicación y que su gran tamaño y longevidad favorecen su recuperación ante el estrés hídrico a comparación de un espécimen más joven establecido en el mismo sitio. En 2011, se reunieron expertos arbolistas y podadores de todo el mundo con la finalidad de evaluar el estado de salud general del árbol mediante el sistema de Evaluación Visual del Arbolado (EVA) derivado del sistema VTA descrito por Claus Mattheck a principios de los años 90.

Durante este estudio se determinó la ausencia de plagas en hojas y brotes tiernos, se hicieron evidentes colonias de hongos xilófagos creciendo en ramas deterioradas por factores como el viento y el agua, pero no se consideraron hongos parásitos o patógenos; se notó la presencia de necrosis en la zona de tensión de ramas laterales siendo estas zonas propensas a dicha condición debido a que se trata de un área de no inversión y de muy bajo crecimiento. Se realizaron también inspecciones de las raíces finas y se hizo evidente la presencia de hongos micorrízicos y el estado general del sistema radicular absorbente presentó buen estado permitiendo la absorción de nutrientes promoviendo la expansión de la copa. El estudio se complementó con una descripción de la estructura mecánica natural de árbol (Asociación Mexicana de Arboricultura, 2013). Hasta el momento, no se han realizados estudios

referentes a diagnósticos fitosanitarios o de microorganismos asociados al Árbol del Tule; por lo que el presente estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de hongos asociados a dicho árbol.

2. Materiales y métodos

Sitio de recolección de muestras biológicas. En diciembre de 2024, se recolectaron muestras de hojas, ramas y corteza del tallo del Árbol del Tule ubicado en Santa María del Tule (17°02'47"N; 96°38'11"O; 1561 msnm) Oaxaca, México.

Material biológico. Mediante un muestreo dirigido, se recolectaron hojas con áreas necróticas, ramas terciarias con secadera y corteza del tallo. Las muestras se guardaron en bolsas de papel, se etiquetaron y se transportaron en una hielera al laboratorio de Fitopatología del CIIDIR-Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional.

Aislamiento de hongos. Las muestras se lavaron con agua de la llave, se secaron sobre toallas de papel estériles. Después, el material biológico se lavó con NaClO (2 %) por tres minutos, se enjuagó tres veces con agua destilada estéril, se secó en toallas de papel estériles y posteriormente se sembró en medio de cultivo sólido PDA (Bioxon®, México) con antibióticos (0.01 g de rifamicina y 0.125 g de ampicilina/1.0 L de agua destilada). Las cajas se incubaron a 25 °C en oscuridad constante durante 4 días. Los hongos desarrollados se purificaron mediante la técnica de cultivo monospórico y después se agruparon bajo el criterio de características culturales (color, velocidad de crecimiento y textura del micelio de la colonia fúngica). Los hongos en cultivo puro se preservaron dentro de tubos de ensayo conteniendo PDA con inclinación de 45° y aceite mineral estéril.

Identificación de hongos. Los hongos se cultivaron en PDA a 25°C en oscuridad durante 7 días. Para cada hongo se registraron sus características culturales (color, velocidad de crecimiento y textura del micelio) y sus características microscópicas (forma y color de conidios y otras estructuras). Los hongos se identificaron siguiendo las claves taxonómicas especializadas para género de Nelson et al. (1983), Barnett & Hunter (1998) y Leslie & Summerell (2006).

3. Resultados y discusión

Hongos aislados. Del tejido foliar se obtuvieron 10 aislados fúngicos; de ellos 4 fueron de *Fusarium*; 3 de *Alternaria* y 3 de *Penicillium*. De las ramas terciarias se aislaron 7 cepas de *Fusarium* y de la corteza se aislaron 12 hongos que pertenecieron a *Trichoderma* y hongos similares a *Rhizoctonia*. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran las cepas representativas aisladas del tejido foliar, ramitas terciarias y corteza, respectivamente.

En este estudio se evidenció por primera vez la biodiversidad de especies fúngicas asociadas al Árbol del Tule. La diversidad de microorganismos en un ecosistema conduce a fenómenos de control biológico que regulan la aparición de enfermedades en plantas; un ambiente rico en hongos, bacterias, virus, etc. favorece la sanidad, nutrición y otros procesos fisiológicos de especies vegetales. Actualmente, el control biológico es un enfoque prometedor en el contexto de la agricultura sustentable (Sarrocco, 2023); la aplicación de esta práctica, en la actualidad, ha dado buenos resultados; sin embargo, el control biológico ha existido desde siempre, ocurre de manera natural en los distintos ecosistemas; empero, el hombre, en gran medida, ha sido responsable de romper el equilibrio de esos ecosistemas con la aplicación de productos químicos sintéticos. Afortunadamente, según los registros locales, el Árbol del Tule no ha sido intervenido con productos sintéticos y su entorno natural se ha

mantenido casi intacto; esta premisa, sin duda, ha generado que el microambiente del Árbol del Tule sea un espacio natural testigo de procesos de control biológico.

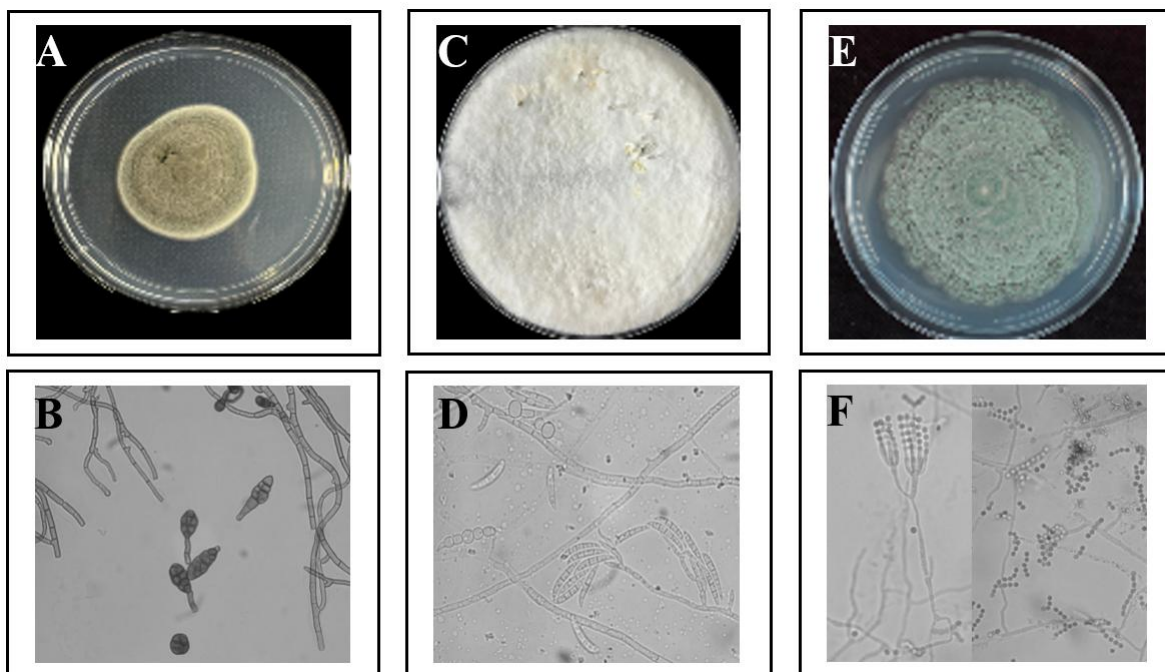


Figura. 1. Características culturales y microscópicas de los hongos aislados de hojas con áreas necróticas del Árbol del Tule. A y B) *Alternaria* sp. C y D) *Fusarium* sp. E y F) *Penicillium* sp.

Por otra parte, se ha documentado ampliamente el potencial antagónico de cepas de *Trichoderma* y *Penicillium* contra varios hongos patógenos, entre ellos *Fusarium* spp. (Mirsam et al., 2022; Petrucci et al., 2025); *Alternaria* sp. (Metz & Hausladen, 2022); *Rhizoctonia* sp. y otros hongos que en un momento dado pudieran presentar actividad parasítica (Das et al., 2019). La gran diversidad de microorganismos (hongos y bacterias, principalmente) exógenos y endófitos con que cuenta el Árbol del Tule han contribuido, sin duda, a su conservación durante muchos años.

Los estudios científicos de diversas disciplinas dirigidos a árboles emblemáticos y catalogados como patrimonio cultural de la humanidad son escasos por varios factores; uno de ellos es que debido a su enorme importancia social y cultural es bastante restringida la recolección de muestras biológicas para diversos análisis. Sin embargo, en la medida de lo posible, es recomendable llevar una bitácora de análisis fitosanitarios, de análisis de agua y suelo, etc. En realidad, son pocos los análisis que se le han realizado al Árbol del Tule; uno de ellos fue realizado por Campos-Ángeles et al. (2005) referente al estrés hídrico al que puede estar sometido el árbol y determinaron que la permanencia y salud del espécimen dependen en mayor medida de las condiciones del manto freático que de la precipitación local de su ubicación y que su gran tamaño y longevidad favorecen su recuperación ante el estrés hídrico a comparación de un espécimen más joven establecido en el mismo sitio. En 2011, expertos arbolistas y podadores de todo el mundo evaluaron el estado de salud general del árbol mediante el sistema de Evaluación Visual del Arbolado (EVA) y concluyeron que el árbol tiene presencia de

hongos xilófagos, pero sin actividad parasítica. En otro estudio se informó la presencia de hongos micorrízicos en raíces finas lo que contribuye a la sanidad del sistema radicular y de la estructura aérea del árbol (Asociación Mexicana de Arboricultura, 2013).

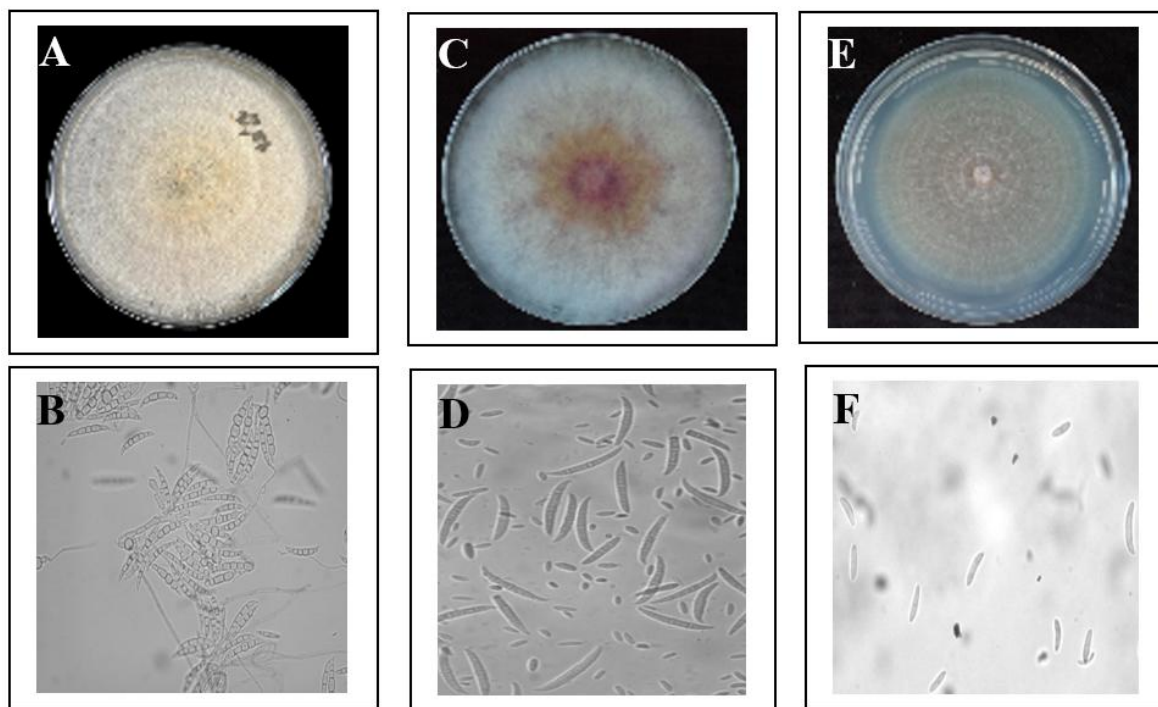


Figura. 2. Características culturales y microscópicas de los hongos aislados de ramitas terciarias secas del Árbol del Tule. Todas las cepas corresponden al género *Fusarium*.

4. Conclusiones

Este estudio muestra por primera vez la biodiversidad de especies fúngicas asociadas al Árbol del Tule; se reporta a *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp., y hongos similares a *Rhizoctonia* sp. Los estudios de los árboles emblemáticos son escasos debido en parte a que su enorme importancia social y cultural limita la toma de muestras biológicas para su análisis fitosanitario y de otros tipos. Se recomienda no intervenir el árbol con productos químicos sintéticos que pueden alterar el equilibrio de las poblaciones de microorganismos..

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo para el desarrollo de este estudio.

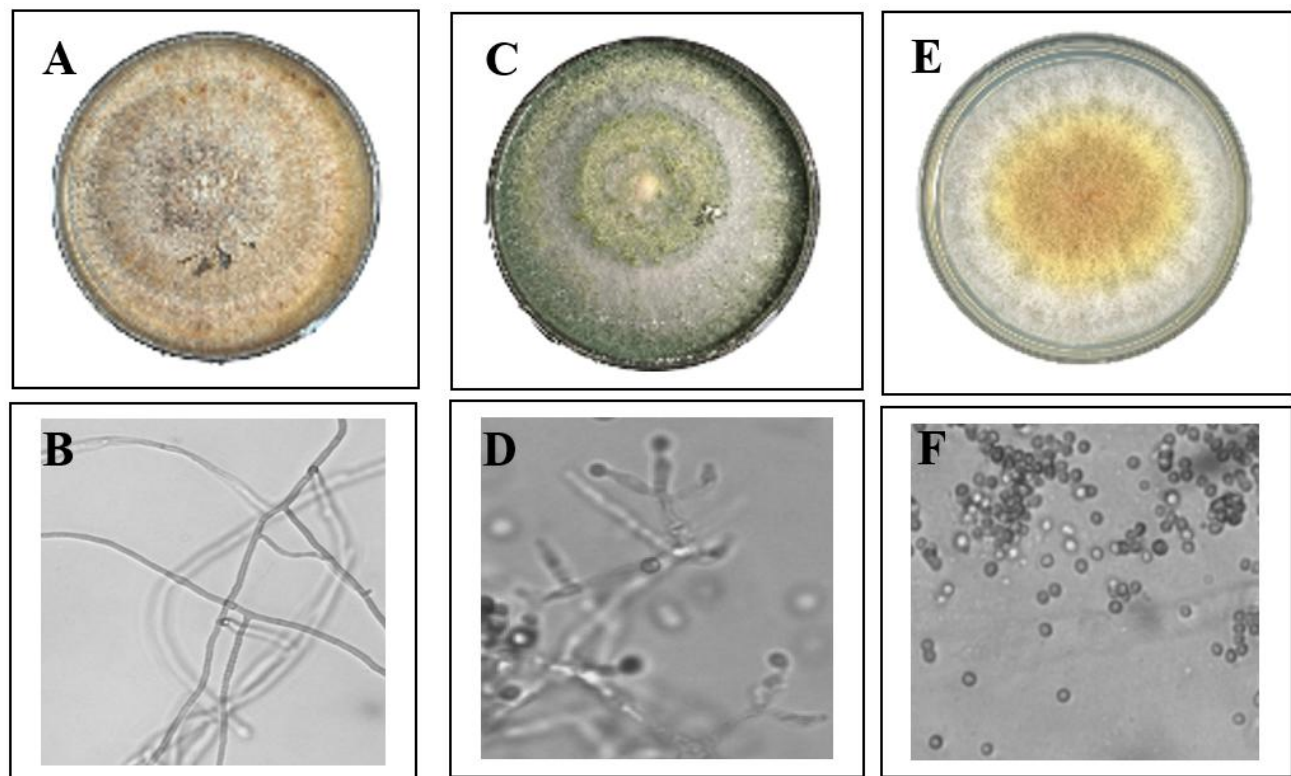


Figura. 3. Características culturales y microscópicas de los hongos aislados de corteza del tallo del Árbol del Tule. A y B) Cepa similar a *Rhizoctonia*, C y D) *Trichoderma* sp. E y F) *Trichoderma* sp.

Referencias citadas

- Asociación Mexicana de Arboricultura. (2013). Informe del estado general del Árbol del Tule. Revista ArbolAMA, 4 (1), 7–19.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. American Phytopathological Society Press (St. Paul, Minnesota, USA).
- Campos-Angeles, G. V., Vargas-Hernández, J., Trejo-López, C., López-Upton, J., y Velázquez-Mendoza, J. (2005). Variación estacional del potencial hídrico, tasa de fotosíntesis y conductancia estomática en el árbol del tule. Terra Latinoamericana, 23 (4), 515-522.
- Corporación Nacional Forestal-CONAF. (2020). Parque Nacional Alerce Costero: El hogar de sorprendentes habitantes de Chile. Revista Chilena de Infectología 2020; 37 (6): 767-768.
- Das, M. M., Haridas, M., & Sabu, A. (2019). Biological control of black pepper and ginger pathogens, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici*, using *Trichoderma* spp. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 17, 177-183.
- Díaz-González, T. E. (2010). Tejos y tejadas: un patrimonio natural y cultural que debemos conservar y proteger. Revista del Grupo de Montaña Peña Santa, (6), 72-82.
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual., Iowa, Estados Unidos. Blackwell Publishing. 388 p.

- Lindenmayer, D.B., Laurance, W.F., Franklin, J.F., Likens, G.E., Banks, S.C., Blanchard, W., Gibbons, P., Ikin, K., Blair, D., McBurney, L., Manning, A.D. & Stein, J.A.R. (2014). New Policies for Old Trees: Averting a Global Crisis in a Keystone Ecological Structure. *Conservation Letters*, 7: 61-69.
- López-Cabello, M., y Mendieta-Ramírez, A. (2024). Árboles sagrados de Cuauhtémoc, Ciudad De México. Entre el olvido y la disputa por el poder. *Tlalli, Revista de Investigación en Geografía*, (11); 118-150.
- Lorente-Fernández, D. (2024). Etnografía de un árbol milenario. El ahuehuete de Santa María del Tule, Oaxaca. *Revista de Folklore*, (506) 90-99.
- Metz, N., & Hausladen, H. (2022). *Trichoderma* spp. As potential biological control agent against *Alternaria solani* in potato. *Biological Control*, 166, 104820.
- Mirsam, H., Suriani., Aqil, M., Azrai, M., Efendi, R., Muliadi, A., Sembiring, H., & Azis, A. I. (2022). Molecular characterization of indigenous microbes and its potential as a biological control agent of *Fusarium* stem rot disease (*Fusarium verticillioides*) on maize, *Heliyon*, 8 (12), e11960.
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A. & Marasas, W.F.O. (1983). *Fusarium Species. An Illustrated Manual for Identification*. The Pennsylvania State University. 266 p.
- Petrucci, A., Cesarini, M., Vicente, I., Merani, L., Jensen, B., Collinge, D. B., & Sarrocco, S. (2025). Exploring the synergistic potential of *Trichoderma gamsii* T6085 and *Clonostachys rosea* IK726 for biological control of *Fusarium* head blight in wheat. *Microbiological Research*, 296, 128152.
- Salzer, M. W., Pearson, C. L., & Baisan, C. H. (2019). Dating the Methuselah walk bristlecone pine floating chronologies. *Tree-Ring Research* 75(1), 61-66.
- Sarrocco, S. (2023). Biological disease control by beneficial (micro) organisms: Selected breakthroughs in the past 50 years. *Phytopathology* 113 (4), 732–740.





ISSN 2954-4092