

Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México Volumen I

Ignacio Orona Castillo
Ernesto González Gaona
Roberto Sánchez Lucio
Alain Buendía García
Compiladores



Pantanal Editora

2026

Ignacio Orona Castillo
Ernesto González Gaona
Roberto Sánchez Lucio
Alain Buendía García
Compiladores

**Tópicos de investigación agropecuaria con
enfoque sustentable en México**
Volumen I



Pantanal Editora

2026

Copyright© Pantanal Editora

Editor Jefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Ejecutivos: Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diseño: El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Autor(es), organizador(es) y editor.

Consejo editorial

Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Institución

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Consejo Científico Técnico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

Catalogación en la publicación
Elaborado por la Bibliotecaria Janaina Ramos – CRB-8/9166

T674

Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México - Volumen I / Organización Ignacio Orona Castillo, Ernesto González Gaona, Roberto Sánchez Lucio, et al. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2026.
181p. ; il.

Otro organizador: Alain Buendía Garcia.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-74-7

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756747>

1. Agricultura orgânica. 2. Sustentabilidade. 3. Produção alimentaria. I. Castillo, Ignacio Orona (Organización). II. Gaona, Ernesto González (Organización). III. Lucio, Roberto Sanchez (Organización). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Agricultura orgânica



Nuestros libros electrónicos son gratuitos y se permite el acceso público, la descarga y el intercambio, pero solicitamos que se dé el debido crédito a Pantanal Editora y también a los organizadores y autores. Sin embargo, no se permite el uso de libros electrónicos con fines comerciales, salvo autorización expresa de los autores y acuerdo de Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Presentación

El contenido de ésta obra, titulada: Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México en su primer Volumen, presenta algunas estrategias de manejo sustentable para la producción de alimentos en México, producto de resultados de investigación de un grupo de investigadores-especialistas en la temática, que pertenecen a prestigiadas instituciones de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto Tecnológico de Torreón, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Durango y la Universidad Politécnica Región Laguna cuya contribución busca ofrecer un mejor futuro, mediante el análisis de técnicas de cultivo que conservan los recursos del medio ambiente, con un enfoque de producción sostenible y de impacto positivo en la economía y en la sociedad.

La agricultura orgánica es una forma de obtener alimentos libres de residuos como fertilizantes y plaguicidas en general. Busca la sustentabilidad mediante el manejo integral del agua y del suelo, considerando su permanencia para garantizar alimentos sanos y abundantes a una sociedad en constante crecimiento.

El objetivo es ofrecer alternativas y experiencias para mejorar la calidad y cantidad de alimentos en beneficio de la población y ello se refleje en mejores ingresos y bienestar del productor.

Los compiladores

Índice

Presentación	4
Introducción	6
Capítulo 1	7
Evaluación de Soluciones Nutritivas en el Desarrollo y la Producción de Forraje Verde Hidropónico	7
Capítulo 2	18
Rendimiento y Calidad Fitoquímica de Frutos de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Por Efecto del Estiércol Solarizado y la Inoculación con <i>Azospirillum brasilense</i>	18
Capítulo 3	40
La producción de café por productores del Grupo Terruño Nayarita en México	40
Capítulo 4	55
Perfil Fitoquímico en Chiles Tratados con Fertilización orgánica	55
Capítulo 5	68
Dinámica de Nitratos en la Producción de Lechuga en Acuaponía	68
Capítulo 6	81
Orégano mexicano, propagación y sus propiedades fitoquímicas: una revisión	81
Capítulo 7	94
Efectos de la Fertilización Orgánica e Inorgánica en el cultivo de Chile Jalapeño <i>Capsicum annuum</i> L. var. Autlan en las Características Físico-Químico-Biológicas del Suelo	94
Capítulo 8	116
Biofertilizantes como Alternativa de Producción en dos Genotipos de Maíz Forrajero	116
Capítulo 9	131
Respuesta del cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) a sustratos orgánicos formulados con diferentes proporciones de Vermicompost: Arena	131
Capítulo 10	145
Uso de Enmiendas Orgánicas en la Agricultura: Una Revisión Sistemática Sobre sus Efectos en el Crecimiento, Rendimiento y Calidad de los Cultivos	145
Capítulo 11	171
Aprovechamiento de Candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.) para la Formulación de un Tratamiento Dermatológico	171
Índice	180
Los organizadores	181

INTRODUCCIÓN



El cultivo de la tierra surge como una necesidad para la permanencia del hombre en la tierra; la recolección de plantas y frutos la antecedió una vez que el *Homo sapiens* se hizo sedentario. Sin embargo; a través de los siglos, la combinación de recursos utilizados en la producción de alimentos agropecuarios ha ido cambiando, motivado por el crecimiento demográfico como por el uso de insumos de origen químico en la agricultura.

Los sistemas de riego han dado respuesta al mejor aprovechamiento del recurso ante la cada vez mayor escasez en cantidad y calidad del agua, y nuevos tipos de agricultura protegida e intensiva han prosperado a fin de satisfacer la demanda de insumos a la industria agroalimentaria que abastece el consumo alimenticio de una población en constante crecimiento, surgiendo así el uso de semillas transgénicas resistentes a sequía, plagas y enfermedades.

Como una respuesta a la producción de alimentos libres de residuos tóxicos y en armonía con la naturaleza surge la agricultura orgánica, que busca proteger el medio ambiente y la salud humana, por lo cual, el propósito de este libro, es mostrar avances de investigación logrados en distintos temas como son: el uso de estiércoles y vermicompostas, uso de bacterias promotoras de crecimiento, biofertilizantes, control biológico de plagas y sustratos en los cultivos de tomate, café, algodónero, chile jalapeño, maíz forrajero, nogal pecanero, y la producción de café.

CAPÍTULO 1



Evaluación de Soluciones Nutritivas en el Desarrollo y la Producción de Forraje Verde Hidropónico

Evaluation of Nutrient Solutions in the Development and Production of Hydroponic Green Fodder

Recibida em: 07/11/25

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap1

Suzette Rodríguez-Pardo¹ 

Zulema Rodríguez-Pardo¹ 

Magdalena Galindo-Guzmán¹ 

Juan Luis Ríos-Plaza¹ 

David Antonio Zúñiga-Gracia^{1,2} 

Alfredo Daniel Rivera-Zamarripa^{1‡} 



¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna, Calle Sin Nombre Sin Número Ejido Santa Teresa Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México C.P. 27942.

² Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo Km. 32. Venecia, Gómez Palacio, Durango. México. C.P. 35111.

‡ Autor para correspondencia: riverazamarripa.a.d@gmail.com

RESUMEN

El forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa para la producción de alimento vegetal bajo sistemas de manejo intensivo y uso eficiente de recursos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del tipo de fertilización y del tiempo de evaluación sobre el crecimiento y rendimiento del FVH de maíz. El experimento se estableció bajo un diseño factorial 3×5 , con tres tipos de fertilización (testigo absoluto, orgánica y comercial) y cinco tiempos de evaluación, analizando variables relacionadas con el desarrollo radicular, crecimiento del tallo, peso fresco y contenido de materia seca. Los datos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados indicaron diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación, destacando la fertilización orgánica por su mayor peso fresco total y la fertilización comercial por su mayor contenido de materia seca. En conjunto, los resultados confirman la influencia del manejo nutricional y del momento de cosecha en la productividad del FVH de maíz.

Palabras clave: Fertilización orgánica, forrajes alternativos, maíz.

SUMMARY

Hydroponic green fodder (HGF) represents an alternative for plant feed production under intensive management systems with efficient resource use. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization type and evaluation time on the growth and yield of maize HGF. The experiment was conducted under a 3×5 factorial design, including three fertilization treatments (absolute control, organic fertilization, and commercial fertilization) and five evaluation times. Variables related to root development, stem growth, fresh weight, and dry matter content were analyzed. Data were subjected to analysis of variance and mean comparison using Tukey's test ($p < 0.05$). The results showed significant differences among fertilization treatments and evaluation times, highlighting organic fertilization for higher total fresh weight and commercial fertilization for higher dry matter content. Overall, the findings confirm the influence of nutrient management and harvest timing on the productivity of maize hydroponic green fodder.

Index Words: organic fertilization, alternative forages, corn.

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera es una de las más importantes a nivel global y en México para la producción de leche, carne y derivados, durante 2021 la leche ocupó el 5to puesto en producción mundial con un total de 757 millones de ton de leche de ganado bovino (FAO, 2021), de los cuales México produjo 12.8 millones de ton, con un valor de \$ 90.8 mil millones de pesos mexicanos (SIAP, 2021). La Región Laguna (Coahuila-Durango) es una de las mayores productoras de leche a nivel nacional, con 1.46 y 1.41 millones de ton de leche en Coahuila y Durango respectivamente, siendo superados solo por Jalisco con un total de 2.69 millones de toneladas (SIAP, 2021).

Esta actividad se ve afectada por el actual problema del cambio climático, las altas temperaturas afectan directamente a los sistemas de producción de forrajes y generar un impacto directo en el desempeño productivo del ganado bovino, también la escasez de forrajes durante la temporada de sequía aumenta los costos de producción al tener que comprar este insumo a un mayor precio (Cuevas-Reyes et al., 2022).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa para la producción de alimento que considera menor uso y mayor aprovechamiento del agua, altos rendimientos en menor espacio, calidad nutricional y menor impacto sobre el medio ambiente (López-Aguilar et al., 2009).

La producción de FVH se puede desarrollar en sectores donde existe escases de agua, donde el suelo se encuentre muy deteriorado y sobre todo donde se desarrolle el sector pecuario, pues es una producción a bajo costo. Adicionalmente existe un buen número de investigaciones donde se avala el uso de fertilizantes químicos como te de compost, lixiviado de humus de lombriz, estiércol de conejo entre otros reduciendo considerablemente los costos de producción y manteniendo un sistema de producción más sustentable (Valverde et al., 2017). Por lo antes señalado, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el desarrollo y el rendimiento en la producción de FVH bajo tres sistemas de fertilización (testigo absoluto, fertilización orgánica y fertilización comercial) en condiciones de invernadero en la Región Laguna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La presente investigación se realizó durante los meses de febrero y marzo del 2024 en el laboratorio de suelos y el invernadero del campo experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna (UPRL) ubicada en la localidad de Santa Teresa perteneciente al municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.

Densidad de siembra

Se utilizaron semillas de maíz blanco comercial (*Zea mays* L. 1753) de buena calidad física y se eliminaron manualmente las semillas quebradas o con daños físicos, posteriormente se pesó el equivalente a 1500 gr de semilla para cada muestra.

Lavado y desinfección de la semilla

El día 26 de febrero dentro del laboratorio de suelos de la UPRL se realizaron 3 lavados de cada una de las muestras en botes plásticos de 20L con agua limpia para retirar las impurezas y posteriormente se dejó en remojo durante 15 minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 10% para desinfectar la semilla. Después, se realizó un lavado más para eliminar los restos de hipoclorito de sodio y se le agregó agua limpia para dejar el grano en remojo durante 24hrs.

Siembra en bandejas

Pasadas las 24 horas de remojo se extendió de forma uniforme cada una de las muestras en charolas de polipropileno rígido con dren de ceja larga (59.5x36.5x4.5 cm), y se colocaron dentro en bolsas plásticas negras de forma individual para mantener la humedad y estimular la germinación. Se realizaron monitoreos de forma diaria hasta que el sistema radicular se encontrara entre los 2 y los 3.5 cm de longitud (Figura 1). Posteriormente se trasladaron las charolas al invernadero de la UPRL y se colocaron en anaqueles para FVH con un sistema de riego por aspersión programado para realizar 3 aspersiones diarias de 10 minutos durante un periodo de 15 días.

Fertilización

Se realizaron 4 fertilizaciones después de colocar las bandejas en el invernadero, los días corresponden al 01, 05, 08 y 12 de marzo. Para la fertilización orgánica se utilizó lixiviado de humus de lombriz enriquecido con algas marinas y guano de murciélago marca Liximbriz en una disolución del 10% en 1L de agua. En el caso de la fertilización comercial se utilizó una solución nutritiva marca Steiner al 1% en 1 L de agua siguiendo las indicaciones del producto (Figura 1).

Longitud de tallo y raíz de FVH

Se midió de la longitud del tallo y la raíz más larga mediante un vernier digital, tomando 15 plantas por bandeja con apariencia homogénea distribuidas en 5 puntos representativos de cada bandeja (muestreo 5 de oros) durante el periodo de 1, 3, 5, 10 y 15 días después de la primera fertilización. Estos datos se anotaron en la bitácora de campo para posteriormente pasarla a una hoja de cálculo en Excel (Figura 1).

Rendimiento de FVH

Al transcurrir los 15 días de desarrollo se pesó el FVH en una balanza gravimétrica sacando de la bandeja todo el follaje junto con el sistema radicular completo y el grano y se anotó el peso final. Adicionalmente se tomaron 100 plantas al azar distribuidas en 5 puntos representativos de cada bandeja (muestreo 5 de oros) por tratamiento, y se pesó individualmente el tallo, el grano y el follaje y para su peso en fresco. Posterior a ello se colocaron las muestras de raíz, tallo y grano en un horno de secado a 60°C durante 24 horas y se registró su peso seco (Figura 1).



Figura 1. Metodología para la producción de FVH y toma de variables: (a) Longitud del sistema radicular entre 2 y 3.5 cm; (b) Fertilización con lixiviado de humus de lombriz; (c) Toma de muestras para medir longitud de raíz del FVH; (d) 100 muestras tomadas de cada tratamiento para determinación de peso fresco y seco de raíz, tallo y grano.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño factorial 3×5 , donde el primer factor correspondió al tipo de fertilización con tres niveles: T1 = testigo absoluto, T2 = fertilización orgánica y T3 = fertilización comercial; y el segundo factor correspondió al tiempo de evaluación, con cinco niveles (1, 3, 5, 10 y 15 días después de la primera fertilización). Cada tratamiento contó con dos repeticiones, considerando cada bandeja como unidad experimental.

Las variables evaluadas fueron la longitud de raíz y la longitud de tallo del forraje verde hidropónico de maíz, medidas en cada fecha de muestreo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) factorial, con el fin de evaluar los efectos principales de los factores fertilización

y tiempo, así como su posible interacción. Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete estadístico PASW Statistics versión 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables de longitud de tallo y longitud de raíz presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1). La mayor longitud de raíz registrada fue de 80.67 mm (T2) a los 15 días después de la primera fertilización, seguida por 80.20 mm (T1) a 10 días y finalmente 54.34 (T3) a 15 días (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA factorial) para la longitud de raíz y longitud de tallo del forraje verde hidropónico de maíz.

Fuente de variación	GL	Longitud de raíz ($P > F$)	Longitud de tallo ($P > F$)
Fertilización	2	0	0.001
Tiempo	4	0	0
Fertilización $\times$ Tiempo	8	0	0.001
Error	—	—	—
Total	—	—	—

Nota: Fertilización (T1 = testigo absoluto, T2 = fertilización orgánica, T3 = fertilización comercial); Tiempo (1, 3, 5, 10 y 15 días después de la primera fertilización). Valores de $P \leq 0.05$ indican diferencias estadísticamente significativas.

Para la variable de longitud de tallo el mayor registro fue de 67.19 mm (T3) a los 15 días después de la primera fertilización, seguida por 65.88 mm (T1) a 15 días y finalmente 60.71 mm (T2) a 15 días (Tabla 2).

Tabla 2. Desarrollo radicular y de tallo de FVH a base de maíz bajo tres tipos de fertilización (mm).

Tratamiento	Día	Longitud de raíz (mm)	Longitud de tallo (mm)
T1	1	28.93 ^b	14.82 ^c
T1	3	51.94 ^{ab}	33.17 ^b
T1	5	57.03 ^{ab}	41.53 ^b
T1	10	80.20 ^a	61.30 ^a
T1	15	58.75 ^{ab}	65.88 ^a
T2	1	32.18 ^b	6.37 ^c
T2	3	44.33 ^b	14.02 ^c
T2	5	66.08 ^a	21.24 ^c
T2	10	78.30 ^a	38.97 ^b
T2	15	80.67 ^a	60.71 ^a

Tratamiento	Día	Longitud de raíz (mm)	Longitud de tallo (mm)
T3	1	25.46 ^b	12.75 ^c
T3	3	41.96 ^b	26.17 ^b
T3	5	49.69 ^b	38.16 ^b
T3	10	44.37 ^b	41.03 ^b
T3	15	54.34 ^b	67.19 ^a

Nota: Valores con letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). T1 = Testigo absoluto; T2 = Fertilización orgánica; T3 = Fertilización comercial.

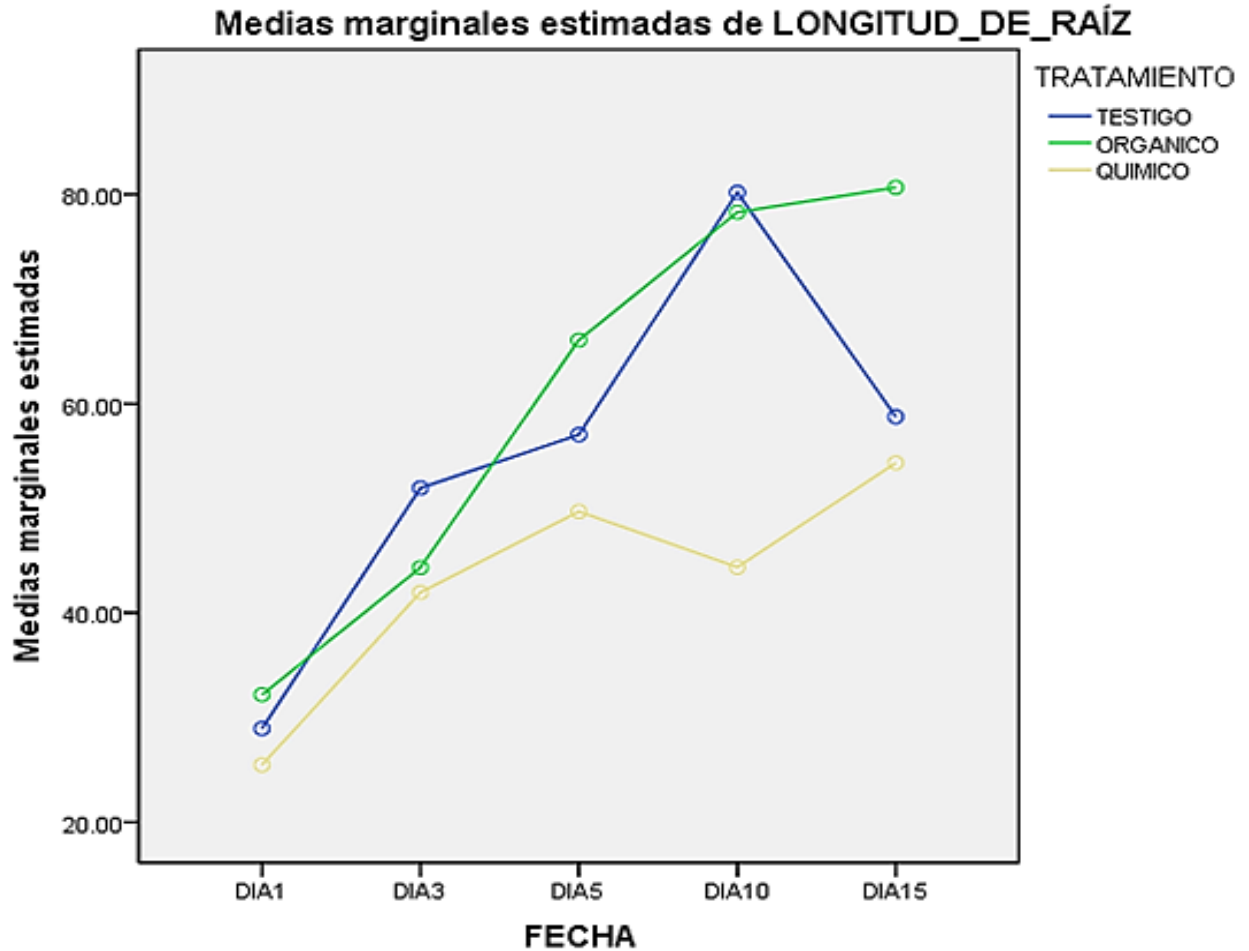


Figura 2. Distribución de las medias de longitud de raíz en mm para el FVH.

Los datos de longitud de raíz son cercanos a los descritos por Andino-Viteri et al. (2023), bajo un tratamiento de biol al 30% obtuvieron raíces con una longitud de 12.57 cm, el tratamiento más cercano fue T2 con una longitud de 8.06 cm (Figura 2). Andino-Viteri *et al.* (2023) demostraron que a mayor cantidad de fertilizantes disueltos sobre todo ricos en N, se aumenta la longitud de raíz, de tallo y el rendimiento. Para complementar la presente investigación se pretende evaluar diferentes dosis de fertilizantes además de diferentes tipos, con el fin aumentar el desarrollo vegetal y diferenciar con más claridad la longitud de raíz.

Los resultados de longitud de tallo obtenidos fueron inferiores a los reportados por Andino-Viteri et al. (2023) quienes con una fertilización de biol al 30% lograron una altura de 18.53 cm, en la presente investigación el mayor desarrollo de tallo fue durante el periodo de 15 días con 6.71 cm correspondiente a la fertilización química al 1% (Figura 3).

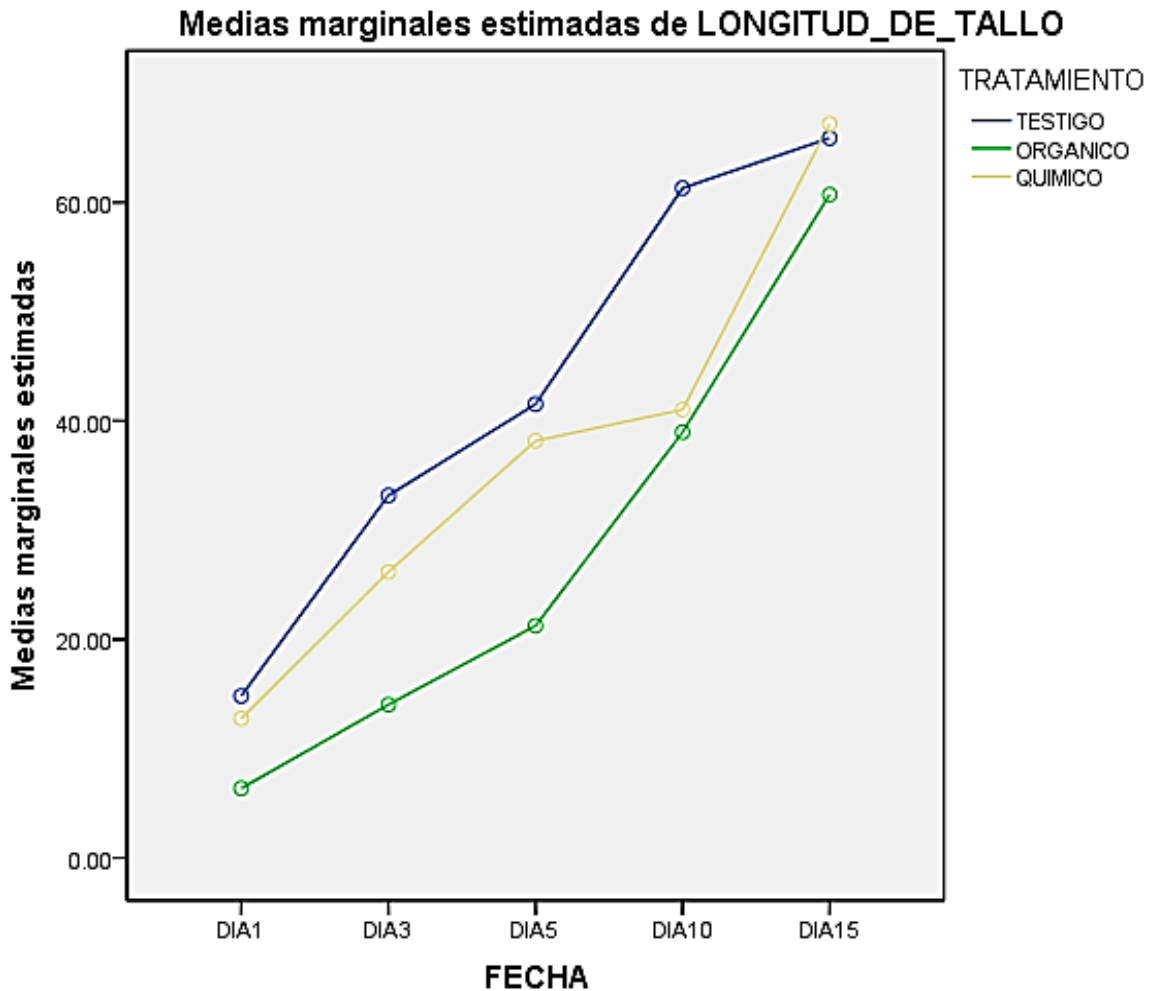


Figura 3. Distribución de las medias de longitud de tallo en mm para el FVH.

El tratamiento T2 presentó el mayor valor de peso fresco total del forraje verde hidropónico, con un promedio de 6678 g, seguido por el tratamiento T3, que registró 5955 g, mientras que el tratamiento T1 mostró el menor valor, con 5116.5 g. De manera general, los tratamientos sometidos a fertilización orgánica y química exhibieron un desarrollo vegetal y radicular más homogéneo, lo cual se reflejó en un aspecto visual más uniforme en comparación con el tratamiento testigo, como se aprecia en la Figura 4.



(a)

(b)

Figura 4. Aspecto general del FVH: (a) sistema radicular de bandeja con tratamiento orgánico; (b) bandejas de FVH en desarrollo sobre anaquel con sistema de riego por aspersión.

Salas-Pérez et al. (2010) obtuvieron producciones de 26.41 kg de forraje en solución nutritiva y de 27.22 kg con te de compost bajo un régimen de fertilización diario y fertilizando dos veces al día. Esto indica que a mayor disposición de nutrientes principalmente N, mayor es el rendimiento en peso y materia seca.

Adicionalmente, a partir de la evaluación de 100 plantas se observó que el tratamiento T2 presentó el mayor peso seco de raíz, mientras que el mayor peso seco de tallo se registró en el tratamiento T1, con un valor de 2.57 g. Por su parte, el mayor peso de grano correspondió al tratamiento T3. En cuanto al contenido de materia seca, los valores promedio estimados fueron de 76.44 % para T3, 71.98 % para T2 y 69 % para T1.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Andino-Viteri *et al.* (2023), quienes documentaron porcentajes de materia seca en forraje verde hidropónico que oscilaron entre 75.6 % y 81.43 %, en función del manejo nutricional y del tiempo de desarrollo del cultivo (Tabla 3). En general, el incremento en el contenido de materia seca puede asociarse al avance del desarrollo fisiológico del cultivo, el cual se refleja en una mayor acumulación de biomasa estructural conforme transcurre el periodo de crecimiento.

Tabla 3. Rendimiento del FVH a base de maíz bajo tres tipos de fertilización (gr).

Trat.	Peso fresco			Peso seco			Peso total
	Raíz	Tallo	Grano	Raíz	Tallo	Grano	
T1	8.39	17.03	21.03	1.44 (17.16%)	2.57 (15.09%)	7.73 (36.75%)	5116.50
T2	13.80	13.53	20.48	2.09 (15.14%)	2.48 (18.32%)	7.89 (38.52%)	6678.00
T3	8.23	13.52	20.42	1.53 (18.59%)	2.40 (17.75%)	8.19 (40.10%)	5955.00

Nota: Los valores corresponden al peso fresco (g) y peso seco (g) de raíz, tallo y grano. Los valores entre paréntesis indican el porcentaje de materia seca (%) respecto al peso fresco de cada componente. El peso total corresponde al peso fresco total por tratamiento. T1= Testigo absoluto, T2= Fertilización orgánica, T3= Fertilización comercial

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el tipo de fertilización y el tiempo de evaluación influyeron en el desarrollo y rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz, observándose respuestas diferenciadas entre tratamientos a lo largo del periodo experimental. En términos generales, la fertilización orgánica (T2) presentó el mayor peso fresco total, mientras que la fertilización comercial (T3) mostró los valores más altos de materia seca, evidenciando la importancia del manejo nutricional en la acumulación de biomasa. La interacción entre ambos factores resalta la necesidad de considerar el momento de cosecha y el tipo de fertilización de manera conjunta para optimizar la producción de forraje verde hidropónico, lo que posiciona a este sistema como una alternativa viable y eficiente para la producción de alimento vegetal bajo esquemas de manejo sustentable.

LITERATURA CITADA

- Andino-Viteri, L. H., Chuquin-Chalaca, M. F., & González-Buitrón, K. T. (2023). Efecto del uso de tres dosis de biol en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en la Granja Experimental Mishilí. *Reincisol*, 2(4), 146-160. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V2\(4\)146-160](https://doi.org/10.59282/reincisol.V2(4)146-160).
- Cuevas-Reyes, V., Loaiza-Meza, A., Reyes-Jiménez, J. E., Gutiérrez-Gutiérrez, O. G. & Sánchez-Toledano, B. I. (2022). Problemática de ganadería y producción de forraje en el sur de Sinaloa bajo un contexto de cambio climático. XXXIV Semana Internacional de Agronomía, 1161-1166.
- FAO (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (consultado 21 febrero 2024).
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., & Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121-126.
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., & Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360.

- SIAP (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap> (consultado 21 febrero 2024).
- Valverde, Y. A., Mera, A., Castro, C., & Gabriel-Ortega, J. (2017). Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) utilizando fertilizantes químicos y orgánicos. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 144-151.



Rendimiento y Calidad Fitoquímica de Frutos de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Por Efecto del Estiércol Solarizado y la Inoculación con *Azospirillum brasilense*

Yield and Phytochemical Quality of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.) due to the Effect of Solarized Manure and Inoculation with *Azospirillum brasilense*

Recibida em: 07/11/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap2

Alfonso Andrade-Sifuentes³ 

Jorge Sáenz-Mata⁴ 

Manuel Fortis-Hernández¹ 

Pablo Preciado-Rangel¹ 

Edgar Omar Rueda-Puente^{5‡} 



³ Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico de Torreón (TECNM-ITT), Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila C.P. 27170, Mexico; ing.andrade_85@hotmail.com; ppreciador@yahoo.com.mx; Joorvi66@hotmail.com

⁴ Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad SN, CP 35010 Fracc. Filadelfia Gómez Palacio, Dgo., México. jsaenz_mata@ujed.mx.

⁵ Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Boulevard Luis Encinas y Rosales s/n, Colonia Centro, Hermosillo, Sonora C.P. 83000, Mexico.

‡ Autor para correspondencia: erueda04@santana.uson.mx

RESUMEN

El tomate es un cultivo vegetal con interés probiótico. Actualmente sujeta a una emergencia de bioseguridad global debido a la epidemia causada por COVID-19, la humanidad busca mantener su salud y fortalecerse comiendo vegetales que tienen propiedades probióticas. Considerando la solicitud de los productores de tomate de la Comarca Lagunera (CL), el objetivo de este trabajo consistió en determinar el impacto de la bioinoculación con *Azospirillum brasilense* (Ab) y estiércol solarizado (ES) en el rendimiento y calidad fitoquímica de frutos de tomate producidos en malla de sombra. Se inocularon semillas de la variedad Saladette TOP 2299 con Ab a 1×10^8 CFU. mL. Antes de los 46 días después de la siembra, las plántulas se trasplantaron en suelo enriquecido con estiércol solarizado a razón de 0, 40, 80, 120 y 160 t ha⁻¹. También se adoptó un tratamiento de fertilización química (FQ) (366-95-635). Se consideraron variables de emergencia, crecimiento, longitud radicular, rendimiento y organolépticos (Vit C, fenoles, flavonoides y licopeno). Los resultados muestran que la biofertilización basada en Ab + 40 ton de estiércol solarizado puede ser una alternativa para producir tomate en condiciones de sombra en la CL en comparación con los tratamientos no inoculados y con fertilización química (FQ).

Palabras clave: Zonas áridas; Sustentabilidad; Microorganismos benéficos.

SUMMARY

Tomato is a plant crop with probiotic interest. Currently subject to a global biosecurity emergency due to the epidemic caused by COVID-19, humanity seeks to maintain its health and strengthen itself by eating vegetables that have probiotic properties. Considering the request of tomato producers from the Comarca Lagunera (CL), the objective of this work was to determine the impact of bio inoculation with *Azospirillum brasilense* (Ab) and solarized manure (ES) on the yield and phytochemical quality of fruits of tomato produced in shade net. Seeds of the saladette variety TOP 2299 were inoculated with Ab at 1×10^8 CFU. mL Before 46 days after sowing, the seedlings were transplanted into soil enriched with solarized manure at a rate of 0, 40, 80, 120 and 160 t ha⁻¹; A chemical fertilization (FQ) treatment was also adopted (366-95-635). Variables of emergence, growth, root length, yield and organoleptics (Vit C, phenols, flavonoids and lycopene). The results show that biofertilization based on Ab + 40 tons of solarized manure can be an alternative to produce tomato under shade conditions in the CL compared to non-inoculated and chemical fertilization (FQ) treatments.

Index words: arid areas; sustainability; beneficial microorganisms.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, debido a la amplia versatilidad de su uso (fresco y procesado) y a su alto valor nutracéutico (Yong et al., 2023). El tomate se considera un alimento funcional que es rico en fibra y contiene una amplia variedad de compuestos bioactivos que son benéficos para la salud humana (Wakchaure et al., 2020). La Comarca Lagunera (CL) está formada por los estados (Coahuila y Durango). Es un área reconocida en la producción de hortalizas, donde el tomate es de suma importancia (SAGARPA, 2019). Los problemas que enfrenta esta región son la salinidad, las altas temperaturas y la baja disponibilidad de recursos hídricos. Este último factor se debe a que la cuenca lechera más grande de América Latina se encuentra en la región CL (490,876 cabezas de ganado lechero), lo que afecta el agotamiento de los acuíferos (Acevedo-Peralta Garcia et al., 2017). La extracción continua de este recurso hidrológico ha propiciado que se obtenga la disponibilidad de agua para riego agrícola a profundidades de 600 ± 300 m. Actualmente, esta extracción de agua está incidiendo en la concentración de sales en el agua extraída, que alcanza de 8 a 12 g/L de agua en algunas zonas, mientras que en otras dentro del mismos valores de experiencia de CL de 1732 y 3386 $\mu\text{S.cm}$. Asimismo, la sodificación expresada en el índice de absorción de sodio (SAI) se tipifica como un promedio con un valor de 3.66 meq/L. La dureza del agua varía de dura a muy dura, con promedios de 50.47 y 114.00 ° F, respectivamente (Cervantes-Vázquez et al., 2021).

La superficie destinada a tomate en CL fue de 1199,06 ha en 2019 (SIAP, 2019). Su alta productividad depende de la agricultura convencional con el uso de altas cantidades de fertilizantes químicos. Sin embargo, esta acción ha agravado el problema de la salinización en la región. Actualmente, los agricultores agrícolas demandan sistemas de producción sostenibles en los que se reduzca al máximo el uso de fertilización química y se hayan dedicado al uso de agro insumos orgánicos; además, dado que el CL es un generador de grandes cantidades de estiércol, producto del ganado lechero, el sector agrícola busca utilizarlo como biofertilizante (Galindo et al., 2019). Derivado de lo anterior, existe evidencia de que el uso de fertilizantes orgánicos como el estiércol de bovino solarizado aumenta la calidad de los frutos de las hortalizas (Ali et al., 2019; Amir et al., 2011). Puede aportar materia orgánica y nutrientes, mejorar las características físicas y químicas (estructura, retención de humedad y fertilidad) del suelo, aumentar la población microbiana presente en el suelo y se ha demostrado que reduce algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos del suelo (Vázquez et al., 2011; López et al., 2014). Por otro lado, con los biofertilizantes a base de *Azospirillum* spp., Los rendimientos de los cultivos aumentan porque estimulan el crecimiento de las raíces y, por tanto, aumentan la absorción de nutrientes del suelo y contribuyen así a una menor pérdida de nitrógeno (Raffi et al., 2020), además del aumento del contenido de fenoles y flavonoides en las frutas porque afectan el metabolismo del azúcar y la concentración de vitaminas C y B9 (Bona et al., 2016).

Faltan estudios relacionados con la inoculación con estiércol en cultivo de tomate en las condiciones de una casa de sombra en la CL. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en determinar el impacto de la bioinoculación con *Azospirillum brasilense* y estiércol solarizado en el rendimiento y calidad fitoquímica de frutos de tomate producidos en una malla de sombra en las condiciones de la Comarca Lagunera Región, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área agrícola de La Ganadera-VIGO S. A. de C. V., durante el ciclo agrícola primavera-verano en una casa sombra, donde las características de la estructura de soporte consistieron en acero galvanizado de 2 mm de espesor con 1.25 " y perfiles cuadrados de 1.5 " y malla antinsectos (color cristal) con hilos de 25 × 25 pulgadas de polietileno tratado contra rayos ultravioleta, calibre 720, con luz difusa y 30% de sombra. La ubicación del sitio experimental se encuentra a 21 km de la carretera Torreón-San Pedro, Coahuila, México en el paralelo 25° 43' 30 " N y 103° 19' 19" W.

Material microbiológico

El material microbiológico estudiado fue *Azospirillum brasilense* (Ab) (DSM 1843, Leibniz-Institut DMSZ, Braunschweig, Alemania). Se reactivó en un medio de cultivo selectivo NFb con rojo Congo (Sangoquiza et al., 2018) y ácido málico como principal fuente de carbono utilizando el medio de cultivo. Las condiciones de incubación fueron agitación continua (120 rpm) y una temperatura de 30 °C (Florez-Márqueze et al., 2017). Entre las 14 y las 16 h (fase logarítmica), se determinó la concentración del cultivo de acuerdo con el siguiente procedimiento: se virtió 1 mL del cultivo de Bacteria en una celda para medir con un espectrofotómetro (espectro maestro FISHER SCIENTIFIC 415), tomando la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 540 nm frente a un NFb líquido con rojo Congo y un medio de control de ácido málico sin bacterias. La suspensión bacteriana se diluyó a una absorbancia de 1.00 unidad, y luego se preparó una concentración de Ab a 1×10^8 UFC.mL para los tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos establecidos con *Azospirillum brasilense* (Ab) como bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) y dosis de estiércol solarizado en plantas de tomate en condiciones de sombra.

Tratamientos	Descripción
T1 = Ab	<i>Azospirillum brasilense</i>
T2 = Control	<i>Control Sin Azospirillum brasilense</i>
T3 = Ab + ES40	<i>Azospirillum brasilense</i> + Estiércol Solarizado (40 t ha ⁻¹)
T4 = ES40	Estiércol solarizado (40 t ha ⁻¹)
T5 = Ab + ES80	<i>Azospirillum brasilense</i> + Estiércol solarizado (80 t ha ⁻¹)
T6 = ES80	Estiércol solarizado (80 t ha ⁻¹)
T7 = Ab + ES120	<i>Azospirillum brasilense</i> + Estiércol solarizado (120 t ha ⁻¹)

Tratamientos	Descripción
T8 = ES120	Estiércol solarizado (120 t ha ⁻¹)
T9 = Ab + ES160	<i>Azospirillum brasilense</i> + Estiércol solarizado (160 t ha ⁻¹) con
T10 = ES160	Estiércol solarizado (160 t ha ⁻¹)
T11 = Ab + FQ	<i>Azospirillum brasilense</i> + Fertilización Química
T12 = FQ	Fertilización Química

Solarización del estiércol

La solarización del estiércol se llevó a cabo recogiendo el clima de un establo en estado crudo (12 días después de ser evacuado por ganado lechero-raza Holstein- en estado de alta producción en lactancia inicial, donde el ganado es alimentado con fórmula alimenticia rica en proteínas que se compone de 1.8 kg de maíz partido, 0.9 kg de salvado de trigo, 0.5 kg de soja y 1.3 kg de minerales (sales de Mg⁺⁺ y K⁺). Una vez recolectado el estiércol, se procesó realizando montículos de 5 m de largo por 1 m de ancho con una altura de 0.80 m y aplicando 55% de humedad, la cual se controló con un medidor de humedad marca Spectrum TDR-150; el agua utilizada para humedecer el estiércol era agua corriente fresca con un pH de 7 y una CE de 2.5 dS.m. Posteriormente, los montículos se cubrieron con plástico transparente (Plastic Poly Sheeting) de 30 micras de espesor sin albedo durante 90 días, alcanzando temperaturas de hasta 60 ± 3 ° C. Al final del período de 90 días, se analizó químicamente el estiércol; Los resultados mostraron un pH de 7.79, una EC de 6.8 dS.m⁻¹, 5.35% de materia orgánica, un nitrógeno total de 0.86% y 0.084 mg.kg⁻¹ de NH₄. Cabe mencionar que el estiércol solarizado tiene la capacidad de que, al ser cubierto por plásticos de alto albedo, la energía irradiada por el sol genere temperaturas entre 64 y 74 ° C, provocando que organismos patógenos como hongos, bacterias, nematodos, malezas e insectos se mueran y sean eliminados (Salazar et al., 2017). El estiércol se aplicó al sitio experimental 30 días antes de la siembra según los tratamientos indicados en la Tabla 1, a razón de 0, 40, 80, 120 y 160 t ha⁻¹ el cual se incorporó a una profundidad de 30 cm del suelo. Para homogeneizarlo en toda la zona de estudio utilizando un tractor con características de Tractor Compacto Yanmar.

Fertilización química

Los tratamientos basados en fertilización química consistieron en aplicar una fórmula de 36%-95%-635% (N-P₂O₅-K₂O) y considerando la condición nutricional del suelo. Los fertilizantes de urea (CO (NH₂) 2: 46%-00%-00%) (SMART, 2020), fosfato monoamónico (MAP; 11%-52%-00%) y NPK (12%-00%-46%) fueron usados. La aplicación de nitrógeno se dividió en tres partes iguales (cinco días antes del trasplante, floración y fructificación) y se aplicó a un lado de las plantas. El fertilizante a base de fósforo (MAP) se administró cinco días antes del trasplante.

Inoculación de semillas de tomate con *Azospirillum brasilense* (Ab)

En el presente estudio se evaluó la variedad TOP 2299 (Ahern Seeds®), tipo Saladette. Se caracteriza por ser una planta vigorosa, de porte fuerte, tallos gruesos, entrenudos medios y ciclos productivos intermedios-tardíos. La planta experimenta un buen desarrollo a altas temperaturas en los ciclos primavera-verano. Frutos de calibre grande, con una media de 160 a 200 g, mantienen su tamaño a lo largo del ciclo de producción. En esta fase, las semillas se trataron mediante un lavado con agua destilada estéril para eliminar el exceso de colorantes y productos químicos.

Las semillas se sumergieron en alcohol al 70% durante 10 s y luego se lavaron tres veces con agua destilada estéril. A continuación, se realizó otra desinfección con hipoclorito de sodio al 2% durante 2 min, seguida de un lavado con agua destilada estéril (Lin et al., 2006). Cabe señalar que, según Maeso et al. (2011), esta segunda fase de desinfección tuvo como objetivo tratar la semilla contra patógenos de la cubierta de la semilla, principalmente contra la bacteria Fitopatógena *Clavibacter michiganensis*. Una vez desinfectada la semilla de tomate y libre de excesos químicos, se consideró la inoculación de la semilla con Ab. La cual consistió en sumergir 1 g de semilla de tomate ($360 \text{ semillas g} \pm 5$) en un medio líquido a base de *Azospirillum brasilense* con 1×10^8 UFC.mL durante 1 min para cada tratamiento; Posteriormente, cada muestra de cada tratamiento (semilla + Ab) (Tabla 1) se añadió a un matraz Kitazato de 50 mL y se sometió individualmente a un vacío a 600 mm Hg durante 5 min. Luego, las semillas se colocaron en cámaras de crecimiento que contenían arena fina y semillas y se cubrieron con una fina capa de turba-musgo (Sunshine, Sun I Cry Horticulture Canada, Ltd.) a $25 \pm 3^\circ \text{C}$ en condiciones de oscuridad durante 24 horas a una temperatura de 30°C , H.r. de 45. Una vez que emergieron las semillas, se colocaron en condiciones de invernadero (36°C , una H.r. de 40% y 3000 lux) durante 45 días. Antes del trasplante, las plántulas se inocularon a los 14 y 26 días después de la siembra (das), sumergiendo el sistema radicular en una solución de base bacteriana de *A. brasilense* con 1×10^8 UFC. mL. Posteriormente, se seleccionaron plántulas a los 46 días de la siembra y se trasplantaron a un campo en macrocuencas de 17 m de largo y 1.5 m de ancho a la casa de sombra, con un lineal de cinco plantas en lechos de suelo de 1 m de ancho y una distancia entre lechos de 1.90 m; en cada lecho había 50 cm entre filas de cada tratamiento. Se enterró una estructura de plástico de 1 cm de ancho a base de poliuretano duro para evitar la migración microbiana de un tratamiento a otro. Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo con el fin de determinar las condiciones en las que se encontró que el suelo es de textura franco-arenosa, con un pH de 7.5, CE de 1.5 dS.m^{-1} , 1.4% de materia orgánica (MO), 10.50 mg.kg^{-1} de nitrógeno total, 10.50 ppm de NO_3 y 15.32 mg.kg^{-1} de NH_4 .

Tabla 2. Condiciones ambientales ($T^{\circ}\text{C}$, Hr, radiación fotosintéticamente activa (Rfa: $\text{me.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e insolación media anual (Ima h. día) presentes en las diferentes etapas fenológicas de la producción de tomate (saladette variedad TOP 2299) tratado por el efecto de *Azospirillum brasilense* (Ab) como PGPB y estiércol sobre las condiciones del galpón en sombra.

Etapas Fenológicas	T °C	Hr. (%)	Rfa ($\text{me. m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Ima h
Plántula / trasplante (junio)	$38 \pm 2^{\circ}\text{C}$	<39% HR	550.33	13.20
Prefloración (julio)	$38 \pm 3^{\circ}\text{C}$	<42% HR	555.22	13.30
Floración y fructificación (agosto-septiembre)	$35 \pm 3^{\circ}\text{C}$	<50% HR	510.32	11.50
Cosecha (noviembre)	$30 \pm 4^{\circ}\text{C}$	<46% HR	477.43	10.40

Rfa: radiación fotosintéticamente activa e Ima: insolación media anual. Días. Rfa e Ima: datos de la casa sombra. $T^{\circ}\text{C}$ y H. R: datos de la casa sombra.

Manejo de cultivos

Para evitar la presencia de malas hierbas, se realizaron limpiezas mediante rastrillos y azadas, evitando dañar el sistema radicular y la parte aérea de la planta. Las plantas fueron podadas a los 60 días y guiadas a dos tallos, tutoradas con rafia agrícola negra de polipropileno calibre seis. La polinización se realizó mediante abejorros (*Bombus impatiens*), colocando una colmena cada 30 m^2 con 100 individuos cada colmena durante todo el proceso de floración hasta la cosecha (75 a 180 días). Cabe destacar que los abejorros se colocaron 10 días antes de la floración para permitir el reconocimiento de abejorros en la zona de producción. En el caso de plagas de insectos y enfermedades fúngicas y bacterianas, incluidas las de tipo orgánico-preventivo como *Beauveria bassiana*, se aplicaron extractos de ajo y orégano.

Irrigación

Se suministró riego a las plantas según la etapa fenológica del cultivo mediante un sistema de riego por goteo superficial monitoreado con tensiómetros Modelo SR 24 ", el IRROMETER®. Las características de la cinta de riego fueron las siguientes: 2 l.h, calibre 16 con 40 cm de distancia entre goteros (Marca Rivulis). La calidad del agua de riego utilizada en el estudio correspondió a los siguientes valores: un pH de 6, una CE de 2.5 dS.m y 0.24 ppm de NO_3 .

Cosecha

La cosecha comenzó cuando los frutos presentaban un color rosado entre el 30% y el 60% del fruto según la clasificación de color (Coromoto-Alcedo et al., 2018). Esta actividad se llevó a cabo hasta la formación del décimo grupo, período que duró cuatro meses. Los frutos de cada racimo se recolectaron

desinfectando las manos, guantes y material de corte como tijeras y navajas, colocando los recolectados en bandejas plásticas estériles y realizando la medición de las variables a evaluar.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos en estudio se diseñaron a partir de la combinación de inoculación con *Azospirillum brasilense* (Ab), con estiércol solarizado. El estudio consistió en 12 tratamientos (Tabla 1) que consistieron en inoculación con *Azospirillum brasilense* (Ab); aplicación de estiércol solarizado en dosis de 0, 40, 80, 120 y 160 t. ha⁻¹; y un tratamiento control (Fertilización Química en dosis de 366-95-635, N-P₂O₅-K₂O).

La estructura de los tratamientos correspondió a una factorial completo de 26 con 14 repeticiones y el diseño distribuido en la casa sombra consistió en bloques aleatorios.

Variables evaluadas

Tasa de emergencia y porcentaje final

La tasa y el porcentaje de emergencia se midieron y registraron una vez que las plántulas emergieron del sustrato de la cámara de germinación. El número de plántulas emergidas se registró mediante lecturas (evaluaciones) diarias (tasa de emergencia), y finalmente se midió el porcentaje de emergencia (%) después del cuarto día de prueba. La tasa de emergencia se calculó de la siguiente manera (Coromoto-Alcedo et al., 2018): $M = n_1 / t_1 + n_2 / t_2 + \dots + n_4 / t_4$, donde $n_1, n_2 \dots n_4$ son el número de plántulas emergidas en los tiempos $t_1, t_2 \dots t_4$ en días. Los datos sobre el porcentaje de emergencia se analizaron teniendo en cuenta una transformación (Ochoa-Jiménez et al., 2019). La tasa de emergencia, que es la suma de las plántulas emergidas registradas por día, se evaluó contando las plántulas que habían emergido.

Tasa y altura de la planta, volumen de raíz y clorofila por planta

Por otro lado, durante las primeras etapas (plántula, prefloración y floración) se recolectaron aleatoriamente plantas de cada tratamiento con el fin de medir su altura de planta en forma mensual hasta 100 días después de la siembra (das); la longitud de las plantas y los sistemas de raíces se midieron usando un micrómetro de escala manual (General, 143, General Tools, Manufacturing Co., Inc. Nueva York, NY, EE. UU.). Además de la variable anterior, también se evaluó (100 das) el contenido de nitrato en la savia (N-NO₃ mg. mL⁻¹ de savia), que se obtuvo mediante el procedimiento en (López et al., 2020). En la misma etapa fenológica (100 das), se evaluó el volumen de raíces; se utilizó un cilindro graduado a nivel, posteriormente se sumergió la raíz y se cuantificó el volumen con la raíz dentro del cilindro. Los datos correspondientes a esta variable se expresan en mililitros (mL) (Parra-Terraza et al., 2012).

La cuantificación de las clorofilas (Lingn et al., 2017), se procedió a la toma de 1 g de una muestra de hojas de cada tratamiento, y se homogeneizaron en un mortero utilizando 10 mL de acetona al 80% como disolvente. Se filtró el homogeneizado y se colocó el filtrado en tubos de vidrio; luego, se utilizó un espectrofotómetro para realizar las lecturas de absorbancia de cada tubo a longitudes de onda de 663 y 645 nm, utilizando en cada caso un tubo con 10 mL de acetona al 80% como blanco.

Tamaño del fruto (diámetro polar y diámetro ecuatorial), sólidos solubles, firmeza, peso medio y rendimiento (kg.m²)

Para determinar el efecto que los tratamientos indujeron sobre la calidad biofísica de los frutos, se evaluó el tamaño del fruto (diámetro polar (DP) y diámetro ecuatorial (DE) mediante una calibración Vernier digital (Stereon Brand); el contenido de sólidos solubles (determinado en Grados Brix) se midió con un refractómetro Master-T (Atago®, Tokio, Japón); la firmeza de la fruta (FF) se midió con un penetrómetro con un émbolo de 3 mm (FHT200, Extech Instruments®, EE. UU.); y el peso promedio de la fruta se determinó mediante una balanza Ohaus (Modelo 3729®, México). El rendimiento (kg.m²) se obtuvo considerando todos los frutos de calibre comercial desde el primero al décimo racimo por planta. Los frutos se cosecharon cuando alcanzaron un peso promedio de entre 160 a 200 g. Para ello se utilizó una balanza analítica Brand ADAM de 450 g de capacidad. Los resultados se expresaron en kilogramos.

Calidad nutracéutica: contenido fenólico, flavonoides, vitamina C y licopenos

Para la determinación de fitoquímicos bioactivos se analizaron 10 frutos de tomate seleccionados al azar de cada tratamiento, los cuales se lavaron con agua destilada durante 1 min para eliminar residuos. Luego, se trituraron manualmente (en un mortero) y se obtuvieron muestras de 5 g de pulpa fresca de tomate, las cuales se colocaron en 10 mL de metanol en tubos plásticos con tapón de rosca y luego se colocaron en un agitador rotatorio (ATR Inc.) durante 6 h a 20 rpm y 5 °C. Los tubos con la mezcla fueron luego se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min y se extrajo el sobrenadante para su análisis. El contenido de fenólicos y flavonoides se determinó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Esparza-Rivera et al., 2006). El contenido de vitamina C en la fruta se determinó mediante el método de titulación (Hernández-Hernández et al., 2019), en el cual se tomaron muestras de fruta fresca de 10 g, se trituraron junto con 10 mL de ácido clorhídrico al 2%, se filtraron y se completaron hasta 100 mL con agua destilada. En un matraz Erlenmeyer; luego, se tituló 10 ml del diluido con 2,6 diclorofenolindofenol (1×10^{-3} N). A continuación, se llevó a cabo la determinación de licopeno (Gutiérrez-Tlahque et al., 2019; Fernandez et al., 2007).

Análisis estadístico

Los datos de las variables respuestas a los factores de estudio, así como sus interacciones, se analizaron mediante el análisis de varianza de dos vías utilizando el software estadístico Statical Analysis System versión 9.4, y se utilizó prueba de tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

RESULTADOS

Tasa de emergencia y porcentaje final, tasa y altura de la planta y volumen de raíces

Los resultados según la metodología propuesta para la variable de altura de planta muestran que la inoculación con consorcios bacterianos en comparación con el tratamiento no inoculado fue más efectiva ($p \leq 0.05$) en un 26.38 por ciento (Tabla 3). Esta respuesta mostró, para el trasplante (46 días después de la siembra), que aquellas plántulas inoculadas con bacterias PGPR en consorcios presentaron una altura de plántula de 11.37 ± 3 cm; por su parte, las plántulas no inoculadas exhibieron hasta 8.4 ± 3 cm. De igual forma para la variable de volumen de raíz, las inoculaciones en consorcio y el T4 fueron estadísticamente iguales mostrando una mayor elongación de la raíz ($p \leq 0.05$) estando un 28.39 por ciento arriba del tratamiento testigo (Tabla 3).

En la Figura 2 se muestran los resultados de la clorofila, con diferencias significativas obtenidas solo en “b” en la interacción estiércol $\times$ tratamiento de inoculación ($p \leq 0.05$). La clorofila “a” fue uno de los factores para los que no hubo diferencias significativas. Sin embargo, los valores más altos fueron para los tratamientos inoculados (Ab + M40: 1.976 mg. g hoja fresca) en comparación con ES160: 1.500, que fue el tratamiento más bajo. En la clorofila “b”, los tratamientos inoculados resultaron en valores significativos en comparación con los que no fueron inoculados (Ab + ES40: 0.913 mg. g vs control 0.736 mg.

Tabla 3. Efecto de *Azospirillum brasilense* (Ab), estiércol solarizado e interacción (Ab × ES) sobre la tasa de crecimiento y el volumen radicular (VR) en plantas de tomate.

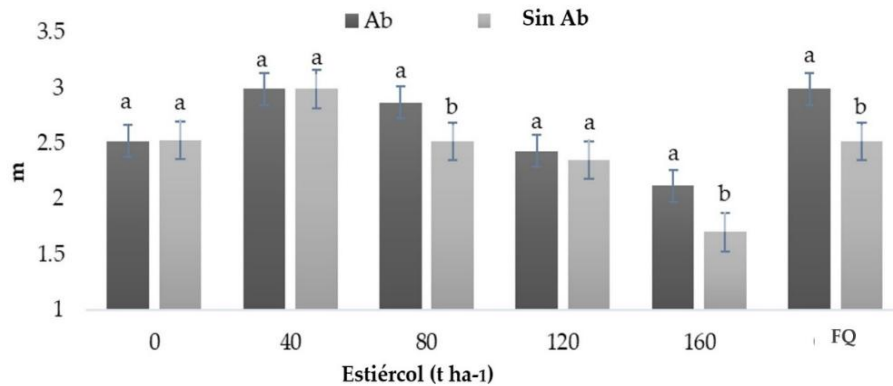
Factor	Emergencia de semilla		Dinámica de altura mensual					VR
	Día 1	Día 2	2	3	4	5	6	
% Meses			mL					
			Estiércol Solarizado					
0			0.71 ± 0.09 a	1.40 ± 0.19 a	2.00 ± 0.05 a	2.43 ± 0.21 b	2.82 ± 0.07 a	56.66 ± 12.5 a
40			0.98 ± 0.06 a	1.72 ± 0.06 a	2.27 ± 0.22 a	2.99 ± 0.21 a	3.38 ± 0.38 a	97.50 ± 40.0 a
80			0.93 ± 0.13 a	1.66 ± 0.07 a	2.25 ± 0.25 a	2.69 ± 0.29 a	2.88 ± 0.38 a	71.33 ± 23.0 a
120			0.73 ± 0.09 a	1.63 ± 0.04 a	2.08 ± 0.03 a	2.39 ± 0.15 b	2.61 ± 0.29 a	47.66 ± 40.0 a
160			0.68 ± 0.13 a	1.30 ± 0.34 a	1.61 ± 0.29 a	1.91 ± 0.24 c	2.33 ± 0.33 a	35.83 ± 18.5 a
FQ			0.87 ± 0.07 a	1.68 ± 0.09 a	2.05 ± 0.07 a	2.75 ± 0.74 a	3.20 ± 0.40 a	83.83 ± 15.0 a
			Inoculación					
Ab	80.00 ± 4 a	100.00 ± 0 a	0.89 ± 0.18 a	1.69 ± 0.10 a	2.10 ± 0.36 a	2.65 ± 0.53 a	3.00 ± 0.50 a	76.61 ± 38.5 a
Sin Ab	23.66 ± 3 b	70.66 ± 7 b	0.74 ± 0.19 a	1.44 ± 0.42 a	1.98 ± 0.66 a	2.40 ± 0.69 a	2.74 ± 0.53 a	54.33 ± 24.5 a
			Ab × ES					
			ns	ns	ns	*	Ns	ns

±Desviación estándar; las medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); FQ: fertilización química; * y ns = significativo y no significativo según Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 4. Efecto de *Azospirillum brasilense* (Ab), estiércol solarizado e interacción (Ab × ES) sobre el porcentaje de clorofila (a, b) en plantas de tomate en etapa de floración.

Factor	Clorofila		
	NO ₃	a	B
	%	mg.g. Hoja Fresca	
Estiércol Solarizado			
0	4.05 ± 0.93 a	1.638 ± 0.145 a	0.773 ± 0.055 b
40	4.36 ± 0.29 a	1.818 ± 0.165 a	0.890 ± 0.040 a
80	4.32 ± 0.27 a	1.730 ± 0.120 a	0.850 ± 0.020 a
120	4.39 ± 0.26 a	1.676 ± 0.115 a	0.841 ± 0.020 a
160	3.93 ± 0.55 a	1.621 ± 0.135 a	0.793 ± 0.030 b
FQ	4.59 ± 0.91 a	1.698 ± 0.090 a	0.835 ± 0.030 a
Inoculación			
Ab	4.53 ± 0.47 a	1.813 ± 0.164 a	0.851 ± 0.051 a
Sin Ab	4.02 ± 0.35 a	1.580 ± 0.397 a	0.809 ± 0.008 b
Ab × ES	ns	ns	*

±Desviación estándar; las medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); FQ: fertilización química; * y ns = significativo y no significativo según Tukey ($p \leq 0.05$)

**Figura 1.** Interacción de la Ab-fertilización en altura de planta a los 5 meses; Ab: *Azospirillum brasilense*; 0, 40, 80, 120, 160 = estiércol t. ha; FQ: fertilización química.

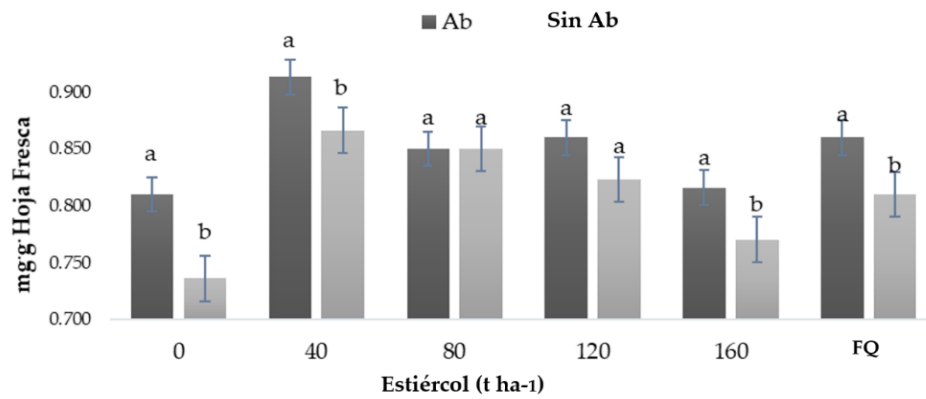


Figura 2. Interacción de Ab-Fertilización en contenido de clorofila b. Ab: *Azospirillum brasilense*; 0, 40, 80, 120, 160 = Estiércol t. ha; FQ: fertilización química.

Tabla 5. Efecto de *Azospirillum brasilense* (Ab), estiércol solarizado e interacción (Ab × SM) sobre diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), sólidos solubles (SS), firmeza del fruto (FF), frutos por planta (FP) y rendimiento (Rto: kg.m²) en plantas de tomate.

Factor	DP mm	DE mm	SS Brix	FF N	FP No	Rto kgm ²
Estiércol Solarizado						
0	72.95 ± 2 a	50.51 ± 3 a	5.56 ± 0.66 d	10.40 ± 1.01 a	28 ± 1 a	9.83 ± 0.77 b
40	83.90 ± 3 a	59.08 ± 7 a	5.05 ± 0.25 e	10.32 ± 1.13 a	34 ± 4 a	12.00 ± 1.99 a
80	78.79 ± 2 a	52.43 ± 4 a	5.07 ± 0.22 e	12.26 ± 1.03 a	31 ± 4 a	12.20 ± 1.20 a
120	75.10 ± 3 a	46.27 ± 17a	6.99 ± 0.07 b	10.51 ± 1.03 a	20 ± 1 a	9.38 ± 1.62 b
160	70.50 ± 3 a	51.88 ± 1 a	8.10 ± 0.04 a	8.80 ± 1.00 a	17 ± 1 b	8.16 ± 1.74 c
FQ	83.15 ± 4 a	51.65 ± 6 a	6.55 ± 0.66 c	11.10 ± 1.87 a	39 ± 1 a	12.45 ± 1.45 a
Inoculación						
Ab	78.17 ± 8.6 a	55.04 ± 1.80 a	6.42 ± 1.6 a	10.57 ± 1.7 a	30 ± 10 a	11.27 ± 1.6 a
Sin Ab	76.65 ± 4.8 a	48.90 ± 5.9 a	6.02 ± 1.5 b	10.56 ± 1.7 a	27 ± 7 a	10.07 ± 1.9 a
Ab × ES						
	ns	ns	*	ns	*	*

± Desviación estándar; las medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); FQ: fertilización química; * y ns = significativo y no significativo según Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 6. Efecto de *Azospirillum brasilense* (Ab), estiércol solarizado e interacción (Ab × SM) sobre la vitamina C, licopeno, fenoles y flavonoides en frutos de tomate.

	Vitamina C	Licopeno	Fenoles	Flavonoides
Factor	Mg 100 g ⁻¹ PF	mg Kg ⁻¹ PF	mg AGE/100 g PF	mg QE/100 g PF
Estiércol solarizado				
0	8.80 ± 0.0 b	2.73 ± 0.8 a	96.150 ± 4 b	31.36 ± 9 b
40	8.80 ± 0.0 b	3.03 ± 0.8 a	101.60 ± 5 b	32.00 ± 4 b

80	12.02 ± 0.5 a	2.87 ± 0.8 a	118.77 ± 29 a	45.71 ± 18 a
120	4.40 ± 0.0 d	2.73 ± 0.8 a	121.27 ± 80 a	50.81 ± 24 a
160	4.40 ± 0.0 d	3.03 ± 0.8 a	139.60 ± 24 a	73.45 ± 10 a
FQ	5.28 ± 0.0 c	2.10 ± 0.4 b	106.84 ± 6 b	15.43 ± 7 b
Inoculación				
Ab	7.33 ± 5.0 a	3.15 ± 0.4 a	115.23 ± 34 a	35.40 ± 39 a
Sin Ab	7.23 ± 3.6 b	2.34 ± 0.1 b	115.94 ± 25 a	47.52 ± 34 a
<i>Ab</i> × ES				
	Ns	*	*	ns

±Desviación estándar; las medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) *= Diferencia significativa y ns = no significativo según Tukey ($p \leq 0.05$).

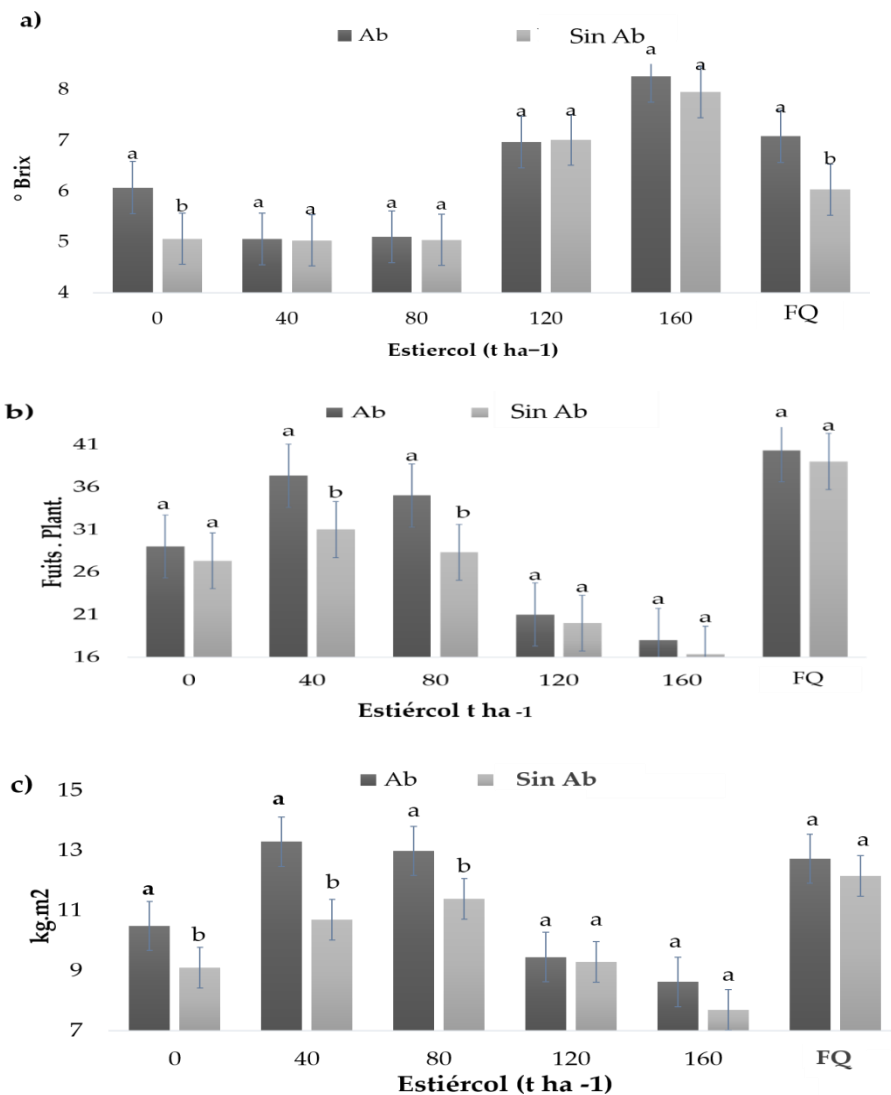


Figura 3. Interacción Ab-Fertilización en sólidos solubles (a), frutos/planta (b) y rendimiento por m² (c). Interacción Ab-fertilización en términos de altura de planta a los 5 meses; Ab: *Azospirillum brasilense*; 0, 40, 80, 120, 160 = estiércol t. ha⁻¹; FQ: fertilización química. Diferentes literales en las barras indican diferencia significativa con $p < 0.05$.

Calidad nutracéutica: contenido fenólico, flavonoides, vitamina C y licopeno

Considerando el licopeno y fenoles en frutos de tomate por efecto de *Ab* y estiércol solarizado en condiciones de sombra, los resultados revelan que hubo diferencias significativas entre factores, lo que se refleja en la significancia a nivel de interacción. En cuanto a la vitamina C y los flavonoides, aunque no hubo significación en la interacción, los mejores tratamientos en ambas variables fueron aquellos con y sin *Ab* y con estiércol ES80 (Tabla 6). Los valores más altos de licopeno y fenol estuvieron representados por *Ab*+ ES40 y / o *Ab* + ES160 (3.56 y 3.56 mg.100 g de tomate, respectivamente) (Figura 4a, b).

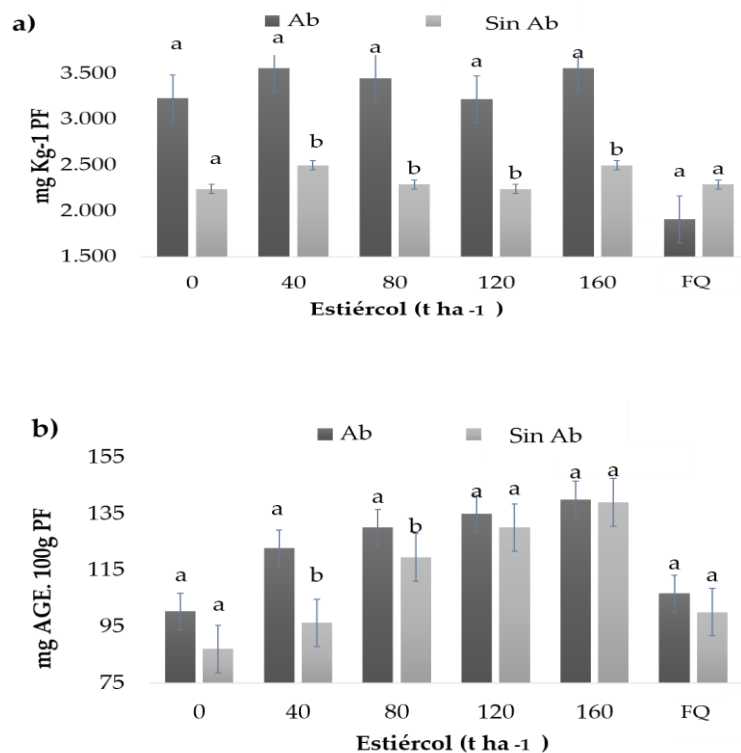


Figura 4. Interacción de *Ab*-Fertilización en licopeno (a) y fenoles (b) en frutos de tomate. *Ab*: *Azospirillum brasilense*; 0, 40, 80, 120, 160 = estiércol t. ha⁻¹; ICC: fertilización química. Diferentes literales en las barras indican diferencia significativa con $p < 0.05$.

DISCUSIÓN

La producción de alimentos en los últimos años ha otorgado un valor significativo a la salud de la humanidad. Actualmente sujeta a una contingencia global de bioseguridad debido a la epidemia causada por COVID-19, la humanidad busca mantener su salud y ha llegado a fortalecerse alimentándose de vegetales que tienen propiedades pronatales (Chauhan et al., 2020).

La producción de alimentos en los últimos años ha tenido una demanda extremadamente preocupante debido al crecimiento incontrolable de la sociedad. Una verdura particularmente importante es el tomate; En esta temporada de primavera-verano, México ha aumentado la exportación de tomates en un 15% adicional en comparación con 2019 y acaparó el 24.1% del comercio mundial solo en los

últimos ocho meses de 2020 (FAOSTAT, 2021). Con el propósito de capitalizar enfáticamente la actual demanda mundial de tomate y considerar la solicitud de los productores de tomate de la Comarca Lagunera de evaluar *Azospirillum brasilense* y el estiércol producido por los rebaños lecheros, bajo las condiciones metodológicas que propuso el estudio, los resultados obtenidos confirman lo pronunciado en (Galindo et al., 2016), junto con varios otros (Pappalettere et al., 2024; Silva et al., 2024). Que declaró que las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) como *Azospirillum* tienen efectos en otras plantas que los cereales originalmente previstos. Este estudio apoya firmemente la idea de que *Azospirillum* debe considerarse una bacteria inespecífica y generalmente beneficiosa. Sin embargo, dado que se proponen como biofertilizantes, su eficacia debe demostrarse en una variedad de familias de cultivos convencionales, y los usuarios deben evitar limitarlo a cereales únicamente (Araújo et al., 2015). Asimismo, los efectos positivos de esta bacteria, como se observa en el presente estudio, aparentemente se deben a la producción de sustancias promotoras del crecimiento, como se reporta en otros estudios (Beltrán-Peña et al., 2020).

En nuestro estudio, como una primera aproximación con respecto a la emergencia de plántulas, detectamos que la influencia de *Azospirillum brasilense* (Ab) es un aumento del 300% a la emergencia sin Ab en el primer día, mientras que Ab fue 30% más efectivo en el segundo día (Tabla 3) en comparación con el control no inoculado. Visualmente y mediblemente, durante 45 días adicionales, las semillas inoculadas con Ab fueron más vigorosas en su emergencia, grandes y robustas, alcanzando hasta 20 ± 3 cm de altura a los 46 días, mientras que las no inoculadas solo fueron hasta 12 ± 3 cm de alto. A los 46 días y tras el trasplante, las plántulas bajo el efecto de Ab, estiércol y fertilización química mostraron comportamientos favorables.

En los meses posteriores al trasplante, cuando las plantas fueron sometidas a Ab, estiércol y fertilización química (según los tratamientos estudiados y mostrados en la (Tabla 1), aquellas plantas que tuvieron corta emergencia se comportaron estadísticamente de manera similar a aquellas a las que se les administró biofertilización (Ab + Estiércol) (Tabla 3), y no fue hasta el quinto mes en que la altura mostró una significancia estadística entre los tratamientos inoculados con los no inoculados (Figura 1). Es posible que el estiércol en el suelo sufra un proceso de descomposición mineral en el que participan los microorganismos del suelo, rompiendo sus estructuras bioquímicas en compuestos nitrogenados cada vez más simples de los que las plantas toman nitrógeno en forma de NH_4 y NO_3 ; esto es similar al proceso por el cual, una vez dentro de la planta, el estiércol se somete a un proceso de reducción a nitrito (NO^{2-}) en el citosol por la enzima nitrato reductasa usando NADH o NADPH.

Por otro lado, los autores de (Licea-Herrera et al., 2020) indicó que la inoculación con *Azospirillum brasilense* provocó efectos positivos en el crecimiento de las plantas de tomate, mejorando su estado nutricional y aumentando su rendimiento en un 11% en comparación con la planta testigo. Además, se obtuvo un alto nivel poblacional en la rizosfera de la planta. En nuestro estudio detectamos que las influencias de Ab + estiércol y Ab + FQ fueron más pronunciadas que para aquellos tratamientos que

no fueron inoculados (Tabla 3). Este efecto positivo se reflejó en el volumen de la raíz y, aunque no hubo significación en la interacción entre factores, los valores numéricos fueron mayores en los tratamientos en los que estuvo presente la participación de abono Ab + ES, los valores indican que Ab + ES alcanzó 115.11 mL en comparación con el control sin Ab y / o abono o fertilización química, que arrojó hasta 69.16 mL, una diferencia de hasta 60% (Tabla 3).

Aunque no se realizaron cortes histológicos a nivel de la raíz, consideramos que las bacterias *Ab* facilitan el enraizamiento y el crecimiento de las plantas (Bartolini et al., 2022). *Azospirillum* se ha encontrado en los espacios intracelulares de los tejidos vasculares de tallos y raíces (Doncel et al., 2016; Wisniewski et al., 2012) y se ha utilizado su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno y la síntesis de hormonas vegetales (Baars et al., 2018). El nitrógeno (N), además de ser un componente específico de las proteínas, está presente en la mayoría de las combinaciones orgánicas de vegetales (Benimeli et al., 2019). Las proteínas se degradan, provocando productos de descomposición más simples y, finalmente, parte del nitrógeno aparece en forma de nitrato. De esta forma, puede ser utilizado por microorganismos y por plantas superiores para construir sus estructuras proteicas, o puede reducirse, en determinadas condiciones, a su estado elemental identificándose en la clorofila “b”, esta interacción fue favorecida para Ab + ES40 (Figura 2). Estos resultados se pueden atribuir a que el *Ab*, como PGPB, tiende a hacer más eficiente la actividad fotosintética, así como el contenido de clorofila, debido a los altos niveles de captación de CO₂; por tanto, hay una mayor acumulación de azúcares en los frutos (Steiner et al., 2020).

El comportamiento de las PGPB presenta importantes beneficios para las plantas, entre los que se encuentran los mecanismos de biosíntesis de sustancias promotoras del crecimiento de las plantas y una mayor absorción de nutrientes-procesos de fijación de nitrógeno atmosférico (N₂) (González et al., 2017) que impactan directa e indirectamente el metabolismo y fisiología de plantas, destacan (Almeida et al., 2020; Hasan et al., 2024).

Los resultados del presente estudio en relación a SS (6.42 ± 1.6 °Brix) (Tabla 5) superan a los reportados por (Dursun et al., 2010), quien encontró un valor de 3.63 °Brix al evaluar la coinoculación entre *Pantoea agglomerans*, *Acinetobacter baumannii* y *Bacillus megaterium* en el cultivo de tomate. En (Ordookhani et al., 2013). Los autores indican que la producción de fitohormonas en la zona de crecimiento radicular estimula el desarrollo de las raíces y, por tanto, conduce a una mejor absorción de agua y elementos nutritivos; esto da como resultado un aumento en la absorción de nutrientes por las plantas cuando se inoculan con PGPB. Los estudios relacionados con otro tipo de géneros que tienen una influencia positiva incluyen un trabajo basado en *Bacillus* sp. cepa, que produjo el mayor contenido de SS, licopeno y ácido ascórbico en frutos de tomate (Chandrasekaran et al., 2019), lo que junto con otros estudios (incluido el presente estudio) resalta la importancia de utilizar este tipo de microorganismo promotor del crecimiento vegetal.

Además de lo anterior, estudios sobre PGPB muestran que, además de producir fitohormonas como citoquininas e IAA y fijar nitrógeno, las PGPBs pueden solubilizar fosfato e inhibir el desarrollo de microorganismos fitopatógenos, lo que favorece el mejor desarrollo de las plantas que aún están sujetas a factores adversos como la salinidad (Fukami et al., 2018). Otra cualidad que tienen este tipo de microorganismos beneficiosos es que los fertilizantes a base de estiércol influyen en la disminución de la absorción de agua y nutrientes; esto implica un estrés iónico y osmótico que afecta el metabolismo de la planta, pero se mejora la calidad nutracéutica de los frutos (Ruiz et al., 2010; Díaz et al., 2016). *Bacillus* spp. y *Aeromonas* spp. En otro estudio (Pirlak et al., 2019) demostró que aumenta el contenido de ácido ascórbico, SS y licopeno en condiciones de invernadero, un efecto atribuido al hecho de que PGPB puede sintetizar fitohormonas (Adriano et al., 2011). Los resultados del presente estudio para DP, DE, SS, FF, FP y el Rto. permiten suponer que una biofertilización a base de abono Ab + puede ser una alternativa para incrementar no solo los rendimientos (Figuras 2.3 y 2.4) sino también los contenidos de licopeno, fenoles, flavonoides y vitamina C, que son biomoléculas de gran importancia para la salud humana (Waliszewski et al., 2010).

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Peralta, A. I., Leos-Rodríguez, J. A., Figueroa-Viramontes, U., & Romo-Lozano, J. L. (2017). Política ambiental. Uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. Multidiscip. Sci. J. 27, 3–12. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1270>.
- Adriano, A. M. D. L., Jarquín, G. R., Hernández, R. C., Salvador, F. M., & Monreal, V. C. T. (2011). Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agrícolas. 2, 417-431.
- Ali, Q. (2019). Organic Manuring for Agronomic Crops. In Agronomic Crops; Hasanuzzaman, M., Ed.; Springer: Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_10.
- Amir, K., & Fouzia, I. (2011). Chemical nutrient analysis of different composts (Vermicompost and Pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Pisum sativum*. Asian J. Plant Sci. Res. 1, 116–130.
- Araújo, E. O., Martins, M. R., Vitorino, A. C. T., Mercante, F. M., & Urquiaga, S. S. (2015). Effect of nitrogen fertilization associated with diazotrophic bacteria inoculation on nitrogen use efficiency and its biological fixation by corn determined using ^{15}N . Afr. J. Microbiol. Res. 9, 643–650.
- Baars, O., Zhang, X., Gibson, M. I., Stone, A. T., Morel, F. M. M., & Seyedsayamdost, M. R. (2018). Seyedsayamdost. Crochelins: Siderophores with an unprecedented iron-chelating moiety from the nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 57, 536–541. <https://doi.org/10.1002/anie.201709720>.

- Bartolini, S., Pappalettere, L., & Toffanin, A. (2022). Evaluación del efecto de *Azospirillum baldaniorum* Sp245 sobre la capacidad de enraizamiento de esquejes de olivo (*Olea europaea* L., cultivar Santa Caterina). *Agroquímica* 66, 215–224
- Beltrán-Peña, E. M., Ayala-Rodríguez, J. A., & Bucio, J. L. (2020). Interrelaciones entre la disponibilidad de fosfato y el ambiente biótico del suelo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cienc. Nicolaita*, 78, 59-74.
- Benimeli, M. F., Plasencia, A., Corbella, R. D., Guevara, D. A., Sanzano, A., Sosa, F. A., & de Ullivari, J. F. (2019). El Nitrógeno del Suelo; Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán: Tucumán, Argentina.
- Bona, E., Lingua, G., & Todeschini, V. (2016). Effect of Bioinoculants on the Quality of Crops. In *Bioformulations: For Sustainable Agriculture*; Arora, N., Mehnaz, S., Balestrini, R., Eds.; Springer: New Delhi, India, pp. 93–124. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2779-3_5.
- Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Valenzuela-García, A. A., Cervantes-Vázquez, M. G., Guzmán-Silos, T. L., Fortiz, E. L., Rangel, P. P., & Rueda-Puente, E. O. (2021). Actividad morfofisiológica, enzimática y elemental en plántulas de tomate saladette de invernadero a partir del efecto de las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas. *Agronomía*. 11, 1008. <https://doi.org/10.3390/agronomy11051008>
- Chandrasekaran, M., Chun, S. C., Oh, J. W., Paramasivan, M., Saini, R. K., & Sahayarayan, J. J. (2019). *Bacillus subtilis* CBR05 para frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) en Corea del Sur como una nueva bacteria probiótica vegetal (PPB): implicaciones del contenido total de fenólicos, flavonoides y carotenoides para la calidad de la fruta. *Agronomía* 9, 838. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120838>
- Chauhan, M., Garg, V., Zia, G., & Dutt, R. (2020). Potential Role of Phytochemicals of Fruits and Vegetables in Human Diet. *Res. J. Pharm. Technol.* 13, 1587–1591.
- Coromoto-Alcedo, Y., & Reyes, I. (2018). Microorganismos Promotores de Crecimiento en el Biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.). *Bioagro*, 30, 59–66.
- Díaz, F. A., Ortiz, C. F. E., & Espinosa, E. M. (2016). Mycorrhizal symbiosis and growth of sorghum plants irrigated with saline water. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas*. 15, 55–64.
- Doncel, A., Chamorro, L., & Pérez, A. (2016). Actividad in vitro de bacterias endófitas promotoras de crecimiento asociadas con pasto colosoana en el municipio de Corozal, Sucre. *Rev. Colomb. Cienc. Anim.* 8, 351–360.
- Dursun, A., Ekinici, M., & Dönmez, M. F. (2010). Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pak. J. Bot.* 42, 3349–3356.

- Esparza-Rivera, J. R., Stone, M. B., Stushnoff, C., Pilon-Smith, E., & Kendall, P. A. (2006). Effects of Ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 °C. *J. Food Sci.* 71, 270–276.
- FAOSTAT, Base de datos estadísticos institucionales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (consultado el 10 de agosto de 2024).
- Fukami, J., de la Osa, C., Ollero, F. J., Megías, M., & Hungria, M. (2018). Co-inoculación de maíz con *Azospirillum brasilense* y *Rhizobium tropici* como estrategia para mitigar el estrés de salinidad. *Biol. Func. Plantas.* 45, 328. <https://doi.org/10.1071/fp17167>.
- Galindo, F. S., Teixeira Filho, M. C. M., Buzetti, S., Santini, J. M. K., Alves, C. J., Nogueira, L. M., Ludkiewicz, M.G.Z., Andreotti, M., & Bellotte, J.L.M. (2016). Corn Yield and Foliar Diagnosis Affected by Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Azospirillum Brasilense*. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 40, 1–18. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150364>.
- Galindo, O. G., Viramontes, U. F., Cueto-Wong, J. A., Núñez-Hernández, G., Gallegos-Robles, M. A., & López-Martínez, J. D. (2019). Disponibilidad de nitrógeno usando dos tipos de estiércol de bovino lechero en cultivos de maíz forrajero y triticales. *Nova Sci.* 22, 124–141. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1709>.
- González, F., & Fuentes, M. (2017). Mechanism of action of five plant growth promoters microorganism. *Rev. Cienc. Agrícolas*, 34, 17–31. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.61>.
- Hasan, A., Tabassum, B., Hashim, M., & Khan, N. (2024). Papel de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) como potenciador del crecimiento vegetal para la agricultura sostenible: una revisión. *Bacterias* 3, 59-75. <https://doi.org/10.3390/bacteria3020005>
- Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants* 8, 355. <https://doi.org/10.3390/plants8100355>.
- Licea-Herrera, J., Quiroz-Velásquez, J. D., & Hernández-Mendoza, J. L. (2020). Impact of *Azospirillum Brasilense*, a rhizobacterium stimulating the production of indole-3-acetic acid as the mechanism of improving plants' grow in agricultural crops. *Rev. Bol. Quim.* 37, 34–39. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.5>.
- Lin, T. F., Huang, H. I., Shen, F. T., & Young, C. C. (2006). The protons of gluconic acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC A174. *Bioresour. Technol.* 97, 957–960.
- Maeso, D., & Walasek, W. (2011). Evaluación de métodos para desinfectar semillas de tomate contra cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*). *Agrociencia Urug.* 16, 134–141.

- Ochoa-Jiménez, V. A., Berumen-Varela, G., Rivera-Domínguez, M., Báez-Sañudo, B., Troncoso-Rojas, R., & Tiznado-Hernandez, M. E. (2019). Development of a regeneration and genetic transformation protocol for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rutgers. *Agrociencia Cienc.* 53, 725–740.
- Ordookhani, K., Moezi, A., Khavazi, K., & Rejali, F. (2013). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhiza on tomato fruit quality. *Acta Hort.* 989, 91–96.
- Pappalettere, L., Bartolini, S., & Toffanin, A. (2024). Las bacterias productoras de auxinas utilizadas como bioestimulantes microbianos mejoran el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Plántulas en sistemas hidropónicos. *Biotechnología* 13, 32. <https://doi.org/10.3390/biotech13030032>
- Parra-Terraza, S., Lara-Murrieta, P., Villarreal-Romero, V., & Hernández-Verdugo, V. (2012). Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones Nitrato/Amonio y concentraciones de bicarbonato. *Fitotec. Mex.*, 35, 143–153.
- Pirlak, L., & Köse, M. (2009). Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. *J. Plant Nutr.* 32, 1173–1184.
- Platel, K. (2020). Functional foods in Indian tradition and their significance for health. In *Nutritional and Health Aspects of Food in South Asian Countries*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 87–98.
- Raffi, M. M., & Charyulu, P. B. B. N. (2020). *Azospirillum*-biofertilizer for sustainable cereal crop production: Current status. *Recent Dev. Appl. Microbiol. Biochem*, 193–209. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821406-0.00018-7>.
- Ruiz, L. G. A., Qüesta, A. G., & Rodríguez, S. D. C. (2010). Efecto de luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo minimamente procesado. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* 11, 101–118.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación Comarca Lagunera. (2019). Available online: <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>. (accessed on 19 June 2020).
- Sangoquiza, C. A., Viera, Y., & Yáñez Guzmán, C. F. (2018). Biological Response of *Azospirillum* spp. to Different Types of Stress. *Revista Centro Agrícola Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas*. Available online: <http://cagricola.uclv.edu.cu> (Consultado el 3 febrero 2024).
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Available online: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola (accessed on 11 July 2020).
- Silva, P. S. T., García, N. S., Galindo, F. S., Arf, O., Nogueira, T. A. R., & Jani, A. D. (2024). La inoculación de *Azospirillum brasilense* en un sistema de cultivo de maíz-urocloa-arroz promueve los cambios químicos y biológicos del suelo y aumenta la productividad. *Cultivos*, 4, 211–226. <https://doi.org/10.3390/crops4020016>

- SMART. La Fertilización del Cultivo de Tomate. 2020. Available online: <https://www.smartfertilizer.com/es/articles/tomato-fertilizer/> (accessed on 10 January 2024).
- Steiner, F., Queiroz, L. F. M., Zuffo, A. M., da Silva, K. C., & Lima, I.M.D.O. (2020). Respuesta de cacahuete a la co-inoculación de *Bradyrhizobium* spp. y *Azospirillum brasilense* y aplicación de molibdeno en suelo arenoso del Cerrado brasileño. Rev. Agron. doi:10.1002/agj2.20519.
- Vázquez, V., García, H., Salazar, S., López, M., Valdez, C., Orona, C., & Preciado, R. (2011). Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Chapingo Ser. Hortic. 17, 69–74.
- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Kamlesh, K. M., Satis, K., & Jagadish, R. (2020). Effect of plant growth regulators and deficit irrigation on canopy traits, yield, water productivity and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in the water scarce environment. J. Environ. Manag. 11, 110320, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.11,03-20.
- Waliszewski, K. N., & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. Salud Públ. México, 53, 254–265.
- Wisniewski-Dyé, F., Lozano, L., Acosta-Cruz, E., Borland, S., Drogue, B., Prigent-Combaret, C., Rouy, Z., Barbe, V., Herrera, A. M., & González, V. (2012). La secuencia del genoma de *Azospirillum brasilense* CBG497 y los análisis comparativos de los genomas principales y accesorios de *Azospirillum* proporcionan información sobre la adaptación al nicho. Genes, 3, 576-602. <https://doi.org/10.3390/genes3040576>
- Yong, K. T., Yong, P. H., & Ng, Z. X. (2023). El tomate y la salud humana: una perspectiva desde el procesamiento poscosecha, la bioaccesibilidad de nutrientes y la interacción farmacológica. Frente de Alimentos. 4, 1702-1719



La producción de café por productores del Grupo Terruño Nayarita en México

Coffee production by producers of Grupo Terruño Nayarita in Mexico

Recibida em: 07/11/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap3

Ignacio Orona-Castillo¹ 

Roberto Sánchez-Lucio² 

Ernesto González-Gaona^{3†} 

Joaquín Osornio-Córdova⁴ 

Leandris Argente-Martínez⁵ 



¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, km 28. Ejido Venecia, Durango.

² Campo Experimental Santiago Ixcuintla, INIFAP. Carretera Internacional México - Nogales Kilómetro 6, Centro, 63300 Santiago Ixcuintla, Nayarit.

³ Campo Experimental Pabellón de Arteaga, INIFAP. Kilómetro 32.5 Carretera Aguascalientes - Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 20660.

⁴ Escuela Secundaria Técnica No. 83. Sicomoros sn Col. Torreón Jardín, Torreón, Coahuila. CP. 27200

⁵ Tecnológico Nacional de México/Campus Valle del Yaqui, Bâcum, Sonora, México.

† Autor para correspondencia: eggaona@yahoo.com.mx

RESUMEN

La producción de café a nivel nacional e internacional representa una alternativa de empleo y arraigo rural muy amplio; su producción mundial creció más del 50% en el período 1990-2015, mientras en México, aunque la superficie aumentó 43% la producción disminuyó 5.3% en el período 1980-2022. Estudios del café en Puebla, Chiapas y Estado de México registran que la actividad productiva está limitada por la presencia de broca, roya y falta de apoyos en la producción y comercialización del producto. El objetivo de este trabajo fue identificar problemáticas y áreas de oportunidad enfrentadas por el productor nayarita en la producción y comercialización de su producto a fin de detectar áreas de oportunidad para un mejor desempeño de su actividad. Como hipótesis los productores que conforman el Grupo Terruño Nayarita (GTN) tienen condiciones que les permiten hacer atractiva y rentable la producción de café. Se diseñó un cuestionario que se aplicó a productores de agosto a diciembre del 2023. Los resultados permiten concluir que este modelo de producción ha impactado positivamente en una producción sustentable, eficiente y rentable.

Palabras clave: Organización, capacitación y producción orgánica.

SUMMARY

Coffee production at a national and international level represents an alternative for employment and very broad rural roots; Its global production grew more than 50% in the period 1990-2015, while in Mexico, although the surface area increased 43%, production decreased 5.3% in the period 1980-2022. Studies of coffee in Puebla, Chiapas and the State of Mexico record that productive activity is limited by the presence of borer, rust and lack of support in the production and marketing of the product. The objective of this work was to identify problems and areas of opportunity faced by the Nayarit producer in the production and marketing of their product in order to detect areas of opportunity for better performance of their activity. Hypothesizing that the producers that make up the Group Terruño Nayarita (GTN) have conditions that allow them to make coffee production attractive and profitable. A questionnaire was designed that was applied to producers from August to December 2023. The results allow us to conclude that this production model has positively impacted sustainable, efficient and profitable production.

Keywords: Organization, training and organic production

INTRODUCCIÓN

Para 2023, de acuerdo con Statista (2024), la producción mundial de café se situó por encima de los 171 millones de sacos de 60 kilos al cierre de la campaña 2023/2024, equivalente a 10,260.74 mil toneladas, siendo los principales diez países Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, Etiopía, Honduras, India, Uganda, México y Guatemala, que en conjunto participan con el 85.9% de la producción, el resto lo aportan 41 países más.

Las principales áreas de cultivo por tipo de café de acuerdo con Statista.es (2024) se muestran en la Figura 1.

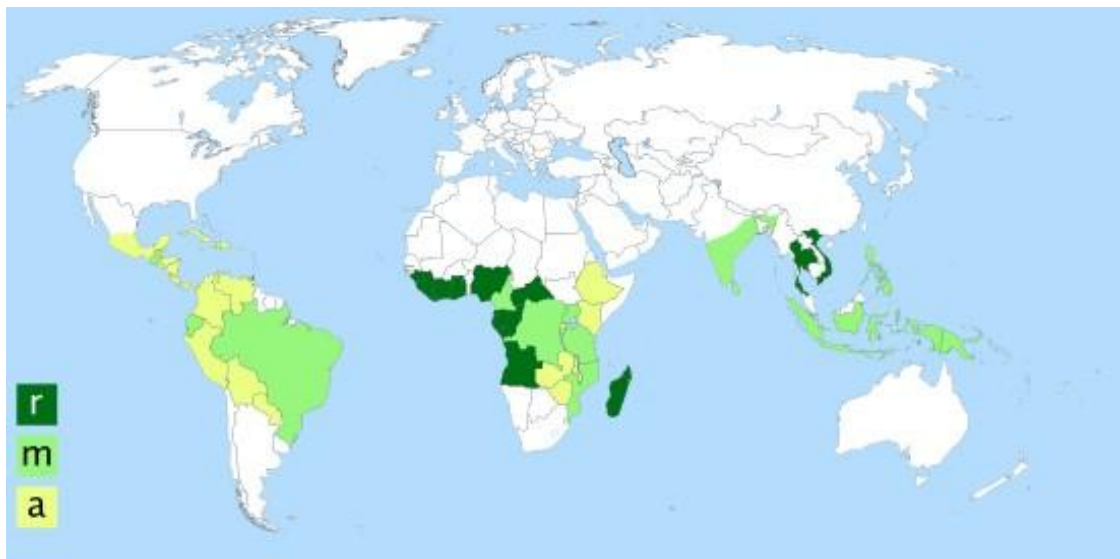


Figura 1. Principales áreas productoras de café en el mundo. Tipos de café r: *Coffea canephora* (también conocida como robusta) m: *Coffea canephora* (robusta) y *Coffea arabica* (arabica) a: *Coffea arabica*

De acuerdo con González et al. (2019), México es considerado como productor de café de menor calidad que otros países; sin embargo, tiene no sólo las cualidades idóneas, sino una vocación natural para la producción de café de especialidad sobre todo si se considera que: a) su producción es predominantemente de café de sombra y orgánico por el resguardo que brindan las selvas, ecosistema donde se cultiva la mayor superficie de café en nuestro país; b) el 92% de los productores de café en México poseen superficies menores a 5 ha; y c) al no disponer de grandes cantidades de capital para la inversión como refieren investigaciones de Escamilla y Díaz y Escamilla (2016a y 2016b), se reduce el uso de variedades híbridas y de agroquímicos, lo que conlleva un manejo de producto muy cercano al interés demostrado en el mundo por el consumo de productos alimenticios sanos.

Estos factores permiten otorgar un valor agregado al café mexicano, accediendo a que grandes sectores de la producción de café en nuestro país, estén en posibilidades de ser consolidados y reconocidos como productores de café de especialidad, obteniendo con ello el beneficio que eso implica (González, 2004; Cruz et al., 2015).

La superficie sembrada con el cultivo del café en México durante el período 1980 a 2022 de acuerdo con el SIAP (2022) aumentó 42.9%, pasando de 490,736 a 701,393.4 ha; sin embargo, la producción disminuyó 5.33%; para 2022 alcanzó 1,023,151.5 ton. Las entidades que presentaron tasas de crecimiento negativas en superficie sembrada fueron Tabasco, Jalisco, San Luis Potosí e Hidalgo y las que crecieron fueron Colima, Puebla, Chiapas, Veracruz, Guerrero, Nayarit y Oaxaca. Los rendimientos promedios por hectárea registrados para dicho período fueron 2.45 y 1.58 ton ha⁻¹ para los años 1980 y 2022, respectivamente, habiendo disminuido un 35.7%.

La población productora de café, así como la mayor superficie se concentra, en pequeñas unidades de producción; el tamaño promedio de los predios es de 2.7 ha, mientras que 92% de los cafecultores del país cuentan con superficies de 5 ha o menos, este hecho que aparentemente es factor de fragilidad por el grado de fragmentación de los predios, representa una ventaja, sobre todo si consideramos el cuidado de tipo artesanal que se da a la producción, lo que permite proporcionar un valor agregado al producto (ASERCA, 2002).

A nivel nacional el estado de Nayarit participó con el 2.4 y el 2.2% de la superficie total sembrada en los años 1980 y 2022; sin embargo, lo hizo con el 0.9 y 0.4% de la producción para ambos años, observándose una ligera tendencia a disminuir su participación. Para el año 2022 el rendimiento promedio reportado fue de 0.86 ton ha⁻¹. Al interior de Nayarit, los municipios productores de café se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Superficie y producción de café cereza por municipio en el estado de Nayarit para el año 2022.

Municipio	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	PMR (\$/Ton)	Valor de la Prod. (Miles de pesos)
Acaponeta	40.72	40.72	26.25	0.64	10 800.0	283 500.0
Compostela*	4723	2806	2 497.3	0.89	12 291.2	30 695 305.4
Del Nayar	112.75	108.5	87.06	0.8	12 565.9	1 093 989.2
Huajicori	34.96	34.96	21.56	0.62	10 500.0	226 380.0
Ruíz*	2650	2 140.00	1 760.00	0.82	11 558.1	20 342 238.4
San Blas	3524	3 145.00	2 762.20	0.88	12 599.6	34802687.6
Santa María del Oro	31	28	8.12	0.29	7 500.0	60 900.0
Santiago Ixcuintla	870	759	695	0.92	11 936.2	8 295 652.1
Tepic*	775	703.5	593.84	0.84	12 652.5	7 513 528.5
Xalisco*	3292	2 942.00	2 558.70	0.87	12 477.1	31 925 172.1
Total	16 053.43	12 707.68	11 010.07	7.57	114 880.6	135 239 353

*Municipios comprendidos en el estudio, adheridas al Grupo Terruño Nayarita. Fuente: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Bajo este contexto, el cultivo del café representa una actividad tradicional importante en la región; sin embargo, el impacto y la problemática de dicha actividad en la economía de la región han sido poco abordados. El propósito del estudio fue identificar problemáticas y áreas de oportunidad enfrentadas por el productor en la producción y comercialización de su producto a fin de detectar áreas de mejora para un mejor desempeño de su actividad, planteando como hipótesis que los productores que conforman el GTN tienen condiciones que les permiten hacer rentable la producción de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó de agosto a diciembre de 2023, periodo en el cual se recabó la información de campo; se realizó un muestreo por intención, que permite seleccionar casos característicos de una población limitando la muestra sólo a estos casos (Cochran, 1984), se encuestó a 25 productores de café de los municipios de Compostela, Ruiz, Tepic y Xalisco, quienes proveen de café al Grupo Terruño Nayarita. Cabe mencionar que estos municipios a nivel del estado de Nayarit participaron el año 2022 con el 71% de la superficie de café. La distribución de los productores seleccionados para encuestar fue de los municipios de Compostela, Ruiz, Tepic y Xalisco, adheridos al Grupo Terruño Nayarita (GTN).

El GTN es un conjunto de cafetaleros productores de café con calidad consistente, con responsabilidad social y ambiental perfectamente rastreable por internet (www.gtnay.com) autorizado como distribuidor en Estados Unidos, cuyo laboratorio y oficina administrativa de calidad y control se ubican en Tepic, Nayarit. Su objetivo es integrar sociedades locales y democráticas productoras de café para generar con ello economías de escala y facilitar la organización y control de procesos que aumenten la eficiencia en todas las etapas de la cadena de producción del café. A continuación, se presentan los resultados encontrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grupo Terruño Nayarita tiene registrados 1038 productores, de los que sólo 609 cuentan con superficie de café. Cubren un total de 894.26 ha del cultivo, lo que arroja en promedio 1.46 ha por productor, organizados en nueve sociedades, Tabla 2.

Tabla 2. Productores integrados al Grupo Terruño Nayarita, sociedades y superficies sembradas con café, 2023.

Sociedad	No. Productores	Superficie		
		(ha)	%	Superficie promedio (ha)
Astal	124	105.62	11.8	0.85
Basilio	173	100.31	11.2	0.58
Caldio	179	122.08	13.7	0.68
CSM	10	40.37	4.5	4.04
Cuerno	30	110.82	12.4	3.69
Procaa	198	138.68	15.5	0.70
Riviera	200	100.62	11.3	0.50
San café	57	37.37	4.2	0.66
Tambor	57	138.39	15.5	2.43

Caracterización socioeconómica de los productores que integran el sistema productivo café a nivel de la zona de estudio

Edad y años como productor. Indicador importante que refleja el potencial laboral y de emprendedurismo es esta variable, misma que en promedio oscila en los 52 años, siendo el más joven y el más antiguo de 32 y 72 años. Este hallazgo es comparable con la edad nacional promedio reportada por INEGI en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2018, que para aquel año fue de 50 años. Vázquez et al. (2022), consignaron para la zona norte del estado de Chiapas un promedio de edad en productores de café de 41 años. La experiencia acumulada como productor de café ascendió a 28 años en promedio, con valores mínimo y máximo de tres y 48 años.

Escolaridad y tamaño de familia. La Figura 2 ilustra los niveles educativos vigentes en los productores de café, destacando que sólo ocho de cada cien productores carecen de estudios; la mitad de estos cuenta con estudios de educación primaria; una cuarta parte cuenta con educación secundaria y el resto con estudios de preparatoria y universidad. Esta variable a nivel nacional alcanza los 10.4 años de estudio, según el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación para el año 2016, lo que indica que la zona de estudio queda por debajo del nivel registrado para dicho año.

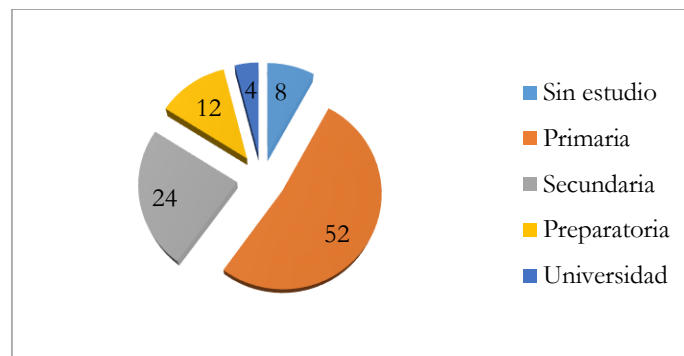


Figura 2. Proporción de nivel de estudios de los productores de café en la zona de estudio, 2023.

El tamaño de familia promedio de 3.8 miembros, refleja un valor mínimamente por encima del tamaño promedio para México que ascendió a 3.6 para el año 2018 (INEGI – ENIGH, 2018).

Edad y tamaño de la plantación. La edad de las plantaciones oscila de cuatro a 70 años; sin embargo, el promedio y la moda son de 31 y 20 años. Respecto a la superficie promedio registrada, fue de 3,4 ha. Benítez et al. (2015), consignó para la región cafetera de Puebla una superficie promedio de 1.57 ha. Y en el sur del Estado de México González et al. (2019) reporta que las explotaciones cafetaleras no superan las 3 ha de superficie.

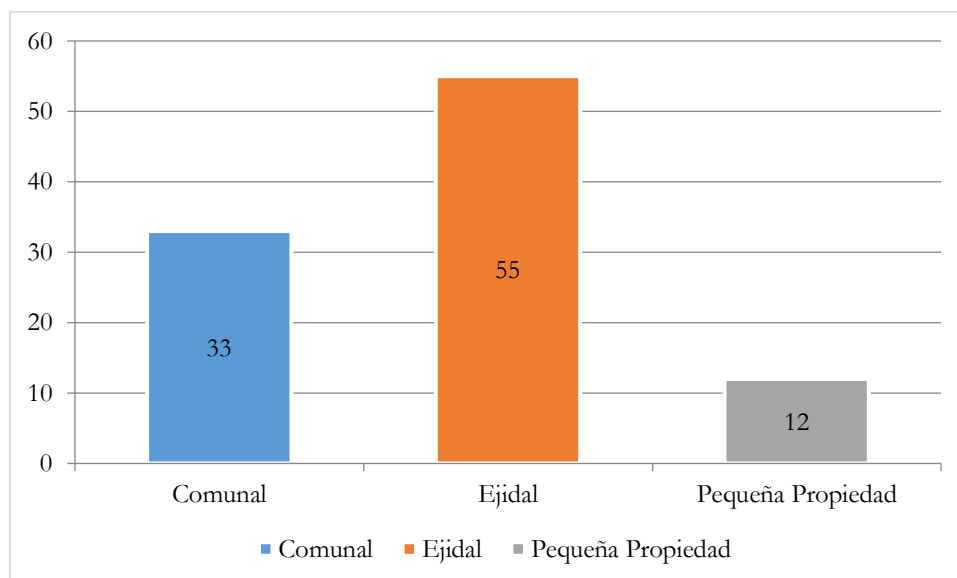


Figura 3. Participación porcentual en la superficie plantada con café por tipo de tenencia de la tierra.

Tenencia de la tierra. Del total de productores encuestados, 52% pertenecen al sector ejidal; 28% al comunal y el 20% a la pequeña propiedad y su participación en la superficie plantada fue 55, 33 y 12%, respectivamente (Figura 3).

Variedades de café. Las variedades de café que se siembran en esta zona de estudio suman diez; las más frecuentes son: Caturra, Criolla, Bourbon y Mundo Novo que suman el 72 por ciento; el resto son otras variedades. Figura 4. Para la parte norte de Chiapas la más cultivada es la variedad Criolla, con

el 80 % de la superficie, Vázquez et al. (2022) y las más comunes para Puebla son la Mundo Novo, Arábica, Garnica y Bourbon (Benitez et al., 2015) y para la Sierra Norte de Oaxaca, Bolaños et al. (2012), mencionan que existen cinco variedades de café sembradas en las parcelas: Bourbon, Caturra, Garnica, Mundo Novo y Criollo, siendo la variedad dominante la criolla (arábica).

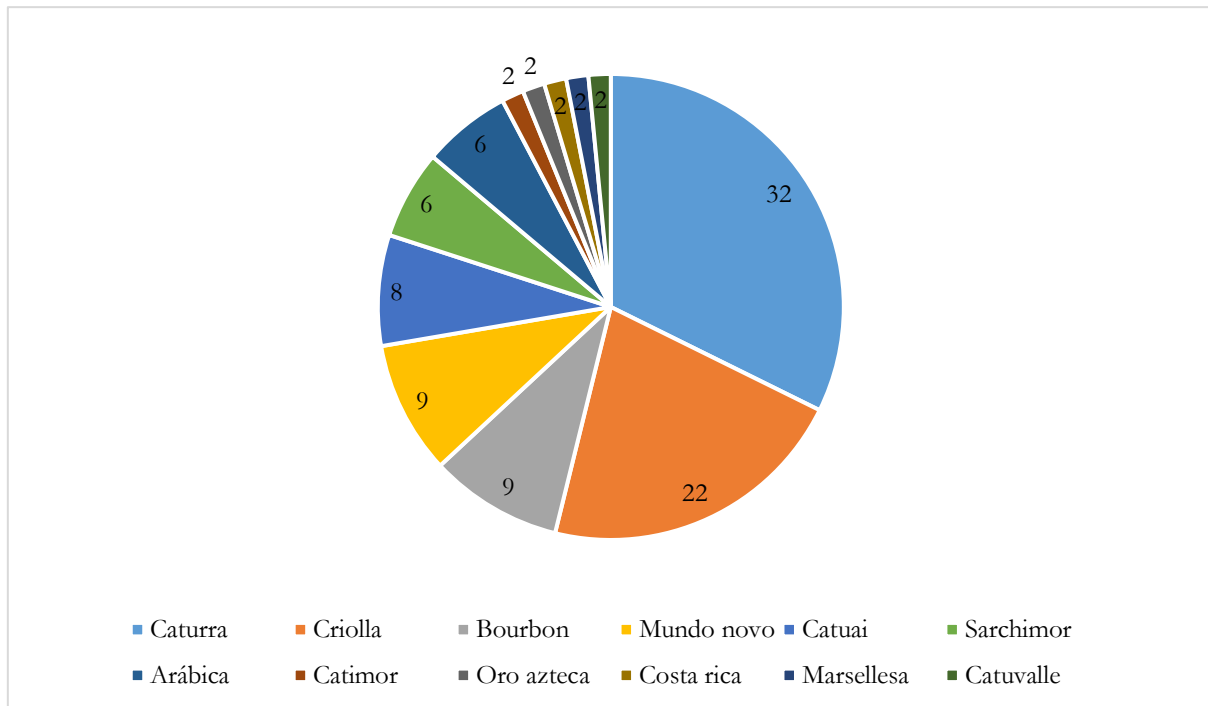


Figura 4. Variedades de café y su frecuencia en la zona de estudio, 2023.

Rendimiento. De acuerdo con información recabada en la encuesta, el valor promedio de esta variable fue de 1.62 toneladas por hectárea; sin embargo, los valores mínimo y máximo registrados fueron de 0.5 a 3 toneladas, valor por encima del registrado para el estado de Nayarit en el mismo año, de acuerdo con el SIAP (2022), que fue de 0.86 toneladas. A nivel nacional este año fue de 1.56 ton para los distintos tipos registrados de café. El rendimiento del café orgánico fue ligeramente mayor (1.84 ton ha⁻¹). Para el norte de Chiapas, Vázquez et al. (2019), reportaron rendimientos promedio de 0.75 ton ha⁻¹, equivalentes a casi 50% del promedio nacional de 1.43 t ha⁻¹ (SIACON-SAGARPA, 2022).

Uso de agroquímicos. Los productores de esta zona evolucionan hacia el uso de productos orgánicos en su producción; a la fecha, solo 2.8 de cada diez de ellos son los que aún utilizan agroquímicos sobre todo en la fertilización (Triple 17).

Uso de productos orgánicos. Nueve de cada diez productores encuestados usan abonos orgánicos; el principal es la gallinaza (45%); seguida por compostas, vermicompost, lixiviados y humus de lombriz y cascarilla de café, que cubren el 55% del resto de los productores que usan este tipo de productos.

Para el control de plagas, seis de cada diez productores emplean *Bauveria bassiana* para control de broca *Hypothenemus hampei* y 2.5 de cada diez utilizan *Trichoderma harzianum* para controlar la roya del café

causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, combinada con cobre. El control de malas hierbas lo hacen con machete.

Plantas sombra en café. Los árboles frutales más utilizados para proporcionar sombra al cultivo del café son por orden de importancia: aguacate (56 %), plátano (16 %) y mango (12 %); en menor medida el limón, cerezo y guanábana, los que les permiten obtener mayores recursos económicos. Otros tipos de plantas usadas para sombra son el Guamo, Roble, Palo de indio, Tepehuacate, Cuero de indio, Venadillo, Asta, y Laurelillo, Amapa, Tepazapote, Guayabillo y Levadura.

Tendencia al nivel de atención mostrado al cultivo del café. Al preguntar si han incrementado sus rendimientos en los últimos años, ocho de cada diez productores afirmaron que sí, ya que antes no ponían atención a sus plantaciones; solo deshierbe y cosecha. La capacitación y apoyo técnico por parte de GTN, INIFAP, Sanidad Vegetal, SADER y la UAN los han llevado a incrementar su producción en un promedio del 32%.

Uso de mano de obra familiar. Del total de mano de obra utilizada en la producción del café, 25% de los productores utiliza exclusivamente mano de obra familiar; el 44 % utilizan entre el 70 y 90%; el 20% utilizan el 50% de este tipo de mano de obra, y el 11% de ellos utiliza menos de la mitad mano de obra familiar. En un estudio realizado para el norte de Chiapas, se identificó que el 84% de los productores utiliza exclusivamente mano de obra familiar; mientras que el 16% contrataron jornaleros externos para realizar las faenas propias del cultivo (Vázquez et al., 2022).

Costos de producción. Estos dependen del uso o no de mano de obra familiar en el proceso y de la contratación de jornales; sin embargo, el valor medio obtenido en campo fue de 13780 pesos la hectárea. Para el año 2023 el FIRA reportó costos por 38 000 pesos incluyendo mantenimiento, cosecha, selección y empaque.

Ingresos y rentabilidad. Aun cuando no llevan un registro completo de sus gastos e ingresos, por hectárea de café cosechada estiman un promedio de ingresos aproximado de 36 600 pesos, lo que, restado de los costos de la misma manera estimados, arroja una utilidad neta por hectárea de 22 800 pesos. De esta forma se confirma lo que afirman los productores, ya que al preguntarles si el cultivo del café es rentable, nueve de cada diez afirmaron que sí.

Problemas principales del café. La mayor problemática que enfrentan los productores de café (48% de ellos) es la presencia de plagas y enfermedades, pues la mitad de ellos así lo reportaron; estas se refieren a la Broca y a la Roya del café. Sin embargo, su control de manera orgánica está siendo un éxito con el uso de microorganismos como la *Bauveria bassiana* y el *Trichoderma harzianum*, respectivamente.

Otro problema reportado por el 20% de los productores son las largas distancias que deben recorrer para atender sus cafetales, pues éstos deben estar a alturas 800-1000 msnm y ellos radican en zonas de 100 msnm; 16% reporta como problema las condiciones variables del clima (falta de lluvias) y 12% problemas de comercialización y precios bajos de su producto.

Presentación del café para venta. El 40% de los productores de café venden su producto como café pergamino, el cual resulta del beneficio del grano que se obtiene después de quitarle la cáscara y el mucílago, lavarlo y secarlo hasta una humedad del 12%. El resto lo vende como café cereza, es decir, el fruto del cafeto, que como tal se recoge en la finca en la época de cosecha, y luego se somete a un proceso de adecuación para que pueda ser comercializado (beneficio húmedo), proceso que se realiza en la misma finca cafetera.

Precios de venta del café y formas de venta. Una vez listo para su venta, la café cereza, se vende entre 12 y 17.5 pesos el kilo, resultando un precio promedio de 13.4. El café pergamino se vende entre 30 y 56 pesos el kilo, con un precio promedio de 45.3 pesos. El 24% de los productores que venden café cereza reciben un sobreprecio por bono de calidad de su producto por el GTN de acuerdo con el color, aroma y madurez del producto.

Tanto la café cereza, como el pergamino, lo transportan a granel en camión junto con sus socios al centro de acopio donde es beneficiado y comercializado través del Grupo Terruño Nayarita quien lo vende y distribuye de manera local, nacional e internacional hacia Estados Unidos, Canadá, Australia e Inglaterra. El tiempo que tienen recibiendo servicio del GTN va de los 4 a 13 años.

Capacitación. Los productores de café en esta zona han aprendido a hacerlo por ellos mismos como parte de la tradición y cultura familiar; sin embargo, ocho de cada diez han recibido cursos de capacitación en los últimos tres años en aspectos técnicos como control de plagas y enfermedades y aspectos de fertilización con productos orgánicos. Esta capacitación la han recibido en las asociaciones a las que pertenecen y en escuelas de campo en las mismas comunidades.

La asistencia técnica la han recibido de instituciones como el Campo Agrícola Experimental Santiago Ixcuintla (INIFAP), Grupo Terruño Nayarita, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Comisión Estatal de Sanidad Vegetal en Nayarit (CESAVENAY) y la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN); el nivel de confiabilidad y contacto que tienen con estas instituciones es muy elevado. La participación porcentual que cada institución ha representado se observa en la Figura 5.

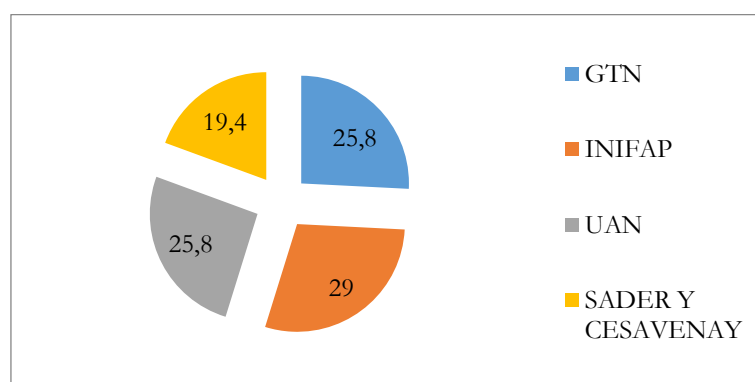


Figura 5. Participación porcentual de las instituciones que brindan capacitación y asistencia técnica a cafecultores de la zona de estudio, 2023.

Nuevas prácticas en la producción de café. Con relación a cambios técnicos que ha implementado en el manejo de su plantación, y derivado del impacto ocasionado en la asesoría brindada por las instituciones mencionadas, 84% de los productores han incorporado prácticas nuevas a su proceso productivo. Estas prácticas se muestran en el siguiente Figura 6.

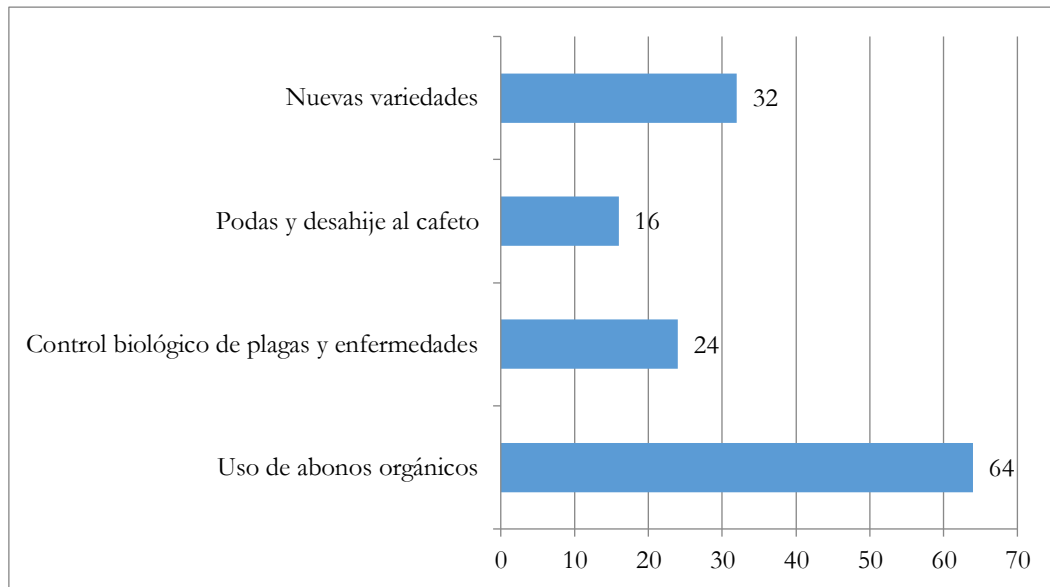


Figura 6. Porcentaje de nuevas prácticas adoptadas por los productores de la zona de estudio, 2023

Pertenencia a organizaciones. Con relación a pertenecer a alguna asociación u organización de productores, nueve de cada diez contestaron afirmativamente; las organizaciones registradas son: Astal, Basilio y Cerro los Cuernos, en los municipios de Tepic, Xalisco y Presidio de los Reyes. El resto mencionó estar integrado como Asociación Independiente en Escuela de Campo, teniendo como asesor técnico a personal del GTN en el municipio de Compostela.

El número de asistencia a reuniones de organización o capacitación al año por parte de los productores entrevistados, oscilan entre 4 y 28; pero promedian once.

Ventajas de pertenecer a alguna organización. Dentro de las ventajas que declararon tener los productores (Figura 7), destaca la de comercialización de su producción, integrados al Grupo Terruño Nayarita, quien procesa, industrializa y distribuye su café de manera nacional e internacional como café orgánico; otras de las ventajas declaradas se relacionan a la obtención de información oportuna; realización de compras en conjunto; consecución de apoyos a la producción y obtención de créditos.

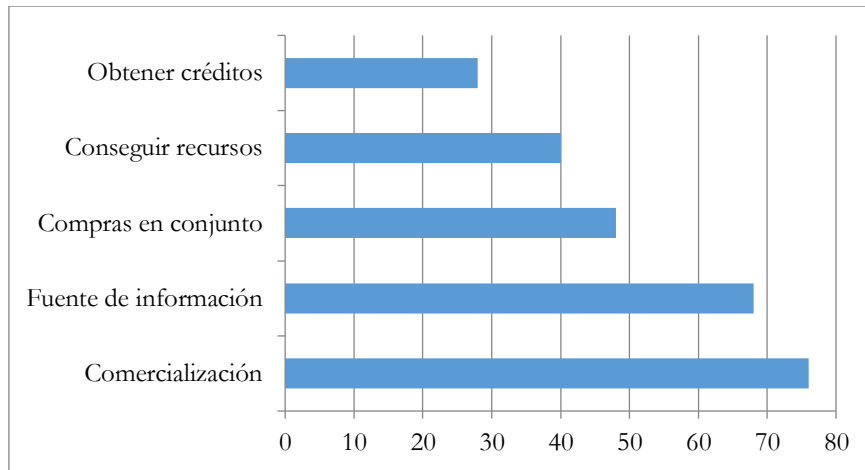


Figura 7. Ventajas obtenidas por estar integrado a organizaciones de productores.

Estar integrado en asociaciones les ha permitido incluso tener áreas de producción de bioinsecticidas que aplican para el control orgánico de plagas y enfermedades. La obtención de créditos proviene del GTN, cuyo monto otorgado depende de la producción esperada de café. Se otorga mediante la firma de convenios de venta de café o firma de letras, y es usado principalmente para compra de insumos y pago de mano de obra.

Programas de apoyo. La obtención de apoyos a la producción de café proviene de la Secretaría para el Desarrollo Rural a través del Programa de Apoyo a Pequeños Productores. De la muestra de productores estudiada 50 por ciento de ellos declaró haber sido beneficiados con este programa. El destino dado a estos apoyos es la compra de insumos y pago de mano de obra usada en el café. Los montos de apoyo van de 1000 a 6,300 pesos.

Al hacer una evaluación del grado de satisfacción del programa en mención en una escala del 1 al 10, los productores lo calificaron con siete, pues los requisitos que piden para ser beneficiados con este son muchos, además que abren el programa tarde.

Grado de importancia asignado a problemas enfrentados en la producción de café. En una escala del 1 al 5, donde 1 es no tiene problema y el 5 tienen mucho problema, el valor promedio de los factores indicados quedó se muestra en la Tabla 3.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el problema principal en la producción de café es la presencia de plagas y enfermedades, seguido por fenómenos meteorológicos, altos costos de mano de obra e insumos; los aspectos en que no tienen problema son en la disponibilidad de instalaciones para manejo post cosecha; maquinaria y equipo y en último lugar la comercialización.

Tabla 3. Nivel de importancia declarado por los productores a problemas en la producción de café, 2023.

Problema	Calificación asignada
Incidencia de plagas y enfermedades	4.4
Fenómenos meteorológicos	4.2
Altos costos de mano de obra	4.0
Altos costos en insumos usados	4.0
Precios bajos recibidos por venta del café	3.8
Escasez de mano de obra	3.8
Disponibilidad de insumos	3.4
Disponibilidad de financiamiento	3.2
Organización de productores	3.0
Acceso a la plantación	2.9
Falta de agua para sus cultivos	2.9
Asistencia técnica	2.8
Inseguridad pública	2.7
Comercialización	2.2
Maquinaria y equipo	2.0
Instalaciones para manejo post cosecha	2.0

CONCLUSIONES

Con base a los resultados encontrados se confirma la hipótesis de que los productores bajo estudio y que conforman el Grupo Terruño Nayarita desarrollan el cultivo del café bajo condiciones de producción, organización, asesoría, capacitación y comercialización que permiten hacer rentable y atractiva la producción del café. El uso de productos orgánicos para nutrir al cultivo se compone en un 70 % de lixiviados, vermicompostas, humus de lombriz, cascarilla de café y gallinaza; el resto de ellos utilizan fuentes químicas para fertilizar.

El principal problema del cultivo es la presencia de broca y roya del café; sin embargo, seis de cada diez productores emplean *Bauveria bassiana* para control de broca y 2.5 de cada diez utilizan *Trichoderma harzianum* para controlar la roya del café combinada con cobre. El control de malas hierbas lo hacen con machete. Otro problema reportado por productores son las largas distancias que deben recorrer para atender sus cafetales y las condiciones variables del clima. Precios bajos y (falta de lluvias) y 12% problemas de comercialización y precios bajos de su producto.

La capacitación y apoyo técnico por parte de GTN, INIFAP, Sanidad Vegetal, SADER y la UAN los han llevado a incrementar su producción en un promedio del 32%. Tanto café cereza como pergamino

es beneficiado y comercializado través del GTN quien lo vende y distribuye de manera local, nacional e internacional hacia Estados Unidos, Canadá, Australia e Inglaterra.

Producto de la capacitación recibida por diversas instituciones han incorporado prácticas nuevas y sustentables a su proceso productivo, logrado mediante asociaciones que les han permitido funcionar áreas de producción de fertilizantes orgánicos y bioinsecticidas que aplican para el control orgánico de plagas y enfermedades.

LITERATURA CITADA

- ASERCA (2002). Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. Café de México: hacia los mercados de calidad. Revista Claridades Agropecuarias. México, DF. 56 p.
- Benítez, G. E., Jaramillo, V. J. L., Escobedo, G. S. & Mora, F. S. (2015). Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo. vol.12 (2) Texcoco, Edo Méx.
- Bolaños, M., De los Santos, J., López, J., González, Á. & Osuna, F. (2012). Grupo Mesófilo, Asociación Civil. Café de sombra en el Rincón de Ixtlán, Sierra Norte, Oaxaca, México. 11 p.
- Cochran, W. G. (1984). Técnicas de muestreo. CECSA. México, D.F. 513 p.
- Cruz, L. A., Cervantes, H. J., Ramírez, G. A., Sánchez, G. P., Damián, H. M. A. & Ramírez, V. B. (2015). La etnoagronomía en la construcción de propuestas de desarrollo rural para comunidades campesinas. Ra Ximhai. 5(11), 185-194.
- Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. (2018)
<https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2018/>
- ENDUTIH (2020a).
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/ENDUTIH_2020.pdf
- ENDUTIH (2020b).
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH_21.pdf
- Escamilla, P. E. (2016). Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. Programa Mexicano del carbono, 4 Breves de políticas públicas. Huatusco, Veracruz, México. Boletín informativo. 10 p.
- Escamilla, P. E. & Díaz, C. S. (2016). Sistemas de cultivo de café en México. CENACAFÉ, Huatusco, Veracruz. 61 p.
- FIRA (2023). file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Caf%C3%A9_Mantenimiento_TMF_Guerrero_Perenne_2023.pdf
- González, J. A. (2004). Dealing with risk: small-scale coffee production systems in Mexico. Perspectivas Latinoamericanas. 1(22), 1-39.

- González, R. F. J., Sangerman, J. D. M., Rebollar, R. S., Omaña, S. J. M., Hernández, M. J., & Morales, H. J. L., (2019). El proceso de comercialización del café en el sur del Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 10(6), 1195-1206.
- Infocafe (2024). Evolución anual de la producción mundial de café.
<https://www.infocafe.es/cafe/principales-productores/evolucion-mundial-anual.php>
<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (2018).
(<https://www.inee.edu.mx/evaluaciones/panorama-educativo-de-mexico-isen/cs03a-escolaridad-media/#:~:text=La%20escolaridad%20de%20la%20poblaci%C3%B3n,0.11%20grados%20escolares%20por%20a%C3%B1o>)
- SIACON-SAGARPA (2022). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.
<https://gobmx.mx/siap/#:~:text=El%20Servicio%20de%20Informaci%C3%B3n%20Agroalimentaria%20y%20Pesquera%2C%20%C3%B3rgano,Nacional%20de%20Informaci%C3%B3n%20para%20el%20Desarrollo%20Rural%20Sustentable>.
- SIAP (2022). <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Statista.es (2024). <https://es.statista.com/estadisticas/600243/ranking-de-los-principales-productores-de-cafe-a-nivel-mundial/>
- Vázquez, L. P., Espinoza, A. J. J., González, M. A. & Guerrero, R. L. A. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 101-111.



Perfil Fitoquímico en Chiles Tratados con Fertilización orgánica

Phytochemical Profile in Chili Peppers Treated with Organic Fertilization

Recibida em: 07/11/25

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap4

José Luis García-Hernández¹ 

Marisol Martínez-Duarte¹ 

José Dimas López-Martínez² 

Victoria Jared Borroel-García² 

Mercedes Georgina Ramírez-Aragón^{2‡} 



¹ Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Agricultura y Zootecnia. Km 35, Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo. CP. 35170. Venecia, Durango, México.

² Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico N° 1555 Sur. Periférico Lerdo Km. 14.5, Plácido Domingo, CP. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México.

‡ Autor para correspondencia: ginaaragon13@hotmail.com

RESUMEN

El cultivo del chile enfrenta problemas por uso indiscriminado de fertilizantes químicos y de prácticas agrícolas incorrectas. Hay numerosos ejemplos negativos al respecto, uno de ellos es el uso indiscriminado de agroquímicos de diversa índole. Esto causa problemas para el ambiente, como contaminación, erosión y disminución de materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de metabolitos secundarios en chile jalapeño bajo distintos tratamientos de fertilidad orgánica comparados con un fruto de chile escorpión. Las variables evaluadas fueron: compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides y capacidad antioxidante. En este estudio se obtuvieron resultados que varían entre los 54.4 y 111.2 mg AGE 100 g⁻¹ PF para las tres variedades analizadas en el experimento cuando la muestra fue analizada en peso fresco. Para las muestras analizadas en peso seco los valores oscilaron entre 92.9 y 192.5 mg AGE 100 g⁻¹ PS. Los resultados para flavonoides oscilaron entre 29.84 mg EQ 100 g⁻¹ como el valor menor en peso fresco y 324.8 mg EQ 100 g⁻¹, mientras que para actividad antioxidante se obtuvieron datos que oscilaron entre 2.75 y 64.13 mg TROLOX 100 g⁻¹ para la técnica de DPPH para los análisis de las distintas muestras tanto en peso fresco como en seco. Los chiles jalapeños cultivados orgánicamente exhibieron niveles altos de compuestos fitoquímicos beneficiosos, en comparación con cultivos convencionales.

Palabras clave: antioxidantes, fenólicos, flavonoides, jalapeño, metabolitos secundarios

SUMMARY

The cultivation of chili faces problems due to the indiscriminate use of chemical fertilizers and incorrect agricultural practices. There are numerous negative examples in this regard, one of which is the indiscriminate use of various agrochemicals. This causes environmental problems such as pollution, erosion, and a decrease in organic matter. The aim of this study was to determine the presence of secondary metabolites in jalapeño chili under different organic fertility treatments compared to a scorpion chili fruit. The variables evaluated were: total phenolic compounds, flavonoid content, and antioxidant capacity. In this study, results were obtained ranging from 54.4 to 111.2 mg GAE 100 g⁻¹ FW for the three varieties analyzed in the experiment when the sample was analyzed on a fresh weight basis, while for samples analyzed on a dry weight basis, values ranged from 92.9 to 192.5 mg GAE 100 g⁻¹ DW. The results for flavonoids ranged from 29.84 mg EQ 100 g⁻¹ as the lowest value on a fresh weight basis to 324.8 mg EQ 100 g⁻¹, while for antioxidant activity, data ranged from 2.75 to 64.13 mg TROLOX 100 g⁻¹ for the DPPH technique for the analysis of different samples both on a fresh and dry weight basis. A significant difference was observed in the concentration of phytochemicals (TPC, FC, and AOX) between chilies cultivated with organic methods and the comparison with a commercially known organic chili fruit. Organically cultivated jalapeño chilies exhibited high levels of beneficial phytochemical compounds compared to conventional crops.

Index Words: antioxidants, flavonoids, jalapeño, phenolics, secondary metabolites

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) se encuentra entre los vegetales de mayor consumo en el mundo (Palma et al., 2020). La producción mundial es mayor a 19 millones de toneladas de frutos frescos de chile (Sarwar et al., 2020). Los frutos de chile contienen niveles importantes de Metabolitos Secundarios de la Plantas (MSP) con efectos positivos en la salud de los consumidores (Fратиanni et al., 2020). Dentro de esos compuestos fitoquímicos, los capsaicinoides (CAPs) son los más sobresalientes (Ramírez-Aragón et al., 2023). El cultivo del chile enfrenta problemas por uso indiscriminado de fertilizantes químicos y de prácticas agrícolas incorrectas. Hay numerosos ejemplos negativos al respecto, uno de ellos es el uso indiscriminado de agroquímicos de diversa índole. Esto causa problemas para el ambiente, como contaminación, erosión y disminución de materia orgánica. Por ello, se debe incursionar en alternativas de manejo de menor impacto negativo en el ambiente. Una de esas alternativas es la producción orgánica (Castellanos et al., 2017).

La producción orgánica se basa en un manejo menos contaminante y degradante de los recursos. Además, los productores que logran certificado orgánico acceden a mercados que permiten mayor rentabilidad debido a la gran demanda internacional y elevados precios de comercialización. El sector hortofrutícola orgánico ha registrado en los últimos años un notable crecimiento en México (SIAP, 2021).

En el mundo y en México se cultivan cientos de tipos y variedades de *C. annuum*. Uno de esos tipos es el jalapeño, de gran importancia económica con amplio consumo, rentabilidad y gran demanda de mano de obra (SIAP, 2018). El chile se investiga actualmente, debido a sus propiedades funcionales atribuidas a MSP como carotenoides, vitaminas A, C y E, alcaloides, flavonoides y CAPs, que promueven la salud y el bienestar de los consumidores (Tripodi et al., 2021).

Los MSP son compuestos fitoquímicos que participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente (Ilie et al., 2019). Los MSP les confieren a las plantas sus propiedades organolépticas, terapéuticas o nutricionales. Además, los MSP les añaden un enorme valor desde el punto de vista económico, ya que se utilizan como productos químicos especiales, fármacos, insecticidas, etc. (Verpoorte; Alfermann, 2000).

La capsaicina y otros CAPs (también son MSP del chile) son los compuestos fitoquímicos (que a la vez son MSP) que producen la sensación pungente. La pungencia se mide en unidades Scoville, las cuales en chile jalapeño son bajas y por lo tanto no provoca daños ni irritación. En dosis adecuadas ha demostrado tener varios efectos terapéuticos, como son: analgésico, antiinflamatorio y aún anticancerígeno (Akhtar et al., 2017).

Por otro lado, la OMS considera que una nutrición inapropiada contribuye a la muerte prematura de madres, lactantes y niños pequeños, así como a un deficiente desarrollo físico y cerebral en los jóvenes. La deficiencia de vitaminas se asocia con frecuencia a la malnutrición (Bailey et al., 2015).

Según el reciente informe de la FAO “El estado de la Seguridad Alimentaria y Nutrición en el Mundo 2021”, se deben implementar estrategias innovadoras para la búsqueda de alimentos funcionales que contribuyan con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Ahí mismo se señala la importancia de pasar a dietas saludables para reducir en un 97 % los costos sanitarios y entre un 41 % y el 74 % los costos sociales de la emisión de Gases Invernadero (FAO, 2020).

En este sentido, la presente investigación plantea analizar el efecto de la fertilidad orgánica en chile jalapeño, su crecimiento, rendimiento y la producción de sus metabolitos secundarios presentes para así obtener resultados sobre los beneficios que tiene este fruto hacia la salud del consumidor. Debido a lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de metabolitos secundarios en chile jalapeño bajo distintos tratamientos de fertilidad orgánica comparados con un fruto de chile escorpión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

El experimento se realizó bajo la malla sombra en las instalaciones de la facultad de agricultura y zootecnia de Venecia Dgo. Localizada en el km 35 de la carretera Gómez palacio- Tlahualilo, en el poblado ejidal Venecia con coordenadas: 25°46'56" latitud N 103°21'02" Longitud W.

Germinación

La semilla de chile se sembró en charolas germinadoras de poliestireno con 200 cavidades. La fecha de siembra fue el 1 de julio de 2023. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba vegetal (peat moss) con vermiculita, en proporción de 1:1 (v:v). Cada cavidad se llenó con sustrato peat moss húmedecido a capacidad de campo. Dentro de cada cavidad se colocó una semilla y se cubrió con el sustrato. Posteriormente las charolas se taparon con plástico y dejaron reposar 3 días, se checo germinación y se dejaron de cubrir con plástico para iniciar un riego ligero al día.

Trasplante

El trasplante se realizó 35 días después de la siembra (dds) cuando las plantas alcanzaron 15 cm de longitud, siguiendo los pasos realizados por Vázquez-Casarrubias et al. (2011). El invernadero en el que se estableció el experimento fue de cubierta de plástico sin control climático.

Como macetas se utilizaron bolsas de polietileno negro calibre 500, tipo vivero de 20 L. En el invernadero, las macetas se colocaron en doble hilera de forma paralela a una distancia de 30 cm entre plantas, con 4 repeticiones por tratamiento. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) a todos los datos, y cuando diferencias fueron detectadas se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05\%$) para comparar las medias. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron:

compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides y capacidad antioxidante. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS 9.0 (2022).

Previo al trasplante se desinfectó arena con hipoclorito de sodio (NaClO). Tres días antes del trasplante se llenaron las bolsas con 5kg de arena esterilizada c/u. Se les agregó 2 litros de perlita a cada bolsa. Se mezcló todo el sustrato se le agregó agua, la cual está clasificada como C3S1 (Moreno-Reséndez et al., 2008). Ya que se tenía cada maceta en esa condición, se realizó el trasplante.

Las plantas en las macetas se mantuvieron por 16 días. Mientras estuvieron en esta condición se estuvieron regando. Sin embargo, las temperaturas del invernadero eran tan altas que diariamente se les observaba extremadamente decaídas. Por ello se decidió realizar el trabajo en campo. Esto se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna. Ubicada en el Ejido Santa Teresa, Municipio de San Pedro, Coahuila.

Aquí se realizó un nuevo trasplante a los 17 días después del trasplante al invernadero con los siguientes tratamientos con tres repeticiones:

Jalapeño 1. Dosis baja de biofertilizante 3 kg m⁻²

Jalapeño 2. Dosis baja de vermicompost 2 kg por maceta

Obtención de extractos

Los extractos etanólicos se obtuvieron a partir de frutos frescos y secos de *Capsicum annuum* (chile jalapeño) y *Capsicum chinense* (chile escorpión) mediante el método de maceración convencional, utilizando etanol al 70% (v/v) como solvente de extracción. Los frutos fueron previamente seleccionados para eliminar material dañado o impurezas y se lavaron con agua corriente. En el caso de las muestras frescas, se desprendió el pedúnculo del fruto y se trocearon manualmente en fragmentos pequeños para facilitar el contacto con el solvente. Para la obtención de las muestras secas, los frutos se sometieron a un proceso de secado a temperatura ambiente (30–35 °C) hasta alcanzar peso constante, con el fin de minimizar la degradación de compuestos termo-sensibles; posteriormente, se molieron hasta obtener un polvo homogéneo y se almacenaron en condiciones de oscuridad hasta su procesamiento. La extracción se llevó a cabo empleando una relación sólido:solvente de 1:10 (p/v), colocando la biomasa vegetal en recipientes de vidrio ámbar y adicionando el volumen correspondiente de etanol al 70%. Las mezclas se mantuvieron en maceración a temperatura ambiente durante 48 horas, bajo agitación intermitente para favorecer la difusión de los metabolitos hacia el solvente. Al término del periodo de extracción, las suspensiones se filtraron para separar el extracto líquido del residuo sólido. El solvente de los extractos obtenidos se eliminó mediante evaporación a presión reducida en un rotavapor, manteniendo la temperatura del baño por debajo de 45 °C, hasta obtener extractos concentrados. Finalmente, los extractos etanólicos se almacenaron en frascos ámbar en refrigeración (2 °C) hasta su posterior análisis.

Determinación de fenólicos totales

Compuestos. El contenido de fenólicos totales compuestos (TPC) se cuantificó utilizando una modificación del Folin-Ciocalteu método (Ainsworth y Gillespie, 2007). Se mezclaron 50 μ L de extracto reconstituido con 3 ml de agua destilada en un tubo de ensayo. A continuación, se agregaron 250 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EE. UU.) y se agitó en un vórtex durante 10 segundos. Después de dejar reaccionar la mezcla durante 3 minutos, se añadieron 750 μ L de carbonato de sodio al 20% (p/v) y se agitó nuevamente durante 10 segundos. Posteriormente, se incorporaron 950 μ L de agua destilada, se agitó en vórtex y se dejó reaccionar la solución durante 2 horas a temperatura ambiente en un lugar oscuro. La absorbancia de la solución se midió a 765 nm utilizando un espectrofotómetro Genesys 10 UV (USA). El contenido fenólico se calculó mediante una curva de calibración con ácido gálico como estándar, y los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalente por gramo de muestra (mg AGE g^{-1}). Los análisis se realizaron por triplicado.

Cuantificación del contenido de flavonoides

Se empleó la técnica descrita por Baba y Malik (2015) para determinar el contenido total de flavonoides (FVT). Se colocaron 50 μ L de extracto de muestra en un tubo de ensayo y se añadió etanol hasta obtener 1 mL de solución. Luego, las muestras se mezclaron con 4 mL de agua destilada y 0.3 mL de solución de NaNO_3 al 5%, seguidas por la adición de 0.3 mL de solución de AlCl_3 al 10%. Las muestras se incubaron durante 5 minutos. Posteriormente, se añadieron 2 mL de solución de NaOH 1 M y se completó el volumen a 10 mL con agua bidestilada. La mezcla se dejó reaccionar durante 15 minutos. La cuantificación de flavonoides se realizó mediante espectrofotometría, midiendo la absorbancia a 510 nm. El contenido total de flavonoides se expresó en mg de equivalente de quercetina por gramo de muestra (mg QE g^{-1}). Los análisis se realizaron por triplicado.

Determinación del antioxidante total

El análisis de la capacidad antioxidante se llevó a cabo siguiendo una modificación de la técnica propuesta por Domínguez y Ordoñez (2018), utilizando el radical ABTS (2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio) (Sigma-Aldrich®, EE.UU.). Para las pruebas, se emplearon 10 μ L de muestra y 990 μ L de solución de ABTS ajustada. Después de 30 minutos de reacción, se midió la absorbancia a 734 nm mediante espectrofotometría. La curva de calibración se elaboró utilizando Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) como agente antioxidante, y los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra ($\mu\text{M equivalente Trolox g}^{-1}$).

Cuantificación de capsaicina

La determinación de capsaicina se realizó utilizando la técnica descrita por Moreno-Ramírez et al. (2018), adaptada a las condiciones del equipo utilizado (HPLC, Agilent Technologies, EE. UU.). El volumen de inyección fue de 10 μ L y se utilizó una columna C-18 de Agilent Technologies, EE. UU. (5 μ m, 4.6 mm x 50 mm). La fase móvil consistió en un gradiente de acetonitrilo (65:35) con un caudal de 1.0 mL min⁻¹ y un tiempo de corrida de 12 minutos. La capsaicina se identificó comparando los tiempos de retención con los del estándar de capsaicina (SIGMA-ALDRICH, EE. UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables de Compuestos fenólicos totales (CF)

Los polifenoles son una amplia clase de compuestos con poder reductor. Estudios previos han destacado la correlación positiva entre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante del chile (Bianchi & Lo Scalzo, 2018). Los compuestos polifenólicos llamaron la atención de científicos y especialistas relacionados con la salud porque actúan como antioxidantes y protegen al cuerpo humano del estrés oxidativo (Gulcin, 2020). Debido a sus beneficios positivos para la salud humana, los consumidores han aumentado la demanda de estos metabolitos secundarios, particularmente en vegetales como los pimientos, que se consumen en grandes cantidades en todo el mundo (Sagar et al., 2018).

En este estudio se obtuvieron resultados que varían entre los 54.4 y 111.2 mg AGE 100 g⁻¹ PF para las tres variedades analizadas en el experimento cuando la muestra fue analizada en peso fresco, mientras que para las muestras analizadas en peso seco los valores oscilaron entre 92.9 y 192.5 mg AGE 100 g⁻¹ PS. Estos resultados fueron reportados para dos muestras de jalapeño con distintos tratamientos orgánicos y una muestra de chile escorpión orgánico (Tabla 1). Por otro lado, los resultados obtenidos en esta investigación fueron similares en comparación con un estudio previo realizado con 63 chiles balcánicos, donde los valores variaron de 42 a 267 mg 100 g⁻¹ en contenido de fenólicos (Denev et al., 2019) con tratamientos similares a los utilizados en este experimento. Además, estos experimentos han notado la compleja caracterización de CF a partir de la alta diversidad de los cultivares de chile evaluados. Esta variabilidad en los fenólicos se desarrolla en las vías biogénicas de los flavonoides debido a que las plantas necesitan compuestos fenólicos para la pigmentación, el crecimiento, la resistencia a los patógenos y para muchas otras funciones. Por tanto, representan caracteres adaptativos que han sido sometidos a selección natural durante la evolución del fruto (Sonaniya et al., 2022).

Tabla 1. Compuestos fenólicos y Flavonoides presentes en variedades de chile bajo tratamientos orgánicos.

Variedad	CF (mg AGE 100 g ⁻¹)		FV (mg EQ 100 g ⁻¹)	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Jalapeño 1	54.46 ^F	92.92 ^D	29.84 ^D	222.05 ^B
Jalapeño 2	62.28 ^E	102.97 ^C	17.05 ^D	224.88 ^B
Escorpión	111.2 ^B	192.56 ^A	75.84 ^C	324.84 ^A

^{A-F} Las letras diferentes mostradas en la tabla indican diferencias estadísticas con un valor $p < 0,05$ para cada muestra evaluada.

Flavonoides totales (FV)

La elevada cantidad de fenoles y flavonoides en los extractos de *C. annuum* var. *acuminatum* pequeño y *C. annuum* var. *cerasiferum* contribuyó a sus capacidades antioxidantes. De manera similar, Takahashi et al. (2018) informaron altas propiedades antioxidantes de los extractos de *C. frutescens* desde las etapas verde a roja basándose en las pruebas de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y DPPH (Olatunji & Afolayan, 2019). Las evidencias sugieren que la concentración de flavonoides está correlacionada con el grado de madurez de la fruta, el morfotipo, la variedad local y el grupo varietal o cultivar (Meckelmann et al., 2015). De acuerdo a los análisis realizados en esta investigación los resultados para FV oscilaron entre 29.84 mg EQ 100 g⁻¹ como el valor menor en peso fresco y 324.8 mg EQ 100 g⁻¹ como la mayor cantidad de FV reportada en las muestras analizadas en peso seco (Tabla 1). Estos resultados se relacionan con los obtenidos en cuanto a CF ya que se observa que en las muestras de peso seco se reportan mayor cantidad de compuestos para ambas técnicas mostrando mayor cantidad en las muestras de chile escorpión, lo cual es coherente ya que los antioxidantes obtenidos son mayores en todas las técnicas realizadas en este experimento. Algunos experimentos revelan una alta variabilidad de FV en diferentes tipos de chiles, pero también en un mismo tipo de chile la variación podría reflejar un valor disperso en la concentración de dicho compuesto. Por ejemplo, el jalapeño ha oscilado entre 10 y 332 µg/g de flavonoides totales, el piquín ha oscilado entre 97 y 544 µg/g, entre otros (Blanco-Ríos et al., 2013).

Actividad antioxidante (AOX)

La literatura ha informado que los métodos FRAP (Benzie & Strain, 1996) y ABTS (Re et al., 1999) son efectivos para determinar la actividad antioxidante. Estos métodos son convenientes y fáciles de usar y brindan resultados confiables (Huei et al., 2020). Sin embargo, la sensibilidad superior de la técnica de ABTS en la detección de compuestos antioxidantes se refleja en las disparidades numéricas entre ambas técnicas (Ramírez-Aragón et al., 2024).

Las diferencias en la actividad antioxidante total observadas entre las diferentes muestras de chile en este estudio posiblemente obedezcan a la diversidad y complejidad de los compuestos antioxidantes presentes en los frutos, estas diferencias pueden atribuirse a diferentes factores, incluyendo fertilización, maduración del fruto, genotipo y otros (Rodríguez-Maturino et al., 2012).

En el presente estudio se obtuvieron datos que oscilaron entre 2.75 y 64.13 mg TROLOX 100 g⁻¹ para la técnica de DPPH para los análisis de las distintas muestras tanto en peso fresco como en seco (Tabla 2). En cuanto a la técnica de ABTS los resultados se reportaron con valores en el rango entre 64.21-100.2 mg TROLOX 100 g⁻¹. En los resultados mencionados anteriormente se hace referencia a la sensibilidad de ambas técnicas para la detección espectrofotométrica de metabolitos secundarios, siendo notorio que los datos en la técnica de ABTS son mayores para cada muestra analizada tanto en peso fresco como en peso seco.

Un experimento anterior informó que para la técnica de ABTS en chile los datos variaban de 89.25 a 141.25 $\mu\text{mol TROLOX g}^{-1}$ cuando los extractos se elaboraban a partir de semillas, y de 17.17 a 97.40 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ para extractos de pulpa (Sora et al., 2015). Por otro lado, las muestras evaluadas en un estudio diferente mostraron AOX elevado cuando los extractos fueron elaborados con pulpa (Huei et al., 2020), reportando valores desde 0.4 mg mL⁻¹ hasta 91.95 mg mL⁻¹. Dichos resultados tienen similitud con las muestras analizadas en el presente experimento, ya que el ensayo se realizó con muestras de pulpa. Otros autores (Carvalho et al., 2015) encontraron variabilidad para AOX de ocho genotipos de Capsicum con valores de 46.7 a 113 $\mu\text{mol TROLOX g}^{-1}$; en este estudio, el análisis mostró similitud con los resultados reportados para las muestras de chile utilizadas en el presente estudio.

Tabla 2. Actividad antioxidante de muestras de Chile con tratamientos orgánicos por las técnicas de ABTS Y DPPH.

Variedad	DPPH		ABTS	
	(mg TROLOX 100 g ⁻¹)		(mg TROLOX 100 g ⁻¹)	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Jalapeño1	53.62 ^B	2.75 ^E	64.21 ^C	96.78 ^A
Jalapeño2	62.58 ^A	7.21 ^D	75.63 ^B	98.11 ^A
Escorpión	37.58 ^C	64.13 ^A	78.02 ^B	100.2 ^A

^{A-D} Las letras diferentes mostradas en la tabla indican diferencias estadísticas con un valor $p < 0,05$ para cada muestra evaluada.

CONCLUSIONES

En el presente experimento se analizaron compuestos fitoquímicos en chiles jalapeños con tratamientos orgánicos, lo cual reveló diferencias en la composición química de los frutos. Se observó una diferencia significativa en la concentración de fitoquímicos (CF, FV y AOX) entre los chiles cultivados con métodos orgánicos y la comparación con un fruto de chile conocido comercial orgánico.

Los chiles jalapeños cultivados orgánicamente exhibieron niveles altos de compuestos fitoquímicos beneficiosos, en comparación con cultivos convencionales según la literatura publicada. Estos hallazgos sugieren que el cultivo orgánico puede potenciar la calidad nutricional y funcional de los chiles jalapeños, lo que puede tener implicaciones importantes para la salud pública y la agricultura sostenible. Sin embargo, se requieren más investigaciones para comprender completamente los mecanismos subyacentes y optimizar los métodos de cultivo orgánico para maximizar el contenido de fitoquímicos en los chiles jalapeños y otros cultivos.

LITERATURA CITADA

- Ainsworth, E. A., & Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877.
- Akhtar, F., Sharif, H. M., Mallick, M. A., Zahoor, F., Abdulmalik, A., Baig, W., & Murtaza, G. (2017). Capsaicin: Its biological activities and in silico target fishing. *Acta Pol. Pharm*, 74(2), 321-329.
- Baba, S. A., & Malik, S. A. (2015). Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume. *Journal of Taibah university for science*, 9(4), 449-454.
- Bailey, R. L., West, Jr, K. P., & Black, R. E. (2015). The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Annals of nutrition and metabolism*, 66(Suppl. 2), 22-33.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bianchi, G., & Lo Scalzo, R. (2018). Characterization of hot pepper spice phytochemicals, taste compounds content and volatile profiles in relation to the drying temperature. *Journal of food biochemistry*, 42(6), e12675.
- Blanco-Ríos, A. K., Medina-Juárez, L. Á., González-Aguilar, G. A., & Gámez-Meza, N. (2013). Antioxidant activity of the phenolic and oily fractions of different sweet bell peppers. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 57(2), 137-143.
- Carvalho, A. V., de Andrade Mattietto, R., de Oliveira Rios, A., de Almeida Maciel, R., Moresco, K. S., & de Souza Oliveira, T. C. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity of pepper (*Capsicum* sp.) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7457-7464.
- Castellanos, J. Z., Cano-Ríos, P., García-Carrillo, E. M., Olalde-Portugal, V., Preciado-Rangel, P., Ríos-Plaza, J. L., & García-Hernández, J. L. (2017). Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Science & Utilization*, 25(sup1), S70-S77.
- Denev, P., Todorova, V., Ognyanov, M., Georgiev, Y., Yanakieva, I., Tringovska, I., & Kostova, D. (2019). Phytochemical composition and antioxidant activity of 63 Balkan pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2510-2520.

- Domínguez, E., & Ordoñez, E. (2018). Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina c de zumos cítricos de lima dulce (*Citrus limetta*), limón tahití (*Citrus latifolia*), limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush) y mandarina cleopatra (*Citrus reshui*) almacenados en refrigeración. *RevIA*, 3(1).
- FAO (2020). Frutas y verduras-esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb2395es/>
- Fратиanni, F., d'Acierno, A., Cozzolino, A., Spigno, P., Riccardi, R., Raimo, F., ... & Nazzaro, F. (2020). Biochemical characterization of traditional varieties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) of the Campania region, Southern Italy. *Antioxidants*, 9(6), 556.
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of toxicology*, 94(3), 651-715.
- Huei, C. S., Azlan, A., Ismail, A., Shafie, N. H., & Sultana, S. (2020). Antioxidant and anti-obesity properties of local chilies varieties in Malaysia. *Journal of food science and technology*, 57, 3677-3687.
- Ilie, M. A., Caruntu, C., Tampa, M., Georgescu, S. R., Matei, C., Negrei, C., ... & Boda, D. (2019). Capsaicin: Physicochemical properties, cutaneous reactions and potential applications in painful and inflammatory conditions. *Experimental and therapeutic medicine*, 18(2), 916-925.
- Meckelmann, S. W., Riegel, D. W., Van Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., & Petz, M. (2015). Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native Peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.) grown in three different locations. *European Food Research and Technology*, 240, 273-283.
- Moreno-Ramírez, Y. D. R., Martínez-Ávila, G. C., González-Hernández, V. A., Castro-López, C., & Torres-Castillo, J. A. (2018). Free radical-scavenging capacities, phenolics and capsaicinoids in wild piquin chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Molecules*, 23(10), 2655.
- Moreno-Reséndez, A., Gómez- Fuentes, L., Cano-Ríos, P., Martínez-Cueto, V., Reyes-Carrillo, J. L., Puente-Manríquez, J. L., & Rodríguez-Dimas, N. (2008). Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *Terra latinoamericana*, 26(2), 103-109.
- Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2019). Comparative quantitative study on phytochemical contents and antioxidant activities of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. *The Scientific World Journal*, 2019.
- Palma, J. M., Terán, F., Contreras-Ruiz, A., Rodríguez-Ruiz, M., & Corpas, F. J. (2020). Antioxidant profile of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits containing diverse levels of capsaicinoids. *Antioxidants*, 9(9), 878.
- Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., López-Martínez, J. D., Nieto-Garibay, A., & García-Hernández, J. L. (2024). Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1).

- Ramírez-Aragón, M. G., Troyo-Diéguez, E., Preciado-Rangel, P., Borroel-García, V. J., García-Carrillo, E. M., & García-Hernández, J. L. (2023). Antioxidant profile of hot and sweet pepper cultivars by two extraction methods. *Horticultura Brasileira*, 40, 411-417.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rodríguez-Maturino, A., Valenzuela-Solorio, A., Troncoso-Rojas, R., González-Mendoza, D., Grimaldo-Juarez, O., Aviles-Marin, M., & Cervantes-Díaz, L. (2012). Antioxidant activity and bioactive compounds of Chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) and Habanero (*Capsicum chinense*): A comparative study. *J. Med. Plants Res*, 6(9), 1758-1763.
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(3), 512-531.
- Sarwar, S., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Boakye, Y. D., & Agyare, C. (2020). Fenugreek. In *Medicinal Plants of South Asia* (pp. 257-271). Elsevier.
- SAS Institute Inc. (2022) *SAS®* Software, versión 9.4. Cary, NC, EE. UU.: SAS Institute Inc.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - SIAP (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - SIAP (2018). Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Sonaniya, R., Singh, S. K., Shukla, R. S., & Bagde, V. P. (2022). Determination of phenols, ascorbic acid, capsaicin and colour values in chilli (*Capsicum annuum*L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(8), 801-808.
- Sora, G. T. S., Haminiuk, C. W. I., da Silva, M. V., Zielinski, A. A. F., Gonçalves, G. A., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2015). A comparative study of the capsaicinoid and phenolic contents and in vitro antioxidant activities of the peppers of the genus *Capsicum*: An application of chemometrics. *Journal of food science and technology*, 52, 8086-8094.
- Takahashi, M., Arakaki, M., Yonamine, K., Hashimoto, F., Takara, K., & Wada, K. (2018). Influence of fruit ripening on color, organic acid contents, capsaicinoids, aroma compounds, and antioxidant capacity of shimatogarashi (*Capsicum frutescens*). *Journal of Oleo Science*, 67(1), 113-123.
- Tripodi, P., Rabanus-Wallace, M. T., Barchi, L., Kale, S., Esposito, S., Acquadro, A., ... & Stein, N. (2021). Global range expansion history of pepper (*Capsicum* spp.) revealed by over 10,000 genebank accessions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(34), e2104315118.

- Vázquez-Casarrubias, G., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, Ma. T., Ramírez-Ayala, C., & Escalante-Estrada, L. E. (2011). Edad al trasplante y su efecto en el crecimiento y rendimiento de chile apaxtleco. *17*(1), 61–65.
- Verpoorte, R., & Alfermann, A. W. (Eds.). (2000). *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. Springer Science & Business Media.



Dinámica de Nitratos en la Producción de Lechuga en Acuaponía

Nitrate Dynamics in Lettuce Production in Aquaponics

Recibida em: 07/11/25

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap5

Itzel Guadalupe Alvarado-Móntez¹ 

Silvia Rodríguez-Pérez¹ 

Magdalena Galindo-Guzmán¹ 

Susana Torres-Valles¹ 

Alfredo Daniel Rivera-Zamarripa¹ 

Oscar Alan Segura-Echevarria¹ 

Juan Luis Ríos Plaza^{1‡} 



¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna, Calle Sin Nombre Sin Número Ejido Santa Teresa Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México C.P. 27942.

‡ Autor para correspondencia: jriosplaza@gmail.com

RESUMEN

Uno de los principales retos de la acuicultura es la acumulación de compuestos nitrogenados derivados de las excretas de los peces, lo que puede afectar la calidad del agua y aumentar los costos de producción asociados al manejo y tratamiento de efluentes. En este contexto, la acuaponía surge como una alternativa que integra la producción de peces y hortalizas, permitiendo el aprovechamiento de los nutrientes generados en el sistema mediante su asimilación por las plantas. El presente estudio se desarrolló en el invernadero experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna, con el objetivo de evaluar la dinámica de la concentración de nitratos y su relación con el desarrollo morfológico de la lechuga (altura) y la mojarra tilapia (longitud) producidas en un sistema acuapónico durante el periodo agosto–diciembre de 2021. Se realizaron mediciones semanales de la concentración de nitratos en el agua, así como del crecimiento de los peces y las plantas, a partir de muestras representativas. Los resultados mostraron un crecimiento progresivo tanto de las tilapias como de las plantas de lechuga, acompañado de fluctuaciones en la concentración de nitratos a lo largo del periodo de estudio. Las tendencias observadas sugieren que la asimilación de nitratos por parte de las plantas contribuyó a mantener la calidad del agua dentro de rangos adecuados para el desarrollo de ambos componentes del sistema. En conjunto, los resultados indican que la acuaponía puede favorecer un manejo más eficiente de los nutrientes y del recurso hídrico, lo que la posiciona como una alternativa con potencial para la producción integrada de alimentos en contextos con limitaciones de agua. No obstante, se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales que profundicen en la dinámica de los compuestos nitrogenados bajo condiciones de mayor carga biológica.

Palabras clave: sistemas integrados, reciclaje de nutrientes, producción sustentable, calidad del agua, interacción pez–planta.

SUMMARY

One of the main challenges in aquaculture is the accumulation of nitrogenous compounds derived from fish excreta, which can negatively affect water quality and increase production costs associated with effluent management. In this context, aquaponics has emerged as an alternative production system that integrates fish and vegetable cultivation, allowing the nutrients generated within the system to be reutilized through plant assimilation. The present study was conducted at the experimental greenhouse facilities of the Polytechnic University of the Laguna Region, with the objective of evaluating the dynamics of nitrate concentration and its relationship with the morphological development of lettuce (height) and tilapia mojarra (length) produced in an aquaponic system during the period from August to December 2021. Weekly measurements of nitrate concentration in the system water were performed, along with assessments of fish and plant growth based on representative samples. The results showed a progressive increase in both tilapia length and lettuce height throughout the study period, accompanied by fluctuations in nitrate concentration over time. The observed trends suggest that nitrate assimilation

by plants contributed to maintaining water quality within ranges suitable for the development of both biological components of the system. Overall, the findings indicate that aquaponics can promote more efficient management of nutrients and water resources, positioning it as a production alternative with potential for integrated food production in water-limited environments. However, further studies are needed to deepen the understanding of nitrogen compound dynamics under conditions of higher biological load and extended production cycles.

Index Words: integrated systems, nutrient recycling, sustainable production, water quality, fish–plant interaction.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la acuaponía ha despertado un interés creciente tanto a nivel internacional como en México, debido a su potencial para integrar la producción de peces y hortalizas en sistemas más sostenibles y resilientes. Este interés se ha visto impulsado por la necesidad de optimizar el uso de los recursos naturales en un contexto de cambio climático, escasez hídrica y crecimiento demográfico, particularmente en regiones con limitaciones ambientales (Goddek et al., 2019). La diversidad geográfica de México, que abarca desde zonas áridas y semiáridas hasta regiones de alta pluviosidad, representa un escenario con amplias oportunidades, pero también con importantes desafíos, para la implementación de sistemas acuapónicos adaptados a condiciones locales específicas (Savidov, 2013).

La acuacultura es una actividad productiva relativamente joven e innovadora, caracterizada por elevadas tasas de crecimiento a nivel mundial y una contribución cada vez mayor al suministro de alimentos de origen acuático. No obstante, el desarrollo sostenible de esta actividad depende en gran medida del uso eficiente del agua y del manejo adecuado de los residuos derivados de la alimentación y de las excretas de los peces. La acumulación de estos residuos puede comprometer la calidad del agua y afectar negativamente el crecimiento y la salud de los organismos cultivados, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas de recirculación y tecnologías orientadas a minimizar el impacto ambiental de la producción acuícola (FAO, 2023; Timmons et al., 2018).

Por otra parte, la producción de hortalizas en México desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria, la generación de empleo y la contribución al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola. Las hortalizas constituyen una fuente esencial de vitaminas, minerales y fibra en la dieta humana, y su producción local permite garantizar un suministro constante de alimentos frescos y nutritivos para la población (SAGARPA, 2018). Además, este sector genera una cantidad significativa de empleos en zonas rurales y periurbanas, abarcando actividades que van desde la siembra y el cultivo hasta la cosecha, el procesamiento y la comercialización, lo que contribuye al desarrollo económico local y a la reducción de la migración hacia áreas urbanas (SIAP, 2020). De acuerdo con datos oficiales, las hortalizas representan una proporción relevante del valor total de la producción agrícola nacional, con una contribución

significativa al PIB agropecuario (SIAP, 2021), y ofrecen a los productores la posibilidad de diversificar cultivos y optimizar el uso de la tierra y otros recursos productivos (SENASICA, 2019).

Dentro de este contexto, la lechuga (*Lactuca sativa*) destaca como uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica y alimentaria en México. Su amplia adaptabilidad a distintas condiciones climáticas y su demanda constante en el mercado interno y de exportación permiten su producción durante todo el año, consolidándola como un cultivo estratégico dentro de la horticultura nacional (Valdez y García, 2010). En este sentido, el cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos ha surgido como una alternativa eficiente e innovadora, al ofrecer ventajas como un uso más racional del agua y los nutrientes, un mayor control del ambiente de crecimiento y una reducción del impacto ambiental asociado con la agricultura convencional (Gómez y Martínez, 2017). Diversos estudios han demostrado que estos sistemas permiten un suministro continuo de agua y nutrientes directamente a las raíces, lo que favorece un crecimiento rápido y uniforme, reduce la incidencia de enfermedades y plagas, y mejora la calidad del producto final al eliminar el suelo como medio de cultivo (Tejada et al., 2018). En México, la adopción de la hidroponía para la producción de lechuga ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsado por el reconocimiento de sus beneficios productivos y ambientales, así como por el avance en la investigación y el desarrollo tecnológico en este campo (Rodríguez y Arrieta, 2009).

En el marco del creciente interés por sistemas alimentarios sostenibles, la acuaponía ha emergido como una alternativa integradora que combina la acuicultura y la hidroponía en un sistema de recirculación cerrado, donde los desechos metabólicos de los peces son transformados en nutrientes aprovechables por las plantas. Este enfoque ha cobrado especial relevancia en regiones con limitaciones de agua y suelo, ya que permite maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y reducir la generación de residuos. A nivel global, la acuicultura es uno de los sectores de producción de alimentos con mayor crecimiento y aporta aproximadamente el 50 % del alimento acuático destinado al consumo humano, lo que resalta la importancia de desarrollar modelos productivos más eficientes y ambientalmente responsables (FAO, 2023).

En México, la acuaponía presenta un potencial considerable para fortalecer la producción de alimentos, mejorar la eficiencia en el uso del agua y contribuir a la seguridad alimentaria, particularmente en regiones áridas y semiáridas. Estudios experimentales desarrollados en el norte del país han demostrado que los sistemas acuapónicos pueden mejorar la eficiencia hídrica, optimizar el reciclaje de nutrientes y favorecer el crecimiento simultáneo de peces y hortalizas bajo condiciones de baja tecnología, lo que resalta su viabilidad como alternativa productiva en contextos con recursos limitados (Cervantes-Vázquez et al., 2025). No obstante, la adopción generalizada de la acuaponía enfrenta diversos desafíos, entre los que se incluyen los costos iniciales de instalación, la necesidad de capacitación técnica especializada y ciertos obstáculos regulatorios. Asimismo, la limitada disponibilidad de estudios enfocados en la adaptación de estos sistemas a condiciones locales y en la evaluación de su viabilidad

económica y ambiental ha restringido su implementación a mayor escala (Takemura et al., 2017; Akhondali et al., 2021).

Desde la perspectiva de la calidad del agua en sistemas acuapónicos, resulta fundamental evitar la acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos como el amoníaco (NH_3), el ion amonio (NH_4^+) y los nitritos (NO_2^-), derivados de la descomposición del alimento no consumido y de los residuos metabólicos de los peces, ya que estos pueden afectar negativamente su salud y desempeño productivo (Timmons et al., 2018). En este contexto, los nitratos, producto final del proceso de nitrificación bacteriana, adquieren un papel central, al constituir una fuente esencial de nitrógeno para el crecimiento de las plantas dentro del sistema.

Los nitratos son fundamentales para el desarrollo de la lechuga en sistemas acuapónicos, ya que son absorbidos por las raíces y participan en procesos metabólicos esenciales relacionados con la síntesis de aminoácidos, proteínas y otros compuestos estructurales. Un suministro adecuado de nitratos favorece el crecimiento vegetativo, incrementa la producción de hojas y promueve el desarrollo del sistema radicular, lo que se traduce en una mayor productividad del cultivo (Ruiz et al., 2010). Asimismo, se ha documentado que la disponibilidad balanceada de nitratos puede influir positivamente en la calidad nutricional de la lechuga, incluyendo la concentración de antioxidantes y otros metabolitos de interés para la salud humana (Kopsell et al., 2007).

Además de su efecto sobre el crecimiento y la calidad nutricional, la concentración de nitratos en el agua puede influir en las características organolépticas de la lechuga. Niveles adecuados se asocian con un sabor fresco y una textura crujiente, mientras que concentraciones excesivas pueden inducir sabores amargos y una textura más fibrosa del tejido vegetal (Colla et al., 2013). De igual forma, se ha reportado que un suministro equilibrado de nitratos puede mejorar la tolerancia de las plantas al estrés ambiental, como condiciones de sequía o temperaturas elevadas, contribuyendo a una mayor estabilidad productiva del sistema (Ntatsi et al., 2013).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la dinámica de la concentración de nitratos y su relación con el desarrollo morfológico de la lechuga (altura) y la mojarra tilapia (longitud), producidas en un sistema acuapónico durante el periodo agosto–diciembre de 2021, en las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Región Laguna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Región Laguna en el periodo de agosto del 2021 a abril del 2022.

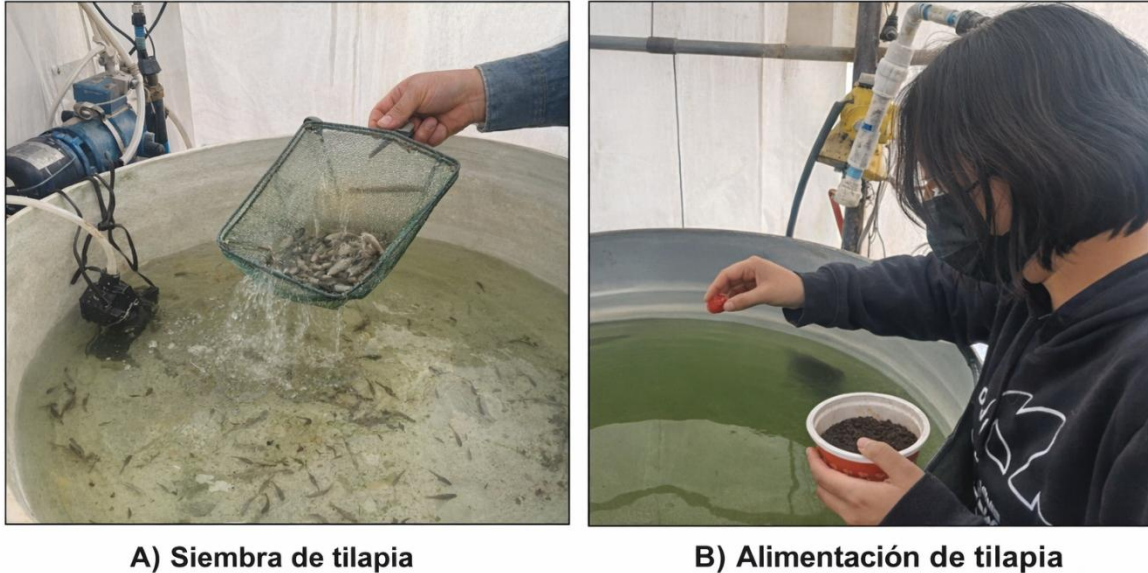


Figura 1. Operación en el sistema acuapónico: A) Siembra de tilapia y B) Alimentación diaria.

Siembra de tilapias

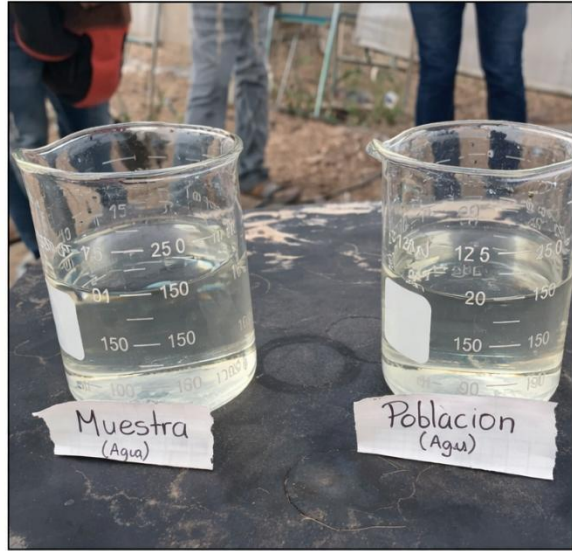
Para la producción de tilapia se sembraron 500 alevines de 1.9 cm en promedio de longitud y 2.13 gramos de peso en un tanque de 1200 litros de capacidad (Figura 1A), el cual contaba con dos termostatos para un control de temperatura a 29°C del agua, así mismo se les proporcionó una alimentación comercial para peces destinados a consumo humano de la marca Bluefish a libre demanda (Figura 1B), hasta que las tilapias alcanzaron un tamaño de 17 cm aproximadamente en promedio, ya luego se les cambio la alimentación por un alimento comercial para desarrollo de peces destinados a consumo humano de la marca Bluefish con una dosis de 4 gramos por individuo al día.

Trasplante de lechuga

Para la producción de lechuga, se llevaron a trasplante dentro de la acuaponía en balsas flotantes (Figura 2A), 100 individuos con una altura aproximada de 4.6 cm, las balsas flotantes estuvieron formadas por pliegos de unicel de 100 x 50 cm, con un espesor de 2 cm, en el cual se realizaron perforaciones circulares de 3 cm de diámetro, donde se colocarían las plantas de lechuga sujetas con un trozo de foami para que no se movieran de lugar las plantas. En cada charola se realizaron 25 perforaciones perfectamente distribuidas.



A) Trasplante de lechuga



B) Muestreo de agua

Figura 2. A) Trasplante de lechuga en acuaponía B) Medición de parámetros en agua.

Medición de Nitratos

Para la medición de nitratos se utilizó un aparato de la marca LAQWAtwin modelo NO3-11 que utiliza el principio de medición de electrodo selectivo de iones (ISE) con rango de 6 a 9900 ppm de nitratos (Figura 2B).

Medición de altura de planta

Para la medición de altura de planta de lechuga, se utilizó una regla de 30 cm, haciendo una medición cada 2 semanas desde el trasplante hasta la semana de cosecha (semana 8), tomando como parámetro la hoja más larga de la lechuga, teniendo en cuenta solamente 20 individuos como muestra representativa, de manera aleatoria, previamente seleccionadas y marcadas.

Medición de la talla de tilapias

Para la medición de la talla de las tilapias, se utilizó un vernier digital, previamente calibrado, seleccionando de manera aleatoria durante el experimento 50 individuos cada 2 semanas, a los cuales se les tomaba el largo desde la punta de la cola hasta la boca (Figura 3).



Figura 3. Medición de la talla de la tilapia de manera catorcenal.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel (Microsoft 365®). Debido al enfoque descriptivo y exploratorio del estudio, orientado a analizar la dinámica temporal de la concentración de nitratos y su relación con el crecimiento de los peces y las plantas dentro del sistema acuapónico, se empleó estadística descriptiva como herramienta principal de análisis.

Se calcularon valores promedio de la talla de los peces y de la altura de las plantas por cada día de medición, con el fin de obtener datos representativos de cada variable a lo largo del periodo experimental. Estos valores permitieron describir tendencias generales y patrones de comportamiento del sistema, sin el objetivo de establecer comparaciones estadísticas inferenciales entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una tendencia de crecimiento progresivo en la talla de las tilapias a lo largo del periodo de evaluación, tal como se observa en la Figura 4. Este comportamiento es consistente con lo reportado en la literatura para sistemas acuapónicos bien manejados, donde la calidad del agua y la disponibilidad continua de nutrientes favorecen un desarrollo adecuado de los peces (Goddek et al., 2019). El incremento gradual en la longitud de las tilapias sugiere que las condiciones del sistema fueron apropiadas para su crecimiento, sin evidenciar efectos adversos asociados a la acumulación de compuestos nitrogenados durante el periodo de estudio.

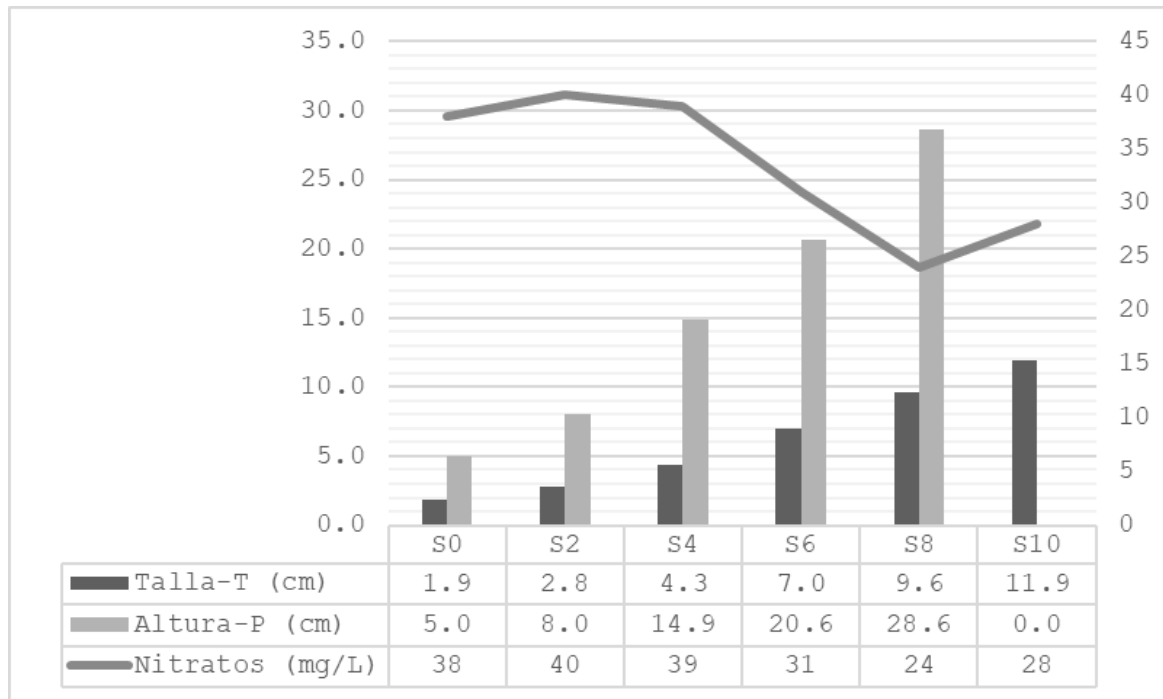


Figura 4. Dinámica semanal de nitratos respecto al crecimiento de planta (cm) y crecimiento de los peces (cm) en el sistema acuapónico.

De manera paralela, se observó un aumento sostenido en la altura de las plantas de lechuga, lo cual concuerda con estudios previos que documentan el buen desempeño de este cultivo en sistemas acuapónicos, donde los nutrientes derivados de los desechos metabólicos de los peces son aprovechados eficientemente por las plantas (Endut et al., 2010). Este crecimiento vegetal refleja la capacidad del sistema para mantener una disponibilidad adecuada de nutrientes, particularmente nitrógeno en forma de nitratos, elemento esencial para el desarrollo vegetativo de la lechuga.



Figura 5. Medición de parámetros en agua y acumulación de desechos de la tilapia en el agua del sistema.

La dinámica observada en la concentración de nitratos sugiere una relación funcional con el crecimiento simultáneo de peces y plantas dentro del sistema. A medida que las tilapias incrementaron su talla, se generaron compuestos nitrogenados producto de su metabolismo, los cuales fueron

transformados mediante procesos de nitrificación y posteriormente absorbidos por las plantas. Este equilibrio entre la producción de nitratos y su asimilación por la lechuga contribuyó a mantener concentraciones dentro de rangos adecuados para ambos organismos, evitando efectos negativos sobre la calidad del agua y favoreciendo la estabilidad del sistema acuapónico.

En conjunto, los resultados indican que el sistema evaluado permitió una interacción eficiente entre los componentes biológicos, evidenciada por el crecimiento concurrente de tilapias y lechugas y por la regulación natural de los nitratos en el agua. Si bien el presente estudio tiene un enfoque descriptivo y no pretende establecer relaciones estadísticas inferenciales, las tendencias observadas aportan evidencia relevante sobre el funcionamiento integral del sistema y resaltan la importancia del manejo adecuado de los nutrientes para optimizar la productividad en sistemas acuapónicos.

Se observó que, conforme avanzó el crecimiento de las plantas de lechuga, la concentración de nitratos en el agua del sistema mostró una tendencia a disminuir. Este comportamiento sugiere una mayor asimilación de nitratos por parte de las plantas a medida que incrementan su biomasa, lo cual es consistente con el funcionamiento esperado de los sistemas acuapónicos, donde los vegetales aprovechan los nutrientes derivados del metabolismo de los peces (Figura 4). Desde una perspectiva funcional, esta dinámica contribuye a la regulación de la calidad del agua y puede favorecer condiciones más estables para el desarrollo de los organismos acuáticos.

A pesar de las fluctuaciones observadas en la concentración de nitratos a lo largo del periodo de estudio, los valores se mantuvieron dentro de rangos considerados adecuados para el crecimiento vegetal en sistemas acuapónicos. Diversos estudios han reportado que concentraciones moderadas de nitratos favorecen el desarrollo de cultivos hidropónicos y acuapónicos, siempre que exista un equilibrio entre la producción y la absorción de nutrientes (Love et al., 2015; Goddek et al., 2019). Los valores registrados en el presente estudio se encuentran dentro de estos rangos funcionales, lo que sugiere un manejo adecuado de los nutrientes y una interacción eficiente entre los componentes del sistema.



Figura 6. Resultados de la producción de lechuga en acuaponía.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, el sistema acuapónico evaluado mostró un comportamiento funcional adecuado, evidenciado por el crecimiento concurrente de las plantas de lechuga y las tilapias, así como por la dinámica observada en la concentración de nitratos en el agua. Las tendencias registradas sugieren que la absorción de nitratos por parte de las plantas contribuyó a mantener la calidad del agua dentro de rangos favorables para el desarrollo de ambos componentes biológicos del sistema.

Desde una perspectiva productiva y ambiental, los resultados indican que la acuaponía representa una alternativa con potencial para la producción integrada de alimentos, al favorecer el aprovechamiento de los nutrientes generados en el sistema y promover un uso más eficiente del recurso hídrico. Este enfoque resulta especialmente relevante en contextos donde la disponibilidad de agua es limitada y se buscan estrategias de producción con menor impacto ambiental.

No obstante, los resultados obtenidos corresponden a un sistema de escala y periodo específicos, por lo que se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales que profundicen en la dinámica de los compuestos nitrogenados bajo condiciones de mayor carga biológica, particularmente en etapas avanzadas de crecimiento de los peces. Este tipo de investigaciones permitiría evaluar con mayor detalle

posibles efectos de acumulación y fortalecer las estrategias de manejo para garantizar la estabilidad y sostenibilidad de los sistemas acuapónicos.

LITERATURA CITADA

- Akhondali, A., Seidavi, A., Dadashbeiki, M., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2021). A critical review of aquaponic systems: Challenges and prospects with emphasis on environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 2650–2664. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11059-2>
- Cervantes-Vázquez, M. G., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Luna-Ortega, J. G., Galindo-Guzmán, M., Galindo-Guzmán, A. P., González-Torres, A., & Ríos-Plaza, J. L. (2025). Producción acuapónica de tilapia y lechuga en regiones semiáridas: Eficiencia hídrica y reciclaje de nutrientes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28, Article 153. <https://doi.org/10.56369/tsaes.6480>
- Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Svecova, E., Rea, E., & Lucini, L. (2013). Effects of saline stress on mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon genotypes grown in floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 1119–1127. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5871>
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., & Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511–1517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). The state of world fisheries and aquaculture 2023. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Dos-Santos, M., & Savidov, N. (2019). Aquaponics and global food challenges. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics food production systems* (pp. 3–25). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_1
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2020). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 12(17), 7005. <https://doi.org/10.3390/su12177005>
- Gómez, J. M. C., & Martínez, S. C. (2017). Hidroponía: Alternativa de cultivo para la producción de hortalizas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 913–924.
- Kopsell, D. A., Sams, C. E., Barickman, T. C., Morrow, R. C., & McElroy, J. S. (2007). Influence of electrical conductivity and spectral quality on growth and phytonutrient content of kale and basil grown in hydroponic systems. *HortScience*, 42(1), 91–95. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.91>
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). An international survey of aquaponics practitioners. *Plos One*, 10(7), e0132340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132340>

- Ntatsi, G., Savvas, D., Huntentburg, K., Druege, U., & Schwarz, D. (2013). Root-zone cooling delays leaf senescence and preserves fruit yield of sweet pepper grown under greenhouse conditions with high air humidity. *Annals of Applied Biology*, 163(1), 73–88. <https://doi.org/10.1111/aab.12037>
- Rodríguez, M. A., & Arrieta, M. C. (2009). Producción de lechuga en invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), 51–58.
- Ruiz, J. M., Rivero, R. M., López-Cantarero, I., Romero, L., & Sánchez, E. (2010). Effects of nitrogen supply on antioxidant systems in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 68(2), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.10.007>
- Savidov, N. (2013). World aquaponics: Status and challenges. *Aquaponics Journal*, 69, 24–28.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Atlas agroalimentario 2018. SAGARPA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. SIAP.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Estadísticas agroalimentarias. SIAP.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). Cifras que hablan de la importancia de la sanidad agroalimentaria en México. SENASICA.
- Takemura, A., Takano, H., Satoh, S., & Ushimaru, A. (2017). Aquaponics: Integrating fish feeding rates with nutrient dynamics for sustainable farming. *Aquaculture*, 473, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.021>
- Tejada, A. C., Del Ángel, M. F., & Ochoa, J. L. R. (2018). Evaluación de la producción de lechuga en sistemas hidropónicos en la región centro de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42(26), 737–746.
- Timmons, M. B., Guerdat, T. C., & Vinci, B. J. (2018). Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures.
- Valdez, L. L., & García, S. A. (2010). Diagnóstico y prospectiva de la producción de lechuga en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 45–58.



Orégano mexicano, propagación y sus propiedades fitoquímicas: una revisión

Mexican oregano, propagation and its phytochemical properties: a review

Recibida em: 17/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap6

Priscilla Yamilhet Montes-Orona^{1‡} 

José Luis García-Hernández¹ 

Georgina Ramírez-Aragón² 

Ulises Noel Gutiérrez-Guzmán¹ 

Jared Cenicerros-García¹ 



¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo Km. 32. Venecia, Gómez Palacio, Dgo. México. C.P. 35111

² 2TecNM-Campus Lerdo, Av. Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, Lerdo, Dgo 35150.

‡ Autor para correspondencia: pmontesorona@gmail.com

RESUMEN

Las plantas aromáticas poseen diversas propiedades organolépticas, nutraceuticas, farmacognósticas, entre otras. De acuerdo con su composición fitoquímica se observan diversos beneficios que ellas pueden proporcionar a la salud del consumidor. Dicho beneficio se conoce como “función”. De allí se deriva un término de uso muy común actualmente de “alimentos funcionales”. Los componentes que se obtienen de este tipo de plantas son utilizados en industrias variadas tales como: alimentaria, farmacéutica y cosmetología. El orégano es una planta aromática. Reconocida tradicionalmente como medicinal. Ya se han demostrado, algunas de sus propiedades, entre las que destacan la actividad antioxidante, hipoglucémica, hipotensiva, hipolipidémica y anticancerígena. Cuenta con una gran cantidad de especies distribuidas alrededor del mundo. México cuenta con cerca de 40 especies de orégano, es el segundo lugar en exportación a nivel mundial. La principal especie producida perteneciente al género *Lippia*. Sin embargo, la mayor parte de la producción de orégano en México se colecta de poblaciones naturales, situación que desencadena en una problemática de disminución de poblaciones naturales, poca regeneración natural y por supuesto, sobre explotación del recurso. Existe poca información acerca de la reproducción y manejo del orégano mexicano, por lo que en este trabajo se presenta una revisión de la información encontrada, enfatizando en la propagación y sus propiedades fitoquímicas.

Palabras clave: *Lippia*, orégano, plantas aromáticas

SUMMARY

Aromatic plants have various organoleptic, nutraceutical, pharmacognostic properties, among others. According to their phytochemical composition, various benefits are observed that they can provide to the consumer's health. This benefit is known as “function”. From there is derived a term that is currently very commonly used: “functional foods.” The components obtained from this type of plants are used in various industries such as: food, pharmaceutical and cosmetology. Oregano is an aromatic plant. Traditionally recognized as medicinal. Some of its properties have already been demonstrated, among which antioxidant, hypoglycemic, hypotensive, hypolipidemic and anticancer activity stand out. It has many species distributed around the world. Mexico has about 40 species of oregano, it is the second largest exporter in the world. The main species produced belonging to the genus *Lippia*. However, most of the oregano production in Mexico is collected from natural populations, a situation that triggers a problem of decreasing natural populations, little natural regeneration and, of course, overexploitation of the resource. There is little information about the reproduction and management of Mexican oregano, so this work presents a review of the information found, emphasizing the propagation and its phytochemical properties.

Index Words: *Lippia*, Oregano, aromatic plants

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas-medicinales han estado presentes desde tiempos remotos (CONABIO 2020). Tradicionalmente de uso en la preparación de alimentos por sus características culinarias. Además de ser una alternativa terapéutica para distintos problemas de salud (Farias et al., 2022). Es gracias a sus múltiples propiedades que en los últimos años han sido utilizadas en la industria alimentaria como conservadores, en farmacéutica, cosmetología y otras aplicaciones que se le han encontrado (Gallegos-Zurita, 2016). Orégano es el nombre común de varias especies vegetales con algunas características similares, cuyas familias son mencionadas posteriormente en este documento. Las plantas de orégano son herbáceas, caducifolias, con múltiples propiedades fitoquímicas. Se encuentra distribuido alrededor del mundo por una gran cantidad de especies endémicas e inducidas debido a su fácil adaptación (García-Pérez et al., 2012). La importancia de este tipo de plantas radica en sus características organolépticas, nutraceuticas, farmacognósticas, entre otras. Esas características varían de acuerdo con el quimiotipo, factores geográficos, climáticos y tiempo de cosecha (Pascual et al., 2001; Calvo-Irabién et al., 2014).

El orégano mexicano se desarrolla principalmente en las zonas áridas y semi-áridas de nuestro país, cuenta con cerca de 40 especies, distribuidas alrededor de más de 15 estados productores (León et al., 2020). México es el segundo lugar en exportación de orégano a nivel mundial, superado únicamente por Turquía, siendo *Lippia graveolens* la de mayor distribución geográfica e importancia económica en el país (García-Pérez et al., 2012). Sin embargo, la mayor cantidad de orégano que se recolecta en el país es de poblaciones naturales y existe poca información sobre la propagación y manejo (Troncoso, 1961). Diversos estudios sugieren desde la recolección de semillas, reproducción asexual (esquejes) y más recientemente el cultivo de tejidos para poder propagar el orégano, ya que presenta distintas limitantes a la hora de reproducirse (INIFAP, 2008). Es necesario implementar un manejo sostenible del recurso para evitar el deterioro y alteraciones en el ecosistema, así como buscar estrategias para la propagación de este, asegurar la prevalencia del recurso y evitar la sobre explotación de especies endémicas. Por otra parte, es importante generar metodologías para la obtención de plantas de orégano que nos proporcionen producto durante todo el año y de esta manera cumplir con la demanda actual del mercado.

GENERALIDADES E IMPORTANCIA ECONÓMICA

El orégano es una planta aromática-medicinal distribuida alrededor de todo el mundo. Se distribuye en zonas cálidas y montañosas, teniendo representantes en cuatro familias taxonómicas: Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae y Verbenaceae, siendo esta última a la cual pertenece la especie de orégano mexicano (*Lippia graveolens*) con mayor importancia económica en el país (García-Pérez et al., 2012). Como *Lippia graveolens* se reconoce a un amplio grupo de plantas, ha sido mencionada como una especie variable y polimórfica formada por poblaciones con características morfológicas, fenológicas y fitoquímicos distintas (Soto et al., 2007). El termino orégano puede resultar ambiguo debido a que es

utilizado para nombrar diversas especies, específicamente aquellas que son ricas en monoterpenos fenólicos (Villavicencio et al., 2007).

México cuenta con aproximadamente 40 especies conocidas como “orégano”, dentro de las cuales encontramos especies endémicas. La especie con mayor distribución geográfica en el país es *Lippia graveolens* o también llamada *Lippia berlandieri* (León et al., 2020). Se desarrolla en las zonas áridas y semiáridas de nuestro país, habita en suelos pedregosos, en laderas y cerros, se podría considerar parte de las comunidades de matorral submontano y en partes altas de la sierra (Huerta, 1997).

Es un arbusto caducifolio perenne, puede alcanzar hasta los 2.5 m de alto. Tiene tallos ramificados y ramas cortamente pilosas. Sus hojas son opuestas, alternas y de forma ovalada, produce flores pequeñas de color blanco en inflorescencias terminales muy ramificadas (Figura 1). Los frutos son capsulas en donde se encuentran las semillas, mismas que son de color café, ovoides y con un tamaño menor de 0.5 mm (León et al., 2020).



Figura 1. Orégano mexicano (*Lippia graveolens*). Fuente: herbario virtual CONABIO

Los principales estados productores de orégano en el país son Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Coahuila, Durango, Sonora, Sinaloa, Guanajuato, Guerrero, Michoacán, Morelos, Estado de México, Hidalgo, Querétaro, Puebla, Campeche, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Yucatán y Quintana Roo, Baja California Sur, Chihuahua y Jalisco (Rocha-Estrada et al., 2014) Distribuido en diferentes especies a lo largo del país (Figura 2). Siendo Coahuila, Chihuahua y Tamaulipas los que comercializan el 50% o más del orégano total del país (Silva, 2005).

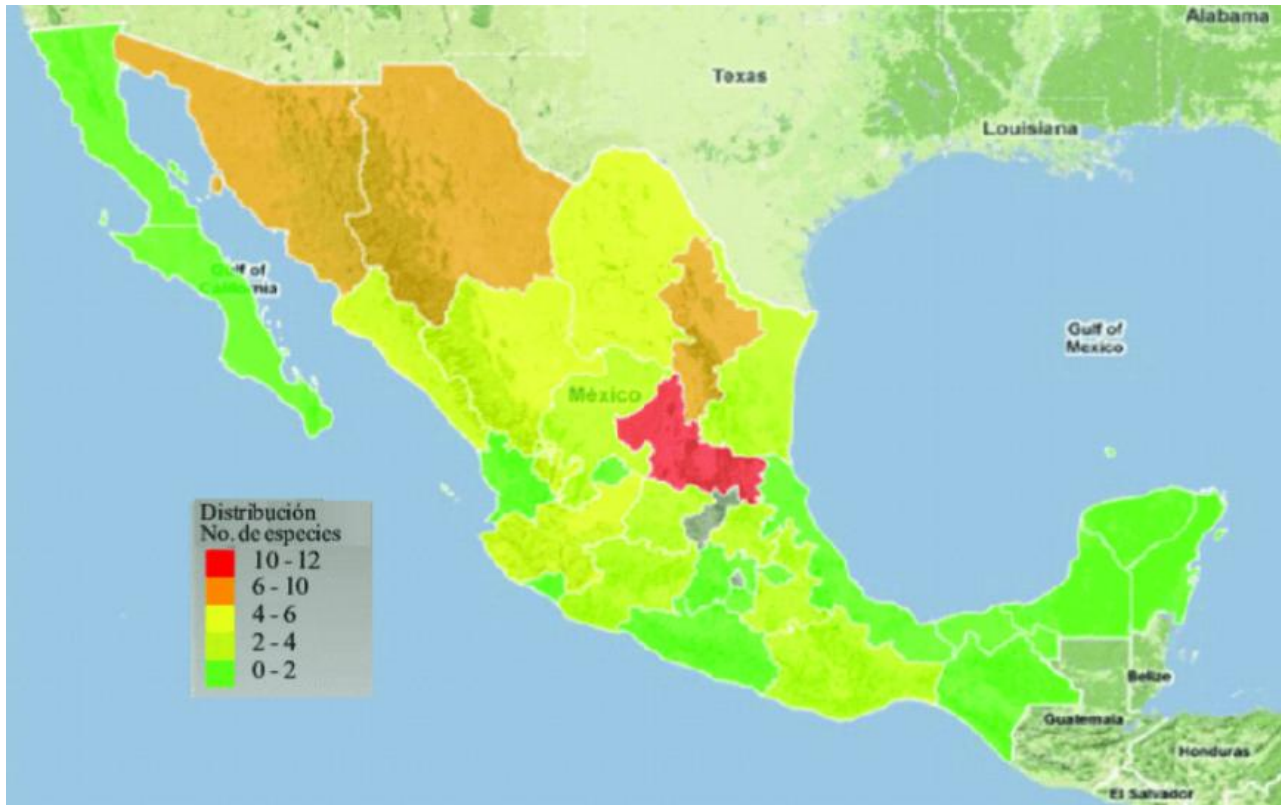


Figura 2. Mapa de distribución de especies de orégano en México. Con base en la información disponible del Herbario Virtual de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Debido a la diversidad de especies que habitan en nuestro país, México aporta alrededor del 35% de la producción mundial de orégano (CONABIO, 2005), ocupa el segundo lugar en exportación de orégano a nivel mundial, superado únicamente por Turquía (García et al., 2012). En México es uno de los productos forestales no maderables de mayor importancia económica, pues satisface cerca de la mitad del consumo de esta especie en Estados Unidos (Orona et al., 2017).

La principal especie comercial producida en México pertenece al género *Lippia* (Villavicencio et al., 2007) y su producción nacional está sujeta al volumen irregular que se obtiene de poblaciones naturales y al efecto que tiene la oferta y demanda internacional del producto (Martínez y Lara, 2003). Debido a que la producción se obtiene de poblaciones naturales en la época de floración, misma situación que desencadena en una problemática de disminución de poblaciones naturales, poca regeneración natural y por supuesto, sobre explotación del recurso (Troncoso, 1961).

Existe poca información acerca de la propagación de orégano, por lo que es necesario buscar estrategias sustentables para el manejo del recurso y así mismo generar metodologías para aumentar los volúmenes de producción y así poder cumplir con la demanda del mercado (SAGARPA, 2013). La Organización Mundial del Comercio (OMC) proyecta que la demanda insatisfecha de orégano en el mercado internacional será cada vez mayor (Gómez et al., 2011).

PROPAGACIÓN DEL ORÉGANO MEXICANO

Estudios realizados han sugerido estrategias de manejo agronómico del orégano, haciendo énfasis en la importancia de la recolección de semilla antes de la cosecha para regenerar las poblaciones (INIFAP, 2008). Sin embargo, en su mayoría es recolectado de poblaciones naturales, que al coincidir con su etapa de floración altera la obtención del fruto, semilla y por ende el reaprovechamiento del recurso (Ocampo-Velázquez et al., 2009). Por otra parte, se ha reportado que la propagación a través de semilla tiene bajo o nulo porcentaje de germinación, a pesar de aplicarse diversos tratamientos (Sandoval, 1982). Por lo que se ha propuesto su propagación asexual por un método tradicional a partir de esquejes con ayuda de fitohormonas y enraizadores comerciales (Corella et al., 2008). Otros autores mencionan que la utilización de cubiertas de plástico o vidrio coadyuvan al enraizamiento de los esquejes. (Hartmann y Kester, 1982). Existen distintos métodos para propagar plantas; sin embargo, no todas dan los mismos resultados, o presentan las mismas oportunidades de aprovechamiento.

La técnica de cultivo de tejidos es usada para el crecimiento de células, tejidos y órganos vegetales bajo condiciones axénicas (in vitro) para regenerar y propagar, ofreciendo ventajas sobre los métodos de propagación tradicionales (Iliev et al., 2010). Es una alternativa interesante para la propagación de cualquier planta ya que permite la obtención de plantas durante todo el año (Segretin et al., 2006).

Micropropagación in vitro de orégano

Las especies de orégano mexicano han atraído la atención de la comunidad científica debido a la diversidad de aplicaciones que se les puede dar. Este proceso se realiza mediante cuatro etapas 1) Establecimiento del explante o cultivo axénico; 2) Multiplicación in vitro; 3) Enraizamiento in vitro; y 4) Producción final de aclimatación en condiciones ex vitro (Figura 3) (Rodríguez, 2018; Iliev et al., 2010).

En la etapa 1) se recibe a la planta madre para iniciar con el proceso de cultivo in vitro, es necesario desinfectar el material vegetativo (explante: yemas axilares, yemas apicales, segmentos nodales) con una dosis específica de producto y tiempo de acuerdo con el material vegetativo elegido (Figura 4 A) (Hudson, 1987). El éxito dependerá de la calidad del explante a utilizar (Levitus et al., 2010). Para el caso del género *Lippia* se ha obtenido éxito en protocolos de asepsia en segmentos nodales y yemas apicales (Urrea et al., 2009).

En la etapa 2) los reguladores del crecimiento como citoquininas se incorporan a un medio de cultivo, esto para estimular la división celular y controlar el proceso de morfogénesis (Figura 4 B) (Van Staden et al., 2007). En las especies de *Lippia* se han obtenido diferentes resultados con la adición de citoquininas; Castellanos-Hernández et al, (2013), cultivaron explantes nodales de *Lippia graveolens* en medio MS suplementado con diferentes concentraciones de BAP, NAA y la combinación de ambos. Obteniendo resultados significativos en la activación de brotes axilares.

En la etapa 3) el enraizamiento puede ser realizado en condiciones de cultivo in vitro o ex vitro. En esta etapa, los brotes obtenidos en la etapa de multiplicación se transfieren a un medio sin reguladores de crecimiento o bien, que solo contenga hormonas de tipo auxinas. Sin embargo, en algunas plantas el proceso de multiplicación y enraizamiento sucede de forma simultánea (Figura 4 C) (Castillo, 2004).

La etapa 4) es la más vulnerable para el material vegetal, ya que cualquier alteración repentina de las condiciones ambientales puede provocar estrés en las plántulas, por lo que hay que ejercer un control sobre dichas condiciones para asegurar la mayor cantidad de plantas vivas en esta etapa (Figura 4 D).

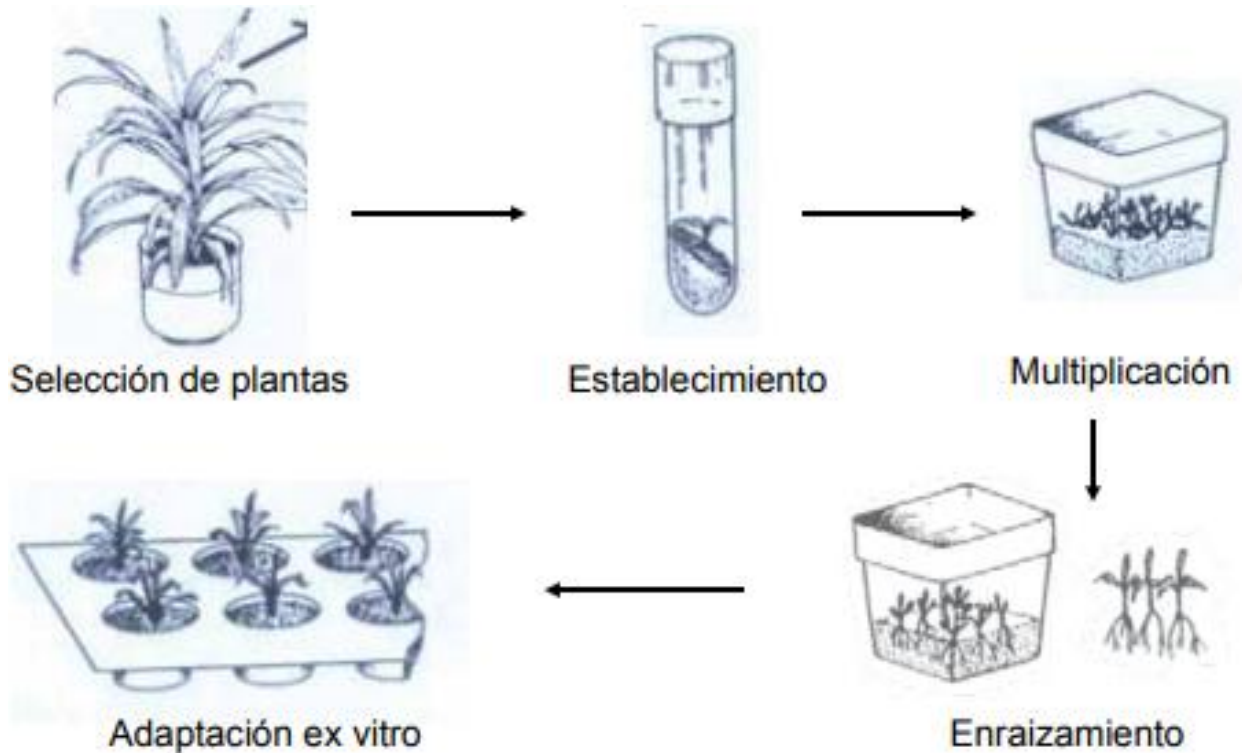


Figura 3. Etapas del proceso de micropropagación de plantas.

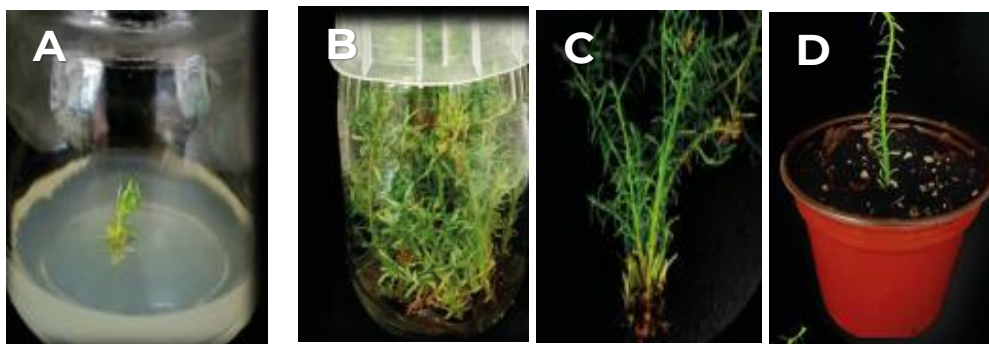


Figura 4. Estados de la micropropagación de plantas. Establecimiento A); Multiplicación B); Enraizamiento C) y Producción final D).

COMPOSICIÓN FITOQUÍMICA

Los compuestos volátiles que componen los aceites esenciales son metabolitos secundarios que se sintetizan a partir de tres rutas biosintéticas: la ruta del malonato para los sesquiterpenos, la ruta del metil-eritritol para los monos y diterpenos, y la ruta del ácido chiquímico para los fenilpropanos. Dichos compuestos son producidos por la planta como resultado a diferentes tipos de estrés a los que puede estar sometida la planta (estrés hídrico, radiación solar, defensa contra insectos etc.) (Silva et al., 2021).

Diversos estudios demuestran que los aceites esenciales y extractos acuosos del orégano contienen flavonoides como apigenina y luteolina, agliconas, alcoholes alifáticos, compuestos terpénicos y derivados del fenilpropano (Justesen y Knuthsen, 2001). En los aceites esenciales de *Lippia graveolens* contienen limoneno, β -cariofileno, r -cimeno, canfor, linalol, α -pineno y timol, los cuáles pueden variar de acuerdo con el quimiotipo, para el género *Lippia* se conocen tres: C (Carvacol), S (Sesquiterpenos) y T (Timol) (Pascual et al., 2001; Calvo-Irabién et al., 2014). Los monoterpenos timol (10.4%) y carvacol (43.7%) son los componentes mayoritarios (Figura 5) y los indicadores de la calidad comercial de los aceites esenciales de orégano (Leyva-López et al., 2017).

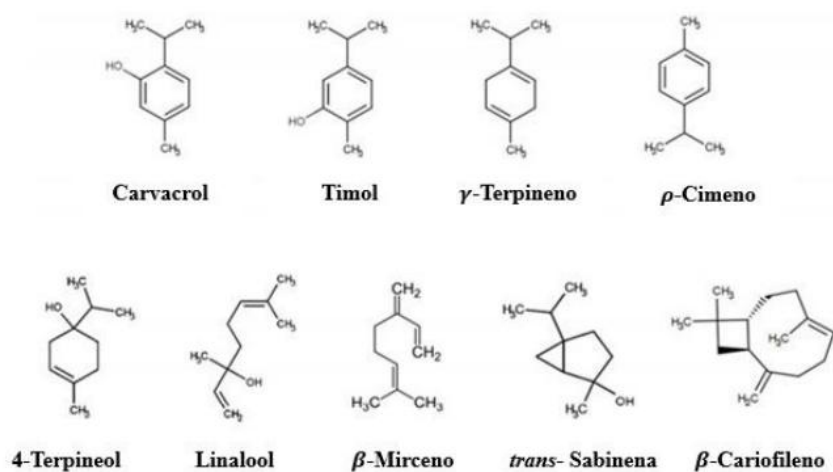


Figura 5. Estructura química de los compuestos encontrados en mayor proporción en el aceite esencial de orégano.

Por otra parte, se ha reportado que la cantidad y el tipo de los metabolitos secundarios presentes en los aceites esenciales dependen principalmente de la variabilidad genética entre las plantas, así como de otros factores geográficos, climáticos y el tiempo de cosecha (León et al., 2020; Cortés-Chitala et al., 2021).

En la Tabla 1 se muestran los principales compuestos fitoquímicos encontrados en el aceite esencial de *Lippia graveolens*.

Tabla 1. Compuestos fitoquímicos presentes en el aceite esencial del orégano mexicano *Lippia graveolens*.

Compuesto químico	Quimiotipos		
	C (%)	S (%)	T (%)
Carvacol	66	1.24	0.44
p -Cimeno	11.8	9.57	0.91
Oxido de cariofileno	2.29	7.37	0.91
β -Cariofileno	1.45	15.02	1.21
α -Humuleno	0.75	7	0.83
Eucaliptol	0.59	1.83	0.43
γ -Terpineno	0.04	0.11	0.19
Timol	6.18	4.16	79.53
Borneol	0.13	1.30	0.07
α -Terpineol	0.13	2.91	0.014
Timol metil éter	0.83	0.52	2.07
3-tert-butil-4-hidroxianisol	3.32	ND	0.76
Epóxido de humuleno II	1.20	4.34	0.51
γ -Eudesmol	0.22	11.68	0.08
Caryophylla-4(12),8(13)-dien-5 α -ol	0.15	19.89	0.08
β -Eudesmol	0.09	9.56	ND
α -Eudesmol + α -Cadinol	0.15	12.84	0.16

*No Detectado (ND). Fuente: Calvo-Irabién *et al.* (2014) y Barbieri *et al.* (2018).

Como se puede observar en la Tabla 1, el timol y carvacol son los compuestos activos que se encuentran en mayor proporción en el aceite esencial del orégano mexicano. Razón por la cual han sido protagonistas de diversos estudios en los últimos años (Tabla 2). Presentan propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes, antifúngicas, antivirales, entre otras (Ávila-Sosa et al., 2010). Son de potencial valor económico para las diferentes industrias, por lo que la producción de orégano mexicano enfatizando en la calidad fitoquímica debe ser de los principales objetivos de la comunidad agro-biotecnológica.

Tabla 2. Estudio de la composición biológica de *L. graveolens* En un periodo de observación de 1980-2012. Base de datos de *Scopus* (*Elsevier*).

Especie Vegetal	Nº total de registros (1980-2012)	Países con mayor Nº de publicaciones	Actividad biológica estudiada	Componentes mayoritarios del aceite esencial
<i>Lippia graveolens</i>	46	México (30) Brasil (7) EE. UU. (5) Guatemala (4)	Antimicrobiana (12) Antifúngica (11) Antibacteriana (6) Antioxidante (6) Antiprotozoica (2)	1,8-Cineol, felandrenos, α -cimenol, terpinenos, carvacrol, timol y sus éteres y ésteres, β -cariofileno

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de revisión se constató que existe carencia en la información de las especies que habitan en nuestro país, desde su identificación, manejo, composición, propagación etc. Existe poca información actualizada sobre dichos puntos, por lo que resulta ser una línea de investigación bastante atractiva para la comunidad científica. Es necesario generar información para ampliar el conocimiento sobre aspectos básicos de manejo, propagación y composición, que permitan obtener producciones sustentables y homogéneas.

El orégano mexicano sin duda es una planta con potencial económico que con conocimiento científico se puede aprovechar en su totalidad, tanto como fuente poco explorada de nuevos compuestos bioactivos, calidad fitoquímica y obtención de aceite esencial. Obtener la tecnificación del cultivo de orégano de mexicano (*Lippia graveolens*) preferiblemente de manera orgánica, podría representar el desarrollo de una nueva industria para la obtención de subproductos agrícolas, extractos, aceites esenciales y derivados con alto valor agregado. Además de la generación de empleos, mayor alcance a productos naturales y menor impacto a nuestro ecosistema.

LITERATURA CITADA

- Ávila-Sosa, R.; Gastélum-Franco, M. G.; Camacho-Dávila, A.; Torres-Muñoz, J. V., & Nevárez-Moorillón G. V. (2010). Extracts of mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) with antioxidant and antimicrobial activity. Food Bio. Technol. 3(3):434-440.
- Barbieri, N., Sánchez-Contreras, A., Canto, A., Cauich-Rodríguez, J. V., Vargas-Coronado, R., & Calvo-Irabién, L. M. (2018). Effect of cyclodextrins and Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) chemotypes on the microencapsulation of essential oil. Industrial crops and products, 121, 114-123.
- Calvo-Irabién, L. M., Parra-Tabla, V., Acosta-Arriola, V., Escalante-Erosa, F., Díaz-Vera, L., Dzib, G. R., & Peña-Rodríguez, L. M. (2014). Phytochemical Diversity of the Essential Oils of Mexican

- Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) Populations along an Edapho-Climatic Gradient. Chemistry & biodiversity, 11(7), 1010-1021.
- Castellanos-Hernández, O. A., Acevedo-Hernández, G. J., Torres-Morán, M. I., Zurita, F., Gutiérrez-Lomelí, M., Del Toro-Sánchez, C. L., & Rodríguez-Sahagún, A. (2013). In vitro clonal propagation and regeneration of the commercially important plant Mexican oregano (*Lippia graveolens*). In Vitro Cellular & Developmental BiologyPlant, 49(5), 620-625.
- Castillo, A. (2004). Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. Las Brujas, Uruguay: AR-VITRO, INIA.
- CONABIO - Comisión Nacional de Biodiversidad (2005). Orégano Mexicano: Oro Vegetal. Biodiversitas 15:8-13.
- CONABIO- Comisión Nacional de Biodiversidad (2020). Plantas medicinales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd. De México.
- Corella, R., Ortega, M., Robles, M., Borboa, J. & Mc Caughey, D. (2008). El cultivo de orégano *Lippia palmeri* Watson, en el estado de Sonora. Tercera reunión anual sobre orégano; Saltillo, Coahuila, México. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición Especial Núm. 1-2008. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-01-2008/index.html>
- Cortés-Chitala, M. D. C., Flores-Martínez, H., Orozco-Ávila, I., León-Campos, C., Suárez-Jacobo, Á., Estarrón-Espinosa, M., & López-Muraira, I. (2021). Identification and quantification of phenolic compounds from mexican oregano (*Lippia graveolens* HBK) hydroethanolic extracts and evaluation of its antioxidant capacity. Molecules, 26(3), 702
- Gallegos-Zurita, M. (2016). Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina*, 77(4), 327-332.
- García-Pérez, E., F. F. Castro-Álvarez, Gutiérrez-Urbe, J. A., & García-Lara, S. (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 339-353. Recuperado en 06 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200010&lng=es&tlng=es.
- Gómez, L. C. F., Orejón, E. D. F., & Raymundo, S. J. A. (2011). Proyecto de exportación de orégano seco al mercado de Brasil. Instituto Continental. Huancayo, Perú.
- Hartmann, H, & Kester, D. E. (1982). Propagación de Plantas. Ed. CECSA. México.
- Huerta C. (1997). Orégano mexicano: oro vegetal. Conabio. Biodiversitas 15, 8-13.
- Iliev, I., Gajdosová A., Libiaková G. & Jain S. M. (2010). Plant micropropagation in Plant Cell Culture Essential Methods. Eds. Davey and Anthony: Wiley-Blackwell. 358 pp
- INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2008). Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. Subsecretaría de fomento y normatividad ambiental.

Dirección general del sector primario y recursos naturales renovables, SEMARNAT, México, D. F. 22-30 p.

- Justesen, U., & Knuthsen, P. (2001). Composition of flavonoids in fresh herbs and calculation of flavonoid intake by use of herbs in traditional Danish dishes. *Food Chemistry*; 73, 245-250.
- León, D. D., González-Álvarez, M., Guzmán-Lucio, M. A., Núñez-Guzmán, G. R., & Moreno-Limón, S. (2020). The oregano of the genus *Lippia* (Verbenaceae) and *Poliomintha* (Lamiaceae) in the State of Nuevo León, Mexico. *Polibotánica*, (50), 1-18
- Levitus, G., Echenique, V., Rubinstein, C., Hopp, E., & Mroginski, L. (2010). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, 258 pp.
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. B. (2017). Essential oils of oregano: Biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, 22(6), 989.
- Martínez, B. O. U. & Lara, G. G. J. (2003). Potencial productivo de áreas de temporal en el estado de Coahuila. Una propuesta de conversión productiva. INIFAPCIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial, (1). Coahuila, México. 89 pp.
- Ocampo-Velázquez, R. V., Malda-Barrera, G. X., & Suárez-Ramos, G. (2009). Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en tres condiciones de aprovechamiento. *Agrociencia*, 43(5), 475-482. Recuperado en 07 de marzo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000500003&lng=es&tlng=es.
- Orona, C. I., Salvador, A. A. J., Espinosa, A. J. J., & Vázquez, V. C. (2017). Recolección y comercialización del orégano (*Lippia* spp.) en el semi-desierto mexicano, un caso de estudio: reserva ecológica municipal sierra y cañón de Jimulco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41, 684-695. ISSN: 1405-9282.
- Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, E., Sánchez-Mata, D., Villar, A. (2001). *Lippia*: traditional uses, chemistry and pharmacology: A review. *J. Ethnopharmacol*: 76, 201-214.
- Rodríguez, A. M. (2018). Cultivo In vitro: Alternativa al Cultivo tradicional de plantas medicinales. Universidad Complutense, Madrid, España.
- Sandoval, C. H. G. (1982). Investigaciones realizadas sobre orégano (*Lippia palmeri*). Centro de Investigaciones del Noroeste. (Inédito).
- Silva, S. G., de Oliveira, M. S., Cruz, J. N., da Costa, W. A., da Silva, S. H. M., Maia, A. A. B., ... & de Aguiar-Andrade, E. H. (2021). Supercritical CO₂ extraction to obtain *Lippia thymoides* Mart. & Schauer (Verbenaceae) essential oil rich in thymol and evaluation of its antimicrobial activity. *The Journal of Supercritical Fluids*, 168, 105064.
- Soltani, S., Shakeri, A., Iranshahi, M., & Boozari, M. (2021). A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of *Origanum vulgare* L. and Subspecies. *Iran. J. Pharm. Res. IJPR*, 20, 268–285.

- Soto, R. J., Hernández A. F., Franco, R. C., & Silva, R. (2007). Identificación y selección de genotipos de orégano (*Lippia berlandieri* Schauer) sobresalientes en producción de timol y carvacrol. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 6(1), 25-36
- Soto, R. J., Hernández, A. F., Franco, R. C., & Silva, R. (2007). Identificación y selección de genotipos de orégano (*Lippia berlandieri* Schauer) sobresalientes en producción de timol y carvacrol. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 6(1), 25-36.
- Stashenko, E. E., Martínez-Jairo, R., Duran-Diego, C., Córdoba Y., & Caballero, D. (2014). Estudio comparativo de la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales de algunas plantas del género *Lippia* (*Verbenaceae*) cultivadas en Colombia. CIBIMOL-CENIVAM, Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 38(Supl.):89-105
- Troncoso, N. S. (1961). Las *Lippia* (Verbenaceae) descritas del Paraguay por Robert Chodat y John Briquet. Darwiniana 12: 256–292.
- Urrea, A. I., Castrillón, P. A., & Monsalve, Z. (2009). Propagación in vitro y dediferenciación tisular en *Lippia dulcis*. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Colombia. Actualidades Biológicas, 31 (90), 21-29.
- Van-Staden, J. E., & Zazimalova-George, E. F. (2007). Plant Growth Regulators II: Cytokinins, their Analogues and Antagonist. In George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G. J Plant propagation by tissue culture 3rd Edition The Background Exegetic Basingstone UK. 205-226 pp.
- Villavicencio, E., Martínez, O., Cano, A. & Berlanga, C. (2007). Orégano, recurso con alto potencial. Ciencia y Desarrollo. 33:60-66.



Efectos de la Fertilización Orgánica e Inorgánica en el cultivo de Chile Jalapeño *Capsicum annuum* L. var. Autlan en las Características Físico-Químico-Biológicas del Suelo

Effects of Organic and Inorganic Fertilization in the Cultivation of Jalapeño Pepper *Capsicum annuum* L. var. Autlan in the Physical-Chemical-Biological Characteristics of the Soil

Recibida em: 12/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap7

J. Guadalupe Luna-Ortega^{1‡} 

Oscar Alan Segura-Echevarría¹ 

David Antonio Zúñiga-Gracia¹ 

María Gabriela Cervantes-Vázquez² 

Jorge Alberto Ramos-Hernández¹ 

Mario García-Carrillo³ 

Tomás Juan Álvaro Cervantes-Vázquez² 



¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna. Ejido Santa Teresa S/N, San Pedro de las Colonias, Coahuila.

² Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km. 35, ejido Venecia. C.P. 35111. Gómez Palacio, Durango, México.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio. Narro. Unidad Laguna. Carretera a Santa Fé y Periférico s/n, Col Valle Verde. Torreón, Coahuila.

‡ Autor para correspondencia: lupe_lunao@yahoo.com.mx

RESUMEN

México cuenta con las condiciones agroclimáticas para la producción comercial de chile. El chile jalapeño es originario de este país y perteneciente al género *Capsicum* y a la especie *annuum*, y es considerada la especie más célebre y difundida en el mundo. México reporta cada año un sin número de hectáreas de cultivo de chile, donde el tipo jalapeño ocupa el primer lugar. Para lograr una nutrición adecuada y sustentable para este cultivo, como posible solución se han estudiado las ventajas que ofrecen los distintos abonos orgánicos, que influyen sobre la fertilidad de los suelos mejorando sus propiedades. En el presente estudio se evaluaron los efectos de diferentes abonos orgánicos y un fertilizante químico sobre el cultivo de chile jalapeño, así como sus características fisicoquímicas y microbiológicas. Los fertilizantes utilizados, fueron: Estiércol solarizado 20 ton/ha⁻¹, tratamiento control testigo, estiércol solarizado 40 ton/ha⁻¹, tratamiento químico (MAP) 100 kg/ha⁻¹, lombricomposta 20 ton/ha⁻¹, lombricomposta 40 ton/ha⁻¹. Los resultados mostraron que los tratamientos a base de lombricomposta con 20 y 40 ton/ha⁻¹ presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos a base de estiércol y químico considerando el rendimiento, calidad de fruto, contenido de materia orgánica, humedad, conductividad eléctrica, contenido de nitratos, así como del contenido de fosforo soluble.

Palabras clave: Estiércol, lombricomposta, *Capsicum*

SUMMARY

Mexico has the agro-climatic conditions for the commercial production of chili. The jalapeño chili being native to this country and belonging to the genus *Capsicum* and the species *annuum*, considered the most famous and widespread species in the world. Every year, Mexico reports countless hectares of chili cultivation, where the jalapeño type occupies first place. To achieve adequate and sustainable nutrition for this crop, as a possible solution, the advantages offered by different organic fertilizers have been studied, which influence the fertility of the soil by improving its properties. In the present study, the effects of different organic fertilizers and a chemical fertilizer on the jalapeño pepper crop were evaluated, as well as their physicochemical and microbiological characteristics. The fertilizers used, as well as their concentrations, were as follows: Solarized manure 20 ton/ha⁻¹, control treatment, solarized manure 40 ton/ha⁻¹, chemical treatment (MAP) 100 kg/ha⁻¹, vermicompost 20 ton/ha⁻¹, vermicompost 40 ton/ha⁻¹. The results showed that the vermicompost-based treatments with 20 and 40 tons/ha⁻¹ showed significant differences compared to the manure and chemical-based treatments considering yield, fruit quality, organic matter content, moisture, electrical conductivity, nitrate content, as well as soluble phosphorus content.

Index words: Manure, vermicompost, *Capsicum*

INTRODUCCIÓN

Desde el año 1993, la producción y el comercio mundial de chiles (*Capsicum annuum* L.) ha presentado un incremento del 8% anual en volumen y del 11% en los ingresos. El aumento se debe a la demanda creciente de este producto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para usos de tipo industrial (Azofeifa; Moreira, 2008).

México cuenta con las condiciones agroclimáticas apropiadas para la producción de chile y lograr altos rendimientos por área. Sin embargo, existe muy poca información de los requerimientos nutricionales durante el ciclo de la planta y los períodos de máxima absorción de los nutrimentos. La absorción de nutrimentos es un fenómeno metabólico que ocurre en cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes (Azofeifa; Moreira, 2008).

Para llegar a incrementar y mantener su producción comercial en sus valores óptimos, es necesario controlar todos los factores que benefician su producción, destacando la nutrición nitrogenada y potásica. El chile jalapeño, como todas las demás especies de interés agronómico, requiere de cantidades específicas de nutrimentos y agua para alcanzar altos rendimientos (Alonso et al., 2001).

Este cultivo en particular requiere una baja cantidad de nitrógeno por hectárea en las etapas de desarrollo vegetativo e inicio de la floración, en el caso del potasio sería desde la siembra hasta el inicio de la floración, después, los requerimientos de nitrógeno se incrementan hasta alcanzar su absorción máxima durante el crecimiento del fruto y después ésta empieza a declinar, a la vez que se incrementa la absorción de potasio para favorecer el crecimiento de los frutos e inducir sobre éstos, calidad y sanidad (Alonso et al., 2001).

Para lograr una nutrición adecuada y sustentable para el cultivo de chile jalapeño como posible solución, diferentes investigadores han estudiado las ventajas que ofrecen los distintos abonos orgánicos, los cuales influyen sobre la fertilidad de los suelos mejorando, tanto sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ventajas que difícilmente se lograrán con los fertilizantes sintéticos (Acosta et al., 2013).

Los abonos orgánicos pueden controlar los patógenos del suelo. Con su adición aumentan el número de nematodos saprófitos y depredadores, además del número de microorganismos benéficos para la planta, hongos y otros enemigos naturales de los nematodos fitoparásitos, lo cual reduce los niveles de infestación de forma satisfactoria (Puertas; Hidalgo, 2009).

Actualmente, con la idea de utilizar menos agroquímicos, la producción de alimentos se está enfocando hacia una agricultura orgánica en la que se manejan compostas, en las cuales se utilizan residuos vegetales, excretas animales y condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación. El proceso de compostaje permite que la materia orgánica se descomponga rápidamente y es aquí cuando las temperaturas suben a más de 50°C, propiciando el decremento del número de bacterias patógenas (Ferrara; Alarcón, 2007).

La importancia de utilizar abonos orgánicos crece cada día debido a los múltiples beneficios que estos otorgan, por lo tanto, las investigaciones al respecto son muy importantes, ya que las mismas nos

mostrarán el comportamiento adecuado que se debe tener con estos, sus características y principales aportaciones. En el presente trabajo se evaluó los efectos de abonos orgánicos y un fertilizante químico sobre el cultivo de chile jalapeño, así como características fisicoquímicas y microbiológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo de chile jalapeño fue establecido en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango ubicada en el Km. 35 de la carretera Gómez Palacio - Tlahualilo, en el poblado Venecia, Durango, cuyas coordenadas son: 25°46'56" Latitud N; 103°21'02" Longitud W.

Los análisis fisicoquímicos correspondientes al cultivo se realizaron en los laboratorios de agua, planta y suelo de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Así mismo cabe hacer mención que los análisis microbiológicos fueron realizados en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango ubicada en el núcleo universitario en la ciudad de Gómez Palacio, Durango.

La investigación fue realizada durante el ciclo de producción agrícola primavera-verano del año 2020. Se realizó un barbecho, un rastreo y paso de escropa, comenzando con el desarrollo de la plántula de chile jalapeño en almacigo dentro de un invernadero durante el mes de febrero, prosiguiendo con su establecimiento en campo a cielo abierto en el mes de marzo, logrando cuatro cortes de fruto y concluyendo con el levantamiento del cultivo en octubre del mismo año.

Producción de Abonos Orgánicos

La producción de abonos orgánicos se desarrolló de igual manera en el campo experimental de la FAZ-UJED. El proceso de solarización del estiércol vacuno lechero comenzó apilando este en un montículo de 1.0 m de alto por 2.0 m de ancho y 3.0 m de largo. Este se cubrió con un plástico de polietileno transparente el cual fue sujetado apilando suelo sobre la orilla de este. Se aplicó agua al comienzo de la solarización para tener un contenido de humedad de 25 por ciento. La solarización duró 105 días durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2019.

Elaboración de Lombricomposta

La lombricomposta fue elaborada en dos camas de block y cemento de 2 m de ancho por 6.5 m de largo sobre una superficie de polietileno negro y paja de alfalfa deshidratada para minimizar la entrada de luz, contando estas con una pendiente de 2%, siendo utilizada una composta a base de estiércol solarizado como fuente de alimento para las lombrices. Se utilizó lombriz roja californiana en este proceso (*Eisenia foetida*). El proceso de producción de lombricomposta se ha venido realizando en el jardín botánico de la FAZ-UJED desde el año 2010 con excelentes resultados de producción.

Diseño Experimental

En un diseño completamente al azar, se aplicaron diferentes tipos y concentraciones de fertilizantes orgánicos, así como un fertilizante químico a base de fosfato mono amónico además de un testigo (sin tratamiento), en un cultivo de chile jalapeño *Capsicum annuum* var. *annuum* híbrido Autlán. Las dimensiones del cultivo fueron 21m de ancho por 24 m de largo.

Las concentraciones de los abonos utilizados fueron.

- T1._ Estiércol Solarizado 20 ton/ha (E20)
- T2._ Control (sin tratamiento)
- T3._Estiércol Solarizado 40 ton/ha (E40)
- T4._Tratamiento Químico (Fosfato mono amónico) 100 kg/ha (MAP)
- T5.- Lombricomposta 20 ton/ha (L20)
- T6._ Lombricomposta 40 ton/ha (L40)

Análisis Físico-Químico

Los análisis fisicoquímicos se realizaron tomando muestras de suelo en cada uno de los tratamientos con sus repeticiones a una profundidad de 0-30 cm en tres etapas tomando siempre en cuenta cada tratamiento por separado, una vez obtenidas las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico, esto con el fin de mantener las muestras en condiciones adecuadas para poder ser transportadas a los distintos laboratorios.

Recolección de Muestras

La primera toma de muestras se llevó a cabo al inicio del establecimiento del cultivo en marzo de 2020, segunda toma fue con el cultivo en pleno desarrollo durante el mes de septiembre de 2020 y la tercera toma fue al final, antes de que fueran levantadas las plantas, una vez obtenidas las muestras, estas fueron colocadas en bolsas de plástico con el fin de mantener las muestras en condiciones adecuadas para poder ser transportadas a los distintos laboratorios.

Análisis Microbiológico

Los análisis microbiológicos se realizaron durante el mes de octubre del año 2020 y solo contaron con una repetición. Los análisis de las características de la planta se realizaron conforme a los cortes de fruto: El primer corte se realizó el 11 de junio de 2020, el segundo corte el 31 de julio de 2020, el tercer corte el 28 de agosto de 2020 y el cuarto corte el 09 de octubre de 2020.

Se evaluó materia orgánica, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, nitratos, humedad, fosforo soluble, temperatura del suelo, largo y ancho del fruto, altura y diámetro de planta, cultivo y aislado de microorganismos en Agar.

Se sembró en las cajas con una solución previamente preparada con una muestra de suelo de los tratamientos, de los cuales se pesó 1g de suelo seco tamizado, este se colocó en un tubo de ensaye y posteriormente fue diluido en 9 ml de solución buffer cloruro de sodio (NaCl) al 0.85% se agitó durante 5 minutos con un vortex (marca Thermo).

Enseguida se tomó un mililitro de la mezcla y se diluyó en otro tubo de ensayo con 9 ml de la solución salina y así sucesivamente hasta llegar a la dilución 10-4; de estas diluciones se tomaron las más representativas que fueron las diluciones 10-2 y 10-3, de las cuales fueron tomados 20 µl de la dilución del suelo que se colocaron en cajas petri que contenían Agar Luria - Bertani (LB). Las muestras se incubaron a temperatura de 27 °C durante 24 horas (Sarmiento, 2014; Huerta, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia Orgánica

Los suelos en la Comarca Lagunera están clasificados como medianamente pobres en su contenido de materia orgánica entre 1.31% y 1.65 %. Al principio de este estudio se realizó un análisis de suelo en el sitio experimental arrojando resultados de 0.5 % y 0.8%, cabe resaltar que este sitio estuvo en descanso de toda actividad agrícola durante más de un año.

El tratamiento LC40 fue numéricamente mayor pero estadísticamente igual al tratamiento MAP y al LC20, estos tres tratamientos tuvieron mayores cantidades de materia orgánica en comparación con los demás tratamientos ($p < .05$). El tratamiento E20 y el E40 fueron estadísticamente iguales ($p < .05$), y la cantidad de materia orgánica del tratamiento E40 fue mayor que la del testigo ($p < .05$) (Tabla 1).

Los resultados, aunque continúan entre los parámetros de lo medianamente pobre, son halagadores ya que el porcentaje de materia orgánica se elevó hasta un 91% más en su contenido (Castellanos y Reyes, 1982; Serrato, et al., 2002).

Tabla 1. Contenido de materia orgánica (%) en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica CAE-FAZ-UJED. 2020.

Tratamiento ¹	Materia Orgánica (%)
LC20	1.2653 a ²
LC40	1.4080 a
E20	0.7887 b c
E40	0.9453 b
MAP	1.3420 a
TESTIGO	0.6260 c

¹MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Potencial de Hidrógeno

El análisis de pH es un indicador de la salinidad, así como del nivel de acidez del suelo, factores fundamentales que deben ser controlados para asegurar la buena salud del mismo. El método del potenciómetro fue el designado para su análisis en el laboratorio mismo que nos mostró los siguientes resultados, los tratamientos E20, E40 y el testigo presentaron igual pH, y tuvieron el mayor pH que los demás tratamientos ($p < .05$). El tratamiento MAP fue significativamente superior a los tratamientos LC20 y LC40, los cuales entre sí fueron similares en su pH (Tabla 2).

Así también el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha nos arrojó una media de 6.84 siendo la lectura de pH menor y más recomendable, ya que un pH alto es un indicador directo de un suelo salino el cual influye directamente en el buen desarrollo del cultivo. El pH recomendable para el cultivo de chile jalapeño es de 5.5 a 8.3, sabemos de antemano que la aplicación de estiércol como abono orgánico lleva consigo un incremento en los niveles de salinidad que existen en el suelo y este aumenta a la par de la concentración utilizada del abono (Calderón-Tomas et al., 2023)

Para este caso en particular la media del tratamiento de 20 ton/ha de estiércol es de 7.93 siendo mayor que el tratamiento de 40 ton/ha se ha llegado a considerar que el factor del agua de riego con un pH diferente y cambiante dadas las concentraciones de sal en esta, ayudaron a que en el caso particular del tratamiento de 20 ton/ha de estiércol no se cumpliera con lo establecido por otros autores (Lara-Capistrán et al., 2020).

Al principio de esta investigación el pH del suelo donde se estableció el experimento era de 6 a 7 y en todos los tratamientos este aumento dependiendo de cada tratamiento, sin embargo, en el caso del control el pH fue de 7.9 lo que nos hace determinar que el agua de riego fue el factor determinante.

Tabla 2. Potencial de hidrogeno en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica CAE-FAZ-UJED 2020.

Tratamiento ¹	pH
LC20	6.8427 c ²
LC40	7.1000 c
E20	7.9313 a
E40	7.8880 a
MAP	7.5773 b
TESTIGO	7.9020 a

¹ MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Conductividad Eléctrica

La evaluación de la conductividad eléctrica en el suelo es sin duda otro fiel indicador respecto a la fertilidad del suelo, sus unidades según el sistema métrico internacional son dS m^{-1} , este indicador nos mostró los siguientes resultados. Los tratamientos E20 y E40 fueron similares entre sí, y el tratamiento E20 tuvo mayor conductividad eléctrica que los otros tratamientos restantes ($p < 0.05$). Los tratamientos E40 y LC20 fueron estadísticamente iguales, siendo E40 mayor en conductividad eléctrica que los restantes tratamientos ($p < 0.05$).

Los tratamientos LC20, LC40 y el MAP fueron estadísticamente iguales en esta variable, por su parte el testigo resultó ser el que tuvo el valor menor de todos los tratamientos ($p < 0.05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de CE (%) en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica CAE-FAZ-UJED. 2020.

Tratamiento ¹	CE (%)
LC20	2.8840 bc ²
LC40	2.6780 c
E20	3.1800 a
E40	3.1100 ab
MAP	2.8233 d
TESTIGO	2.1473 c

¹ MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Los resultados obtenidos son similares a los encontrados en investigaciones similares en donde las medias respecto a la medición de la conductividad eléctrica oscilaron entre los 2.5 y los 3.4 dS m^{-1} , lo que nos indica una correlación positiva para nuestra investigación y concuerda con lo establecido para nuestro cultivo (Vázquez *et al.*, 2010).

Nitratos, NO_3

El análisis correspondiente para la variable de nitratos nos presentó diferencias altamente significativas. Los tratamientos (LC40) y (MAP) mostraron una mayor concentración de nitratos, sin observar diferencias significativas entre ellos, pero teniendo diferencias significativas frente a los demás tratamientos (Tabla 4).

Los tratamientos E20 y MAP no muestran diferencias significativas entre ellas, pero si las tienen con respecto a los otros tratamientos, por último, los tratamientos LC20 y testigo fueron los tratamientos que mostraron una menor concentración de Nitratos y a su vez no guardan diferencias significativas entre ellos, pero si las tienen con respecto a los demás tratamientos (Tabla 4).

Se realizó una comparación de la presente investigación con otra que guarda condiciones similares, es decir, mismo cultivo y textura de suelo. En esta se observan concentraciones que van de 5.50 ppm a 31.50 ppm. Todo lo anterior nos indica un buen rendimiento en lo que respecta al parámetro de nitratos tomando en cuenta las altas concentraciones de fertilizante químico utilizadas en la investigación de referencia (Galindo et al., 2020).

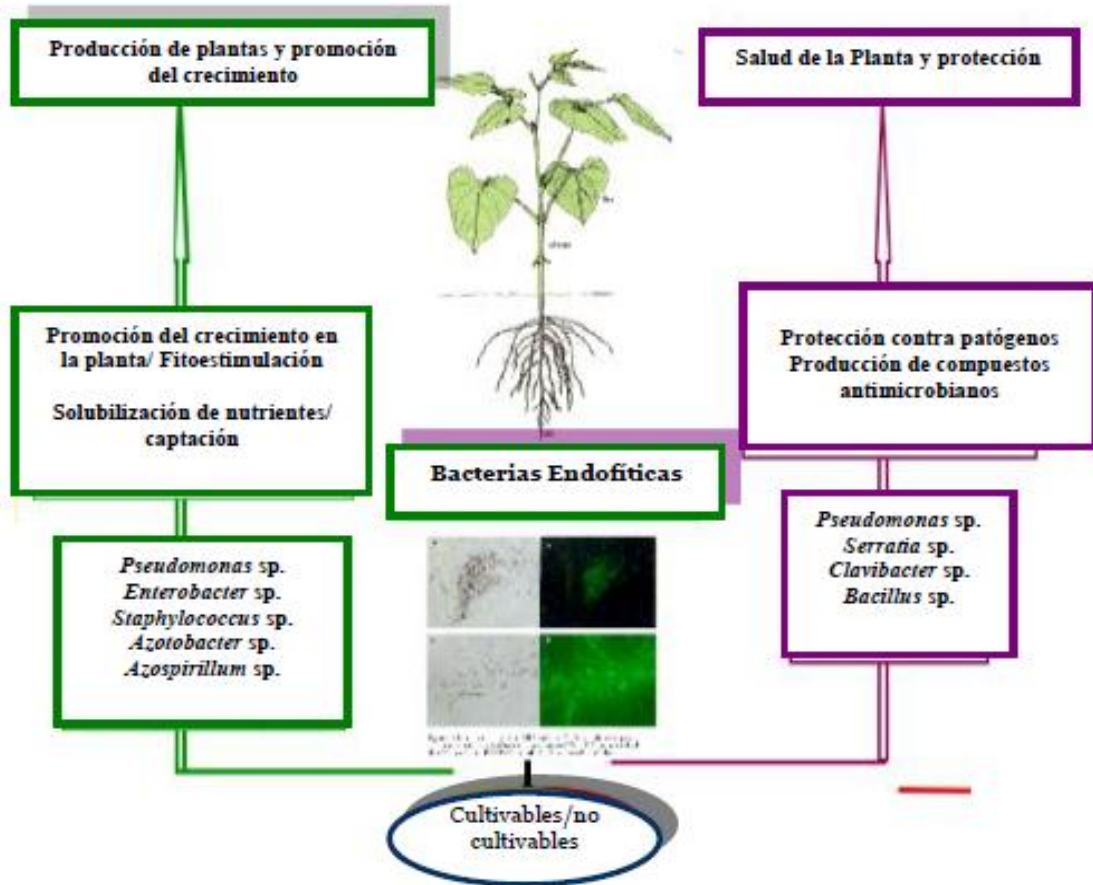


Figura 1. Diagrama de crecimiento y promoción del crecimiento de plantas.

Tabla 4. Contenido de nitratos NO_3 (%) en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica CAE-FAZ-UJED. 2020.

Tratamiento ¹	NO_3 (%)
LC20	5.218 e ²
LC40	11.561 a
E20	6.093 cd
E40	8.115 bc
MAP	9.303 abd
TESTIGO	3.095 e

¹ MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Otra comparación que tomar en cuenta entre nuestro estudio y otro realizado en condiciones similares en el mismo campo experimental, en donde su concentración de nitratos más alta alcanza los 10.82 ppm y corresponde a un tratamiento a base de estiércol solarizado con una dosis de 80 (ton/ha) (Andrade-Linarez et al., 2020). En comparación con la concentración más alta reportada en el presente estudio 11.561 ppm y corresponde al tratamiento LC40.

Contenido de Humedad en el Suelo

El agua es esencial para todos los seres vivos ya que en forma de molécula participa en toda una serie de reacciones metabólicas celulares, actúa como un excelente solvente y portador de nutrimentos desde el suelo hasta las plantas y dentro de ellas. Por lo tanto, la medición de humedad se realiza sólo en función del porcentaje de agua que retiene el suelo, el método utilizado fue el gravimétrico y estos fueron los resultados obtenidos: al inicio del experimento el contenido de humedad en el suelo fue igual en todos los tratamientos. En la fase de desarrollo, el tratamiento LC40 tuvo mayor humedad siendo estadísticamente igual sólo al LC20.

El tratamiento LC20 fue igual a los demás tratamientos. En la fase final, nuevamente el tratamiento LC40 tuvo mayor humedad siendo igualado estadísticamente solo por LC20 en esta variable ($p < .05$). El tratamiento LC20 fue igual a E20. El tratamiento E20 igual al E40 y al testigo, y éstos iguales al MAP.

Comparando los datos obtenidos con parámetros de porcentaje de humedad ya establecidos en otras investigaciones, estas nos indican que los parámetros son aceptables en las lecturas realizadas durante el desarrollo del cultivo.

Al final del desarrollo del cultivo se muestran porcentajes más bajos debido a que se dejó de regar el cultivo para el final del ciclo agrícola es decir cerca del comienzo del invierno (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de humedad (%) al inicio, en desarrollo y al final del ciclo agrícola. CAE-FAZ-UJED. 2022.

Tratamiento	Inicio		Desarrollo		Final	
Testigo	13.09	a	52.90	b	5.98	cd
MAP	13.47	a	58.86	b	3.43	d
LC20	13.40	a	63.20	ab	28.22	ab
LC40	13.84	a	77.60	a	38.20	a
E20	11.41	a	59.40	b	18.58	bc
E40	11.45	a	48.18	b	11.64	cd

¹ MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < .05$), $n = 15$ para cada media.

Fósforo Soluble

Los análisis de fósforo soluble sirven fundamentalmente ya que es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutrimento limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Fue analizado mediante método de Olsen, siendo sus unidades mg/kg, estos fueron los resultados obtenidos.

El tratamiento LC40 presentó la mayor cantidad de fósforo comparado contra los otros tratamientos ($p < .05$). El tratamiento LC 20 fue menor al LC 40 pero tuvo mayor cantidad de fósforo que los otros tratamientos ($p < .05$). Los tratamientos E40, E20 y MAP fueron iguales entre sí. Los tratamientos que tuvieron menores valores de fósforo fueron E20, MAP y el testigo, siendo similares entre sí (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de fosforo soluble (%) en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica CAE-FAZ-UJED. 2012.

Tratamiento ¹	P (mg/kg)
LC20	25.021 b ²
LC40	29.896 a
E20	17.288 cd
E40	19.915 c
MAP	18.497 cd
TESTIGO	14.556 d

E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton. 1 MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Temperatura en el Suelo

La temperatura en el suelo tiene bastante importancia debido a que el crecimiento y desarrollo de las plantas, dependen en gran medida de una temperatura adecuada, ahí radica la importancia de su medición y posterior análisis. Las mediciones de temperatura se realizaron con termómetros analógicos bimetalicos de penetración (12 cm) en unidades del sistema internacional (grados Celsius °C), el sitio exacto de medición fue a la mitad del espacio que limitaba cada uno de los tratamientos con sus repeticiones (1.5 m).

Los resultados de temperatura del suelo fueron analizados de manera estadística, dadas las condiciones extremas de clima en la región lagunera esta variable adquiere una gran relevancia. En la fase de inicio del experimento, en el tratamiento MAP se encontró la mayor temperatura del suelo, aunque fue estadísticamente igual a los demás tratamientos excepto al tratamiento LC40 que fue el que tuvo la menor temperatura en el suelo ($p < .05$). En la fase de desarrollo todos los tratamientos tuvieron la misma temperatura en el suelo (Tabla 7).

En la fase final, el testigo tuvo la mayor temperatura en el suelo, aunque fue igual a la del tratamiento MAP. El tratamiento MAP fue igual a los tratamientos E20 y E40. Los tratamientos E20 y E40 fueron iguales al tratamiento LC20. Este último tratamiento fue igual al tratamiento LC40. Que fue el que presentó menor temperatura en el suelo. Para el cultivo de chile jalapeño se requiere de una temperatura que oscile entre los 18 y 26 °C incluso las temperaturas de 32 a 35 °C ayudan a que el pistilo se desarrolle más largo (García y Nava, 2009).

La temperatura media en todo el cultivo fue la adecuada oscilando entre 24.2 y 32.6°C para el mantenimiento del cultivo muy a pesar de las fuertes temperaturas registradas durante el verano del año 2020 en la Comarca Lagunera, lográndose en gran medida gracias a los riegos periódicamente suministrados de acuerdo con lo mencionado por (Bustos et al., 2020).

Tabla 7. Temperatura en el suelo (°C) al inicio, durante el desarrollo y al final del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum* híbrido Autlán) CAE-FAZ- UJED. 2012.

Tratamiento ¹	Inicio		Desarrollo		Final	
Testigo	32.0	ab ²	28.6	a	28.6	a
MAP	32.6	a	27.4	a	27.4	ab
LC20	31.4	ab	28.4	a	24.8	cd
LC40	30.4	b	28.4	a	24.2	d
E20	30.8	ab	28.4	a	26.6	bc
E40	31.4	ab	27.6	a	26.6	bc

¹ MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

² Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), $n = 15$ para cada media.

Longitud de Fruto

El análisis con respecto a la medición de la longitud y ancho del fruto, conforme fue avanzando el ciclo agrícola fue de vital importancia para elaborar un juicio consiente sobre el rendimiento del cultivo en cuestión, se analizaron 5 muestras de cada uno de los tratamientos con la ayuda de un Bernier estos fueron los resultados obtenidos. Los análisis realizados estadísticamente a los resultados de la medición del largo de fruto nos produjeron los siguientes resultados para cada uno de los 4 cortes siendo analizados cada uno por separado.

En el primer corte, el tratamiento LC40 tuvo mayor largo de fruto que los demás tratamientos ($p < 0.05$) (Tabla 8). Los tratamientos LC20, E20 y E40 fueron estadísticamente iguales en esta variable. El tratamiento LC20 fue superior a los tratamientos MAP, TESTIGO, E20 y E40 ($p < 0.05$). Los tratamientos E20, E40 y MAP tuvieron frutos con longitud similares. El tratamiento E20 tuvo frutos más largos que el testigo ($p < 0.05$). Los tratamientos E40, MAP y el testigo tuvieron frutos con igual longitud y como grupo fueron los tratamientos con frutos de menor longitud.

El tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha, el que mostró un mejor fruto con una media de 7.96 cm que lo coloca en la clasificación de fruto de primera calidad según los estándares de la industria alimenticia (Tabla 9). Para este corte todos los tratamientos se clasificaron en la primera calidad. La media para el tratamiento control fue la más baja para este corte siendo de 6.74 cm, sin embargo, aun siendo el más bajo alcanza una clasificación de primera calidad.

En el segundo corte, los tratamientos LC40, LC20, E40 y MAP fueron similares entre sí y como grupo tuvieron la mayor longitud de fruto ($p < .05$). Los tratamientos LC20, E40, MAP y E20 fueron similares en esta variable medida. El testigo tuvo la menor longitud de fruto ($p < .05$). Como ya fue mencionado, la media más baja reportada para este corte fue la del tratamiento control siendo de 7.38 cm, la cual aún está colocada en primera calidad, quedando de manifiesto el buen rendimiento del híbrido Autlán.

Para el tercer corte, el tratamiento LC40 tuvo mayor largo de fruto que los demás tratamientos ($p < .05$). El tratamiento LC20 sólo tuvo el largo del fruto inferior al LC40, pero fue mayor en esta variable a los demás tratamientos. Los tratamientos MAP, E20 y el testigo fueron similares en el largo del fruto. El tratamiento E20, el testigo y E40 fueron iguales en su largo del fruto y como grupo presentaron los frutos con menor longitud ($p < .05$).

La lectura más baja fue el tratamiento a base de estiércol 40 ton/ha⁻¹ que para el tercer corte su lectura de comparación de medias fue de 5.95 cm siendo la más baja reportada hasta el momento siendo ubicando como de segunda calidad de acuerdo a los parámetros establecidos.

En concordancia con lo reportado en otras investigaciones con similitudes entre ellas, cabe señalar que el tratamiento a base de estiércol 40 ton/ha⁻¹ reportó incluso frutos de tercera y de cuarta calidad. Por lo tanto, no es de sorprender la baja en la calidad para este tratamiento que incluso para este corte estuvo por debajo de los tratamientos químico y control los cuales en los cortes anteriores habían estado por debajo de todos los abonos orgánicos (Vázquez et al., 2011)

En lo correspondiente al cuarto corte de la variable largo de fruto, el tratamiento LC40 tuvo el fruto con mayor longitud comparado con los otros tratamientos ($p < .05$). Los tratamientos LC20 y MAP fueron similares entre sí y con mayor longitud de fruto que los tratamientos testigo, E40, E20 ($p < .05$).

Los tratamientos MAP, E20, E40 y el testigo fueron iguales y como grupo presentaron los valores más bajos en la longitud del fruto ($p < .05$). Para este corte el tratamiento control fue el que nos dio la lectura media más baja siendo esta de 6.58 cm, a lo largo de todo el ciclo logro mantenerse muy cerca de todos los tratamientos, demostrando la gran calidad de la variedad del chile que a pesar de no contar con algún tratamiento sus frutos se desarrollaron de una excelente manera.

Tabla 8. Medias del largo (cm) del fruto en los cortes del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum* híbrido Autlán) en parcelas de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED. Octubre 2020.

Tratamiento	Primer corte	Segundo corte	Tercer corte	Cuarto corte
Testigo	5.75 d ¹	7.38 c	6.14 cd	6.58 c
MAP ²	6.95 cd	8.3 ad	6.44 c	7.1 bc
LC20	7.42 b	8.64 ab	6.93 b	7.44 b
LC40	7.97 a	8.77 a	8.02 a	8.14 a
E20	7.29 bc	8.2 b	6.2 cd	6.8 c
E40	7.03 bcd	8.49 ab	5.96 d	6.68 c

¹ Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

² MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

n= 25 para cada media.

Tabla 9. Clasificación de la calidad de frutos de chile jalapeño de acuerdo con su longitud.

Calidad	Longitud
Primera (1 ^a)	> 6.1 cm
Segunda (2 ^a)	4.6 – 6.0 cm
Tercera (3 ^a)	3.0 - 4.5 cm
Cuarta (4 ^a)	< 3.0 cm

Ancho de Fruto

En el primer corte el tratamiento LC40 fue mayor en ancho de fruto que todos los demás tratamientos ($p < .05$). El tratamiento LC20 fue mayor que los demás tratamientos restantes en esta variable ($p < 0.05$). Los tratamientos E20, E40, el testigo y MAP fueron iguales entre sí en esta variable medida (Tabla 10).

Para el segundo corte los tratamientos LC20 y LC40 fueron iguales entre sí en el ancho del fruto. LC20 fue mayor en esta variable a los otros tratamientos ($p < .05$). Los tratamientos LC40 y E20 fueron similares, siendo LC40 mayor en esta variable que los tratamientos testigo, E20, E40, MAP ($p < 0.05$). Los tratamientos E20, E40, MAP y el testigo fueron iguales en el ancho del fruto.

En el tercer corte realizado, los tratamientos LC20 y LC40 fueron iguales entre ellos y mayores a los demás tratamientos en la variable ancho del fruto ($p < 0.05$). El testigo, E40 y MAP fueron iguales. El testigo fue mayor en ancho del fruto a E20 ($p < 0.05$). Los tratamientos E20, MAP y E20 fueron iguales.

En los resultados del cuarto corte, los tratamientos LC40, E40, MAP, y LC20 fueron iguales. El tratamiento LC40 fue mayor en ancho del fruto que los tratamientos restantes ($p < .05$). Los tratamientos E40, MAP, LC20 y E20 fueron iguales. El testigo tuvo el menor valor en ancho del fruto siendo sólo igual a E20 (Tabla 10).

Comparando las lecturas con una investigación similar a la nuestra en la cual se utilizaron tratamientos a base de abonos orgánicos, así como un tratamiento químico como fertilizante, para el primer corte se aprecia una lectura mayor de 2.40 cm perteneciente al tratamiento químico.

Esta investigación ampliamente supera al punto de comparación y además para este corte todos los tratamientos de nuestra investigación superaron ampliamente a la investigación comparada, siendo el tratamiento a base de fertilizante químico la que mostro la lectura de medias para ancho de fruto más baja siendo de 2.78 cm (García et al., 2024).

En el análisis de comparación de medias correspondiente al segundo corte, el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha mostró una lectura mayor de 3.374 cm, seguido por el tratamiento a base también de lombricomposta 40 ton/ha con una lectura de 3.3 cm. La investigación similar a la nuestra muestra una lectura de 2.50 cm como mayor, para el segundo corte perteneciente al tratamiento químico. En contraste nuestra lectura de medias menor fue la perteneciente al tratamiento control con una lectura de 2.96 cm (Ayala-Tafoya et al., 2020)

Cabe resaltar que de nueva cuenta todos los tratamientos de esta investigación superan a la investigación utilizada como punto de comparación en la cual hasta este punto del ciclo agrícola ha mostrado mejor calidad de fruto el tratamiento químico por encima de los abonos orgánicos.

La comparación de medias para este tercer corte nos arrojó un valor mayor para el tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha con una lectura de 3.30 cm, seguido por el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha con una media de 3.168 cm.

Ambos tratamientos han mostrado a lo largo del ciclo un rendimiento asombroso dejando atrás a los tratamientos a base de estiércol y al tratamiento químico. Para el tercer corte en la investigación de referencia el tratamiento a base de gallinaza suplementado con 80 unidades de nitrógeno mostró la lectura más alta siendo de 2.50 cm.

En contraste con esta investigación la lectura de medias más baja fue la que mostró el tratamiento a base de estiércol 20 ton/ha con una lectura de 2.61 cm. Cabe hacer mención que por primera vez en todo el avance hasta el momento del ciclo agrícola la investigación referencia se acerca a alguno de los tratamientos de nuestros tratamientos, sin embargo, aún estuvo por debajo de nuestras lecturas.

En lo que corresponde al análisis de medias para el cuarto corte, el tratamiento que mostró una lectura mayor corresponde al tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha con una lectura de 3.48 cm, seguido por el tratamiento a base de estiércol 40 ton/ha que arrojó un resultado de 3.36 cm.

El tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha fue el que mostró durante todo el ciclo una mejor calidad de fruto en lo que respecta al parámetro de ancho de fruto solo superado en el tercer corte por el tratamiento también a base de lombricomposta 20 ton/ha, el tratamiento a base de estiércol 40 ton/ha solo en este corte tuvo una lectura de medias superior al resto de los tratamientos a excepción del que mostro la lectura más alta.

Comparando con la investigación de referencia cuya lectura más alta fue de 2.5 cm del tratamiento a base de gallinaza, en contraste con esta investigación cuya lectura menor fue del tratamiento control con una lectura de 3.092 cm. Cabe resaltar que en ningún momento la investigación comparativa supero a la nuestra, sin embargo, el estudio de referencia reporto 7 cortes es decir 3 cortes más que nuestro estudio.

Tabla 10. Medias de ancho de fruto (cm) en los cortes del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum* híbrido Autlán) en parcelas de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED. Octubre 2020.

Tratamiento	Primer corte	Segundo corte	Tercer corte	Cuarto corte
Testigo	2.87 c ¹	2.96 c	2.88 b	3.09 c
MAP ²	2.79 c	3.04 c	2.73 bc	3.36 ab
LC20	3.13 b	3.37 a	3.17 a	3.32 ab
LC40	3.33 a	3.30 ab	3.30 a	3.49 a
E20	2.92 c	3.15 bc	2.62 c	3.22 bc
E40	2.90	3.04 c	2.74 bc	3.36 ab

¹ Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

² MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

n= 25 para cada media.

Altura de Planta

En lo correspondiente al parámetro de altura de planta se realizó también un análisis de varianza con su comparación de medias para cada uno de los cuatro cortes realizados a este cultivo. En el primer corte, los tratamientos LC40 y LC20 fueron iguales entre sí y con mayor altura de plantas que los demás tratamientos ($p < .05$). El tratamiento E20, el testigo, MAP y E40 fueron iguales entre sí (Tabla 11).

Para el segundo corte los tratamientos LC40 y LC20 fueron iguales estadísticamente y LC40 tuvo mayor altura en sus plantas que las demás plantas de los otros tratamientos ($p < .05$). Los tratamientos LC20, E20, el testigo, E40 y MAP fueron iguales en altura de plantas.

En el tercer corte, los tratamientos LC20, LC40, E40, el testigo y MAP fueron iguales. Los tratamientos LC20, LC40 y E40 fueron superiores en altura a E20 ($p < 0.05$), tratamiento este último que tuvo la menor altura de plantas. En el cuarto corte, los tratamientos LC40 y LC20 presentaron la mayor altura de plantas y fueron iguales entre sí ($p < .05$). Los tratamientos LC20 y E40 fueron iguales y LC20 tuvo mayor altura de plantas que los otros tratamientos restantes ($p < .05$). Los tratamientos E40, MAP y el testigo fueron iguales, y E40 tuvo mayor altura en sus plantas que E20 ($p < 0.05$). El testigo, MAP y E20 fueron estadísticamente iguales.

Como ya fue mencionado, la comparación de medias para el primer corte arrojó como rango mayor al tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha con una lectura de 47.9 cm y debajo de esta

lectura con 46.9 cm el tratamiento también de lombricomposta de 20 ton/ha, de nueva cuenta ambos tratamientos se colocan por encima de los otros tratamientos.

El estudio comparativo mostró una lectura media de 45.8 cm en el tratamiento a base de gallinaza y fertilizante químico para lo correspondiente al primer corte. Las lecturas de este estudio son superiores al estudio comparativo tomando en cuenta que el estudio de referencia utilizó tratamientos mezclados de abono orgánico y fertilizante sintético (Macías et al., 2012).

En el segundo corte, en lo referente a la comparación de medias el tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha mostró la lectura más alta siendo de 60.8 cm de altura, seguido por el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha con una lectura de 55.8 cm, de nueva cuenta ambos tratamientos fueron superiores respecto a la lectura de medias.

Comparando los resultados de nuestro estudio con el estudio de referencia, el cual arrojó para el segundo corte una lectura de medias de 43.8 cm para el tratamiento compuesto de gallinaza y fertilizante sintético. Para este corte todas las lecturas de medias superaron a la lectura más alta del estudio de referencia de nueva cuenta mostrándonos un excelente vigor de las plantas de nuestro estudio resultado de todo un conjunto de acciones como lo son la excelente elección de la variedad, el riego, fertilización y dosificación adecuada.

En lo correspondiente al tercer corte, en lo que respecta a la comparación de medias el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha obtuvo la lectura mayor de 79 cm superando al tratamiento también a base de lombricomposta 40 ton/ha⁻¹ con una lectura de 78.1 cm. En el estudio comparativo la mayor lectura de medias para este corte fue la del tratamiento a base de gallinaza y fertilizante sintético con una lectura de 58.4 cm, de nueva cuenta esta investigación supera a la investigación de referencia, la lectura menor de este estudio fue de 68.8 cm brindada por el tratamiento a base de estiércol 20 ton/ha.

Tal como lo observado en los parámetros anteriormente analizados en lo referente al tercer corte el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha superó a su homónimo por algunos centímetros, la única diferencia notable para tratar de entender esta diferencia es el hecho de que la temperatura para el tratamiento de 20 ton/ha es menor a la de su homónimo lo cual repercute en este corte.

Para el cuarto corte, la lectura de medias devolvió al tratamiento a base de lombricomposta 40 ton/ha a la cabeza con una lectura de 85 cm, y por debajo de esta lectura el tratamiento a base de lombricomposta 20 ton/ha que arrojó una media de 83.3 cm. Para el último corte se obtuvieron las lecturas más altas con respecto a los antecesores superando incluso a las lecturas mayores de referencia para nuestro país las cuales son de 80 cm (Tabla 11).

En lo que respecta al índice de altura de planta se tuvo un gran desempeño en donde el mejor tratamiento fue sin lugar a dudas el compuesto por lombricomposta 40 ton/ha ya que superó a los tratamientos a base de estiércol solarizado y al tratamiento químico.

La medición concierne a las lecturas de la altura y diámetro de la planta, que nos muestran a detalle cómo fue avanzando el ciclo agrícola, mismos que cobran un rasgo fundamental para contrastarlos con

la aplicación de las enmiendas orgánicas y el tratamiento químico, se procedió a medir 2 plantas por cada tratamiento eligiendo las que se encontraban en medio siendo las plantas 4 y 5 de un total de 8 por repetición, estos fueron los resultados medidos en centímetros.

Tabla 11. Medias de altura de la planta (cm) en los cortes del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum* híbrido Autlán) en parcelas de la Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED. Octubre 2012.

Tratamiento	Primer corte		Segundo corte		Tercer corte		Cuarto corte	
Testigo	39.7	b ¹	54.0	b	72.4	ab	72.9	cd
MAP ²	39.5	b	52.0	b	71.5	ab	72.9	cd
LC20	46.2	a	55.8	ab	79.0	a	83.3	ab
LC40	47.9	a	60.8	a	78.1	a	85.0	a
E20	40.2	b	55.3	b	68.8	b	70.7	d
E40	39.4	b	53.5	b	76.7	a	78.3	b c

¹ Medias con letra diferente dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

² MAP = fertilizante fosfato monoamónico, LC20 = lombricomposta 20 ton, LC40 = lombricomposta 40 ton, E20= estiércol 20 ton, E40 = estiércol 40 ton.

n= 10 para cada media.

Análisis Microbiológico

En lo referente al análisis microbiológico se realizó solo un análisis de comparación con otras investigaciones debido a que solo se realizaron estas pruebas en una sola ocasión durante el desarrollo del cultivo. Para el tratamiento a base de estiércol 20 ton/ha, así como para el tratamiento control, se observó la presencia de *Enterobacter* spp. (Tabla 12), previamente este tratamiento fue sometido a un proceso de solarización con el fin de eliminar todos los microorganismos patógenos que pudieran encontrarse presentes.

Es importante hacer mención que el proceso de solarización, así como cualquier proceso de compostaje, cuyo fin sea desechar patógenos no son 100% efectivos en lo que se refiere al exterminio de enterobacterias, cabe señalar que es una técnica que ha presentado una gran eficacia y que continúa siendo investigada aún hoy en día (Velasco et al., 2004). Sabemos de antemano que el estiércol bovino es una gran fuente de microorganismos patógenos para el hombre, así como también un foco de contaminación para el medio ambiente en general y su uso debe estar regulado por alguna instancia debido al peligro que representa (Palomo et al., 2007).

En el tratamiento a base de estiércol 40 ton/ha, así como en el tratamiento homónimo de estiércol 20 ton/ha se observó la presencia del género bacteriano *Staphylococcus* spp., el cual sabemos es un patógeno regular para el ser humano; sin embargo, actúa como una bacteria endófito que cohabita en las plantas otorgando reguladores de crecimiento y resistencia a enfermedades (Jasim et al., 2013).

Para los tratamientos químico, 20 ton/ha de lombricomposta, así como 40 ton/ha de lombricomposta, observamos desarrollo microbiano de *Actinomicetos* spp. (Tabla 12). Los productos de

los actinomicetos incluyen principalmente: antibióticos, antifúngicos, metabolitos, enzimas extracelulares (quitinasas, peroxidases, glucanasas) inhibidores enzimáticos, neurotransmisores, terpenoides, pigmentos, anticancerígenos y pesticidas entre otros (Medina et al., 2013).

Presentan una alta actividad metabólica y son capaces de degradar la materia orgánica vegetal y animal, producen sideróforos, sustancias promotoras del crecimiento vegetal, ayudan a la asimilación del hierro en la fijación de nitrógeno, lo cual contribuye indirectamente a la promoción de crecimiento vegetal (Medina et al., 2013).

Muy a pesar de los múltiples beneficios que otorgan a las plantas es importante señalar que estos microorganismos tienen la capacidad de infectar al ser humano ocasionando diversas lesiones en la piel. La distribución de las enfermedades causadas por Actinomicetos es mundial, aunque la mayor frecuencia e importancia histórica de la enfermedad se halla en la provincia de Madura en la India (Guevara et al., 2003).

La evaluación del desarrollo microbiológico en el cultivo toma un papel de relevante para definir si estos coadyuvaban con el desarrollo del mismo, formando una relación simbiótica entre la planta y las bacterias o de lo contrario alterar su crecimiento. Estos fueron los resultados de los análisis microbiológicos realizados entre el tercer y el cuarto corte.

Tabla 12. Resultados de los análisis microbiológicos en el suelo bajo fertilización orgánica e inorgánica. CAE-FAZ-UJED. 2020.

Tratamientos	Presencia
20 ton estiércol	<i>Enterobacter</i> spp. <i>Staphylococcus</i> spp.
40 ton estiércol	<i>Staphylococcus</i> spp.
Testigo	<i>Enterobacter</i> spp.
MAP	<i>Actinomicetos</i> spp.
20 ton lombricomposta	<i>Actinomicetos</i> spp.
40 ton lombricomposta	<i>Actinomicetos</i> spp.

CONCLUSIONES

Los tratamientos de abonos orgánicos a base de lombricomposta 20 y 40 ton/ha, fueron superiores a los tratamientos a base de estiércol, así como al tratamiento químico en cuanto a su calidad de fruto, el contenido de materia orgánica agregada al suelo, mantenimiento de la humedad en el suelo, mantenimiento del rango de potencial de hidrogeno del suelo, conductividad eléctrica, contenido de nitratos en el suelo, así como del contenido de fósforo soluble en el suelo.

Los resultados obtenidos en esta investigación son un parámetro para recomendar el uso de abonos orgánicos por los beneficios que otorgan al suelo tanto físico como químicos. Haciendo una

menção especial para los tratamientos a base de lombricomposta que dados sus componentes otorgan múltiples beneficios al suelo y a las plantas.

Esta investigación demuestra que el buen manejo agronómico aunado a una buena nutrición vegetal promueve el desarrollo microbiológico y este a su vez en interacción con la planta logran buenos rendimientos, es importante señalar que las especies de microorganismos encontradas en nuestro estudio son también de interés clínico para el hombre. Se debe contar con la certeza respecto a qué tipo de microorganismos se están manipulando en los abonos en cuestión y evitar el desarrollo de los infecciosos, así como promover el desarrollo de los microorganismos benéficos para la planta.

Esta investigación representa una pauta a seguir para los productores de la Comarca Lagunera ya que demuestra que la agricultura orgánica puede competir con la convencional, aunque en este caso es necesario estudios a nivel macroescala donde participen productores agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Politécnica de la Región Laguna, Universidad Autónoma Agraria Antonio. Narro y a la Universidad Juárez del Estado de Durango.

LITERATURA CITADA

- Acosta, J. M., Hurtado, A. B., Arango, O. B., Álvarez, D. S., & Salazar C. G. (2013). Efecto de abonos orgánicos a partir de subproductos del fique en la producción de maíz. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 11 94-102.
- Alonso, M. B., Tijerina, L. C., Sánchez, G. P., Aceves, L. A. N., Escalante, J. A., & Martínez, A. G. (2001). Producción de chile jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. *Terra* 20 209-215.
- Andrade-Linarez, K., Castillo-Coaquira, I., & Rossel-Bernedo, L. (2020). Calidad de los suelos agrícolas en la bahía interior de Puno, Perú-2018. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(2), 42-52.
- Ayala-Tafoya F., López-Urquidez G. A., Parra-Delgado, J. M., Retes-Manjarrez, J. E., López-Orona, C. A., & Yáñez-Juárez M. G. (2020) Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita 255
- Azofeifa A., Moreira M. A. (2008). Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. Cv. hot) en Alajuela, Costa Rica *Agronomía Costarricense* 32 19-29.
- Bustos, J. Q., Tandazo-Garcés, J., & Minda, J. A. (2020). Producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) mediante la aplicación de abonos orgánicos. *Journal of Science and Research*, 5(3), 42-48.
- Calderón-Tomás, C., Díaz-Ruiz, R., Contreras-Ramos, J., & Pérez-Ramírez, E. (2023). Protección contra heladas mediante anticongelante, aminoácidos y lombricomposta en etapas fenológicas de frijol. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(SPE29).

- Ferrara, C. R., & Alarcón, A. (2007). Microbiología Agrícola Vol. 1, pp. 1-270. Trillas, México D.F.
- Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P., & Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et technica*, 25(1), 172-183.
- García, J. A. S., & Nava, P. R. J. (2009). El chile jalapeño su cultivo de temporal en Quintana Roo. Folleto Técnico. Instituto nacional de investigaciones forestales agrícolas y pecuarias 2, 54.
- García, J. A., Cuevas, F. D. M., Viveros, J. A. F., Mireles, H. C., & Castillo, R. C. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*L.) producidos en macrotúnel.: Bioestimulantes en chile jalapeño. *Revista Bio Ciencias*
- Guevara, M., Navarro, A., Aranzamendi, C., Quispe, N., & Chávez, V., (2003). Micetoma por *Nocardia brasiliensis*: reporte de caso. *Revista Peruana de Medicina Experimental* 20, 159-161.
- Huerta, H. E. (2010). Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis Universidad Autónoma de Querétaro, 31.
- Jasim, B., Aswathy, A., Jimtha, J. C., & Radhakrishnan, E. K. (2013). Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from the rhizome of *Zingiber officinale*. *Biotech* 10, 130-143.
- Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 693-704.
- Medina, M. D., Morales, G., Hernández, F. D., Ochoa, Y. M., & Flores, A. (2013). Actinomicetos antagonicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4, 1187-1196.
- Palomo, M. R., Martínez, J. G. R., & Viramontes, U. F. (2007). Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales al Disminuir Riesgos de Contaminación en Actividades Agropecuarias. *CULCYT Sustentabilidad* 4, 4-14.
- Puertas, A., & Hidalgo, L. D. (2009). Efecto de diferentes abonos orgánicos sobre el establecimiento de *Pochonia chlamydosporia* var. *catenulata* en el sustrato y la rizosfera de plantas de tomate. *Protección vegetal* 24, 162-165.
- Sarmiento, L. G. (2014). *Bacillus circulans* E9 productora de ácido indol acético en un medio de cultivo de bajo costo a nivel de biorreactor. Tesis IPN. Departamento de Biotecnología, 20.
- Vázquez, V. C., Ávila, J. A. D., Salazar, S. E., López, M. J. D., Orona, C. I., Zúñiga, T. R., & Figueroa, V. R. (2010). Efecto de los niveles de estiércol solarizado en la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) y riego por cintilla en la Comarca Lagunera. *COMCAPLA* 1.

- Vázquez, V. C., Salazar, S. E., Fortis, H. M., Reyes, O. M. I., Zúñiga, T. R., & González, J. A. (2011). Uso de cubiertas plásticas para solarización de estiércol bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1, 619-625.
- Velasco, J. V., Figueroa, B. S., Ferrera, R. C., Santos, A. T., & Gallegos, J. S. (2004). CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra* 22, 307-316.



Biofertilizantes como Alternativa de Producción en dos Genotipos de Maíz Forrajero

Biofertilizers as a Production Alternative in two Genotypes of Forage Corn

Recibida em: 07/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap8

Steven Avila-Jara^{1‡} 

Miguel Ángel Gallegos-Robles¹ 

Uriel González-Salas¹ 

José Luis García-Hernández¹ 



¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia. 35000 Gómez Palacio, Durango, México.

‡ Autor de correspondencia: avila.jara07@gmail.com

RESUMEN

En la Comarca Lagunera se producen grandes cantidades de maíz forrajero; sin embargo, la fertilización química que recibe este cultivo causa impactos negativos al medio ambiente, además de aumentar los costos de producción. Debido a esto, se buscan alternativas sustentables para la producción forrajera en la región, tal es el caso de los biofertilizantes. En la presente investigación se evaluó la producción forrajera en dos genotipos de maíz forrajero aplicando biofertilizantes. Se probaron 12 tratamientos bajo un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 2x6 con tres repeticiones. Los fertilizantes fueron: *Bacillus amyloliquefaciens* (BA), *Bacillus amyloliquefaciens* + química 50% (BA+Q), químico (Q), estiércol bovino (E), biofertilizante comercial (BC) y testigo (T), los cuales se aplicaron a los dos genotipos (San Lorenzo y Galáctico). Aunque solo se obtuvieron diferencias significativas en las variables agronómicas, los biofertilizantes obtuvieron las mejores medias, seguidos del estiércol bovino. El mayor rendimiento de forraje verde fue para el tratamiento con estiércol (69.20 t ha^{-1}) y en seco destacó el BA+Q (29.55 t ha^{-1}). BA y BA+Q también produjeron mayor porcentaje que el resto en cuanto a la calidad bromatológica. En los genotipos, Galáctico presentó mejores promedios obteniendo diferencias significativas en casi todas las variables. San Lorenzo registro diferencias significativas solo en variables agronómicas y de calidad. Los biofertilizantes se presentan como una opción sustentable ante los fertilizantes químicos igualando la producción y ofreciendo beneficios ambientales.

Palabras clave: *Bacillus amyloliquefaciens*, Biofertilizantes, producción forrajera, alternativas sustentables.

SUMMARY

In the Comarca Lagunera, large quantities of forage corn are produced, however, the chemical fertilization that this crop receives causes negative impacts on the environment, in addition to increasing production costs. Due to this, sustainable alternatives are being sought for forage production in the region, such as biofertilizers. In the present investigation, forage production was evaluated in two genotypes of forage corn by applying biofertilizers. 12 treatments were tested under a randomized block experimental design with a 2x6 factorial arrangement with three repetitions. The fertilizers were: *Bacillus amyloliquefaciens* (BA), *Bacillus amyloliquefaciens* + 50% chemistry (BA+Q), chemical (Q), bovine manure (E), commercial biofertilizer (BC) and control (T), which were applied to the two genotypes (San Lorenzo and Galactico). Although significant differences were only obtained in the agronomic variables, treatments with biofertilizers obtained the best averages, followed by bovine manure. The highest yield of green forage was for the treatment with manure (69.20 t ha^{-1}) and in dry the BA+Q stood out (29.55 t ha^{-1}). BA and BA+Q also produced a higher percentage than the rest in terms of bromatological quality. In the genotypes, Galactico presented better averages, obtaining significant differences in almost all variables. San Lorenzo registered significant differences only in agronomic and quality variables. Biofertilizers are presented as a sustainable option compared to chemical fertilizers, equalizing production and offering environmental benefits.

Index words: *Bacillus amyloliquefaciens*, Biofertilizers, forage production, sustainable alternatives.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de leche y forrajes de alta calidad y excelentes rendimientos (SAGARPA, 2016). En el 2021 se sembraron 48 789 hectáreas de maíz forrajero las cuales produjeron 2 100 649 ton ha⁻¹(SIAP, 2021); sin embargo, la fertilización química que recibe el maíz está causando daños ambientales, además de afectar a la economía del productor debido al incremento de materias primas para fabricar estos productos de origen sintético (Avila-Cisneros et al., 2018; FIRA, 2020).

Los efectos negativos causados por la utilización de fertilizantes químicos son diversos, entre ellos destaca la pobre asimilación de sus nutrientes por las plantas ya que se estiman pérdidas por volatilización, lixiviación, eutrofización en el agua, incremento en la salinidad y acidez en el suelo, reducción en la capacidad de retención de agua en el suelo, afectan a los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica, dificultad en el control de plagas y malezas, por lo cual existe una disminución en la producción agrícola (Castellanos et al., 2017; Guzmán-Flores, 2018; Chávez-Díaz et al., 2020; Mandal et al., 2020; Nosheen et al., 2021).

Para satisfacer las necesidades alimenticias que el ganado lechero demanda, es necesario implementar estrategias sustentables que incrementen la calidad y rendimiento sin causar impactos negativos al medio ambiente.

Los biofertilizantes son productos elaborados a base de microorganismos vivos que favorecen al crecimiento de las plantas mediante mecanismos directos como mayor captación de agua y absorción de nutrientes, gracias al mejor desarrollo radicular de la planta (Kumar et al., 2015); y mecanismos indirectos creando una resistencia ante agentes fitopatógenos (Moreno-Reséndez et al., 2018). Además, consumen menores cantidades de energía, reducen la contaminación del suelo y agua e incrementan la fertilidad del suelo, lo cual se ve reflejado en una mejora en la producción (Sneha et al., 2018).

El uso de biofertilizantes es una alternativa ecológica contra los fertilizantes químicos, ya que en la actualidad se han obtenido avances significativos en el desarrollo de estos productos para diversos cultivos (Kumar et al., 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio de estudio

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano 2021 en la Comarca Lagunera, en la Facultad de Agricultura y Zootecnia, ubicada en el ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio Durango. Esta región se localiza entre los meridianos 102°22' y 104°47' longitud oeste, y paralelos 24°22' y 26°23' latitud norte, a una altura de 1200 msnm. Según la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), posee un clima desértico con escasa humedad atmosférica y precipitación pluvial promedio de 240 mm anuales; el período de lluvia comprende de mayo a septiembre donde ocurre

aproximadamente el 70% de la precipitación. En la mayor parte de la región se tiene una evaporación anual de 2600 mm y una temperatura media de 20 °C.

Siembra

Se preparó el terreno de manera convencional, se realizó un riego pre siembra y posteriormente se llevó a cabo la siembra de manera manual. Se utilizaron dos materiales genéticos de maíz forrajero [variedad San Lorenzo (SL) e híbrido Galáctico (G)] previamente se inocularon con los biofertilizantes correspondientes las semillas de cada tratamiento con bacterias. Se delimitaron los surcos a 0.75 m teniendo cuatro surcos por unidad experimental, se tuvo una densidad de población de siete plantas por metro lineal. Se inocularon 112 semillas por unidad experimental para los tratamientos con biofertilizantes colocando el medio líquido junto con las semillas en bolsas de plástico por una hora y media a la sombra para posteriormente llevarlas a campo y sembrarlas.

Cosecha

Se cosechó de forma manual cuando el grano se encontraba en una maduración aproximada en un tercio de avance de la línea de leche y consistió en colectar siete plantas por unidad experimental tomando en cuenta solo los surcos centrales.

Diseño Experimental

Tabla 1. Tratamientos evaluados.

Genotipos	# Tratamiento	Descripción
San Lorenzo	1	San Lorenzo x <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
	2	San Lorenzo x <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> + químico (50%)
	3	San Lorenzo x Químico
	4	San Lorenzo x Estiércol bovino
	5	San Lorenzo x Bactisoil
	6	San Lorenzo x Testigo
Galáctico	7	Galáctico x <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
	8	Galáctico x <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> + químico (50%)
	9	Galáctico x Químico
	10	Galáctico x Estiércol bovino
	11	Galáctico x Bactisoil
	12	Galáctico x Testigo

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 2 x 6, siendo el factor A los genotipos de maíz y el factor B la fertilización [*Bacillus amyloliquefaciens* (BA), *Bacillus amyloliquefaciens* +

químico (50%) (BA+Q), Químico (Q), Estiércol bovino (E), Bactisoil (BC)] y al testigo (T), dando un total de 12 tratamientos (Tabla 1) con tres repeticiones, y un total de 36 unidades experimentales las cuales se distribuyeron de manera aleatoria. Las medidas fueron 4 m x 3 m cada una, con surcos de 0.75 m x 4 m de largo y con 1.5 m de espacio entre tratamientos.

Los tratamientos con *Bacillus amyloliquefaciens* se prepararon en el medio YPG en el laboratorio de biotecnología de FAZ-UJED a una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹. Para cubrir la dosis de fertilización química 180-90-00 (NPK), se utilizó como fuente de nitrógeno sulfato de amonio y de fósforo fosfato di amónico (DAP). El estiércol bovino fue adquirido del establo de FAZ-UJED. El biofertilizante comercial Bactisoil fue adquirido en Bioproductos Laguneros en Torreón Coahuila. Contiene *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus velezensis* y *Azospirillum brasilense* con 1×10^9 UFC ml⁻¹. Este producto está registrado ante la OMRI (Organic Materials Review Institute) lo cual lo hace ideal para su uso en la agricultura orgánica.

Aplicación de Tratamientos

Para los tratamientos con biofertilizantes se inocularon las semillas de los dos genotipos por unidad experimental de manera que se colocó el medio líquido junto con las semillas en bolsas de plástico por una hora y media a la sombra para posteriormente llevarlas a campo y sembrarlas.

La dosis de fertilización química se ajustó al tamaño de cada unidad experimental. La fertilización química del N se realizó en dos partes, se aplicaron 267.26 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio (primera aplicación, durante la siembra) y 439.02 kg ha⁻¹ (segunda aplicación a los 55 dds), de fosfato di amónico (DAP) fueron 195.65 kg ha⁻¹ (al momento de la siembra), esto para cubrir la demanda de N y P para una dosis de 180-90-00.

Para el tratamiento de *Bacillus amyloliquefaciens* + 50% de fertilización química se redujeron los valores totales del fertilizante a la mitad, aplicando 133.63 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio y 97.82 kg ha⁻¹ de DAP.

El estiércol bovino se distribuyó uniformemente y se incorporó manualmente antes del riego de pre siembra. Se aplicaron 45 ton ha⁻¹ tomando en cuenta que el estiércol contiene 1.5% de N, su mineralización en el primer ciclo es del 45% y la recuperación aparente de N por el cultivo es del 60% (Figuroa-Viramontes et al., 2009). La cantidad de estiércol que se utilizó fue para igualar la dosis del nitrógeno (180 unidades) que aporta la fertilización química.

Variables Evaluadas

Variables agronómicas. Se tomaron en cuenta siete plantas por unidad experimental a las cuales se les midieron y pesaron las siguientes variables al momento de la cosecha: diámetro de tallo (DT, en cm), número de hojas (NH), peso de hojas (PH en g), peso de mazorca (PM en g), diámetro de mazorca

(DM en cm) y largo de mazorca (LM en cm). Se registraron los datos por planta y posteriormente se calculó un promedio por unidad experimental.

Variables de rendimiento. Para el rendimiento del forraje seco (RFS), las muestras colectadas se cortaron, se colocaron en bolsas y se introdujeron en una estufa de aire forzado a 100 °C por 24 horas para obtener el peso seco y posteriormente estimar el rendimiento seco en $t\ ha^{-1}$.

Variables de calidad. Después de haber perdido toda el agua acumulada en las plantas, se cortaron en trozos más pequeños, en seguida, se pasaron por dos molinos con la finalidad de triturar finamente las muestras y obtener el tamaño de partícula deseado.

Proteína cruda (PC). Se determinó por el método de Kjeldahl donde, primeramente, se fijó la temperatura del digestor a 380°C la cual fue alcanzada en una hora aproximadamente. Se insertaron los tubos de digestión en los hoyos de la parrilla a los cuales se les agregó 0.5 g de muestra y se colocó en un pedazo de papel para pesar, se dobló cuidadosamente y se colocó dentro de cada tubo del digestor. Se pesó 0.1 de urea, se envolvió en papel y se colocó un solo tubo. Para el blanco se utilizó únicamente el papel doblado el cual fue puesto en un tubo también. Para acelerar el proceso de digestión en cada tubo se colocó un catalizador. Cabe mencionar que por cada corrida se utilizó un tubo con urea y un blanco. Después de haber completado el tiempo requerido por el digestor para llegar a la temperatura deseada, se agregan 15 ml de ácido sulfúrico concentrado a cada tubo para posteriormente colocar la parrilla en el digestor. Se dejaron digerir las muestras por una hora, pasado este tiempo se retiró la parrilla con los tubos de digestión, se dejaron enfriar las muestras por 15 minutos y se diluyeron las muestras digeridas con 70 ml de agua destilada. Para el proceso de destilación, se agregó a cada dilución 60 ml de hidróxido de sodio y se llevaron al destilador una a una, se insertó un matraz Erlenmeyer el cual contenía 75 ml de ácido bórico indicador y se procedió a destilar por tres minutos. Finalmente se tituló con ácido clorhídrico a la 0.1 Normal y se anotó el gasto. Para conocer el porcentaje de proteína cruda, se calcularon los mg de N en la muestra, después el porcentaje de N en la muestra y finalmente se obtiene el porcentaje de PC.

Fibra Acido Detergente (FAD). Se pesaron 0.5 g de muestra en una balanza analítica y se colocaron en vasos Berzelius donde se agregaron 100 ml a cada uno de solución FAD la cual contenía ácido sulfúrico y hexadecil trimetil bromuro de amonio. Se colocaron en el aparato para fibras para calentar hasta hervir reduciendo la temperatura al momento de hervir, ahí se mantuvieron por una hora. Transcurrido ese tiempo, se llevó a filtrar la mezcla utilizando una bomba de vacío con un filtro Whatman #541 previamente pesado, el residuo se lavó con agua caliente hasta que no se formaran burbujas, después de esto se lavó 2 veces con acetona. Se llevaron los filtros con el residuo a secar a una estufa de aire forzado a 100°C por 24 horas, se pasaron al desecador por 30 minutos y se registró el peso. El % de FAD resulto del peso del residuo entre el peso de la muestra x 100.

Fibra Neutro Detergente (FND). Para conocer el porcentaje de FND de cada muestra se realizó el mismo procedimiento y la misma fórmula que para la FDA, solamente se cambió de solución

por la neutro detergente, la cual se preparó con lauril sulfato de sodio, EDTA, bromato de sodio, fosfato de sodio dibásico y etoxyethanol.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza mediante el paquete estadístico SAS (2004) y la prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables agronómicas

El diámetro del tallo (DT) mostró diferencias significativas solamente entre los genotipos ($F=24.32$; $gl=1$; $Pr>F<.0001$). En los fertilizantes ($F=2.13$; $gl=5$; $Pr>F=0.0993$) y en los tratamientos ($F=0.70$; $gl=5$; $Pr>F=0.6303$) no hubo diferencias significativas. En los genotipos se observó que el Galáctico obtuvo un mayor promedio (2.64 cm) en comparación del San Lorenzo (2.25 cm) (Tabla 3). Dentro de los fertilizantes el BA+Q fue el que mostró mayor grosor de tallo con 2.66 cm superando al resto (Tabla 2).

Rodríguez-Hernández et al. (2020) utilizaron *Bacillus amyloliquefaciens* en maíz forrajero y reportaron diferencias estadísticas significativas entre sus tratamientos, donde la bacteria mostró el mayor diámetro de tallo (2.53 cm). En esta investigación se observó que se puede aumentar el grosor del tallo si al biofertilizante se le combina con al menos la mitad de la dosis química.

En el número de hojas (NH) no se encontraron diferencias significativas en los efectos tales como genotipos ($F=3.70$; $gl=1$; $Pr>F=0.0676$) y fertilizantes ($F=3.29$; $gl=5$; $Pr>F=0.0629$), ni tampoco en los tratamientos ($F=0.74$; $gl=5$; $Pr>F=0.6040$).

La variable peso de hojas (PH) mostró diferencias significativas solamente entre los genotipos ($F=358.28$; $gl=1$; $Pr>F<.0001$), pero no se encontraron diferencias significativas en los fertilizantes ($F=2.51$; $gl=5$; $Pr>F=0.0609$) ni en los tratamientos ($F=1.64$; $gl=1$; $Pr>F=0.1920$). El genotipo Galáctico promedió mayor peso de hojas (210.75 g) en comparación del San Lorenzo (113.98 g). Los fertilizantes con *Bacillus amyloliquefaciens* registraron el mayor peso de hojas superando al resto.

El peso de mazorca (PM) presentó diferencias significativas entre los genotipos ($F=132.77$; $gl=1$; $Pr>F<.0001$) así como en los fertilizantes ($F=2.75$; $gl=5$; $Pr>F=0.0446$), pero en los tratamientos ($F=0.63$; $gl=5$; $Pr>F=0.6780$) no hubo significancia. El estiércol bovino tuvo mayor peso de mazorca (384.04 g) siendo el mejor comparado con el resto de fuentes de fertilización, el testigo fue el que menos peso registró (Tabla 2). En cuanto a los genotipos, el Galáctico superó al San Lorenzo con 428.37 y 275.71 g respectivamente (Tabla 3).

Martínez-Reyes et al. (2018) reportaron mayor peso en mazorcas (10) con la aplicación de fertilización química (160-46-30), seguido de un tratamiento a base de *Azospirillum brasilense* + fertilización química al 50% (80-23-15) sin encontrar diferencias significativas en los tratamientos, caso contrario a los datos arrojados por este experimento.

La variable diámetro de mazorca (DM) mostró diferencias significativas únicamente entre los genotipos ($F=7.17$; $gl=1$; $Pr>F=0.0137$), ya que no se encontraron diferencias significativas en los fertilizantes ($F=1.50$; $gl=5$; $Pr>F=0.2309$) ni en los tratamientos ($F=0.93$; $gl=5$; $Pr>F=0.4796$). Galáctico presentó mayor diámetro de mazorca (4.63 cm) que el San Lorenzo (4.31 cm) siendo el mejor de los dos (Tabla 3). En los fertilizantes, el BA+Q fue mejor al resto con una media de 4.71 cm (Tabla 2).

Martínez-Reyes et al. (2018), obtuvieron resultados similares al utilizar biofertilizantes combinados con fertilización química en maíz, ya que la inoculación de *Azospirillum brasilense* + *Chromobacterium violaceum* + 50% de fertilización química (80-23-15) y *Chromobacterium violaceum* + fertilización química (160-46-30) presentaron las mejores medias pese a no encontrar diferencias significativas entre sus tratamientos.

El largo de mazorca (LM) mostró diferencias significativas entre los genotipos ($F=104.10$; $gl=1$; $Pr>F=<.0001$) y en los fertilizantes ($F=2.52$; $gl=5$; $Pr>F=0.0598$) sin embargo, en los tratamientos no se encontró diferencia significativa ($F=1.07$; $gl=5$; $Pr>F=0.4015$). El estiércol bovino mostró mayor largo de mazorca que todos los demás dejando al testigo con el promedio más bajo. En los fertilizantes con bacterias el que más destacó fue el biofertilizante comercial (17.75 cm) (Tabla 2). El híbrido Galáctico (19.54 cm) presentó mayor largo de mazorca que San Lorenzo (15.48 cm) (Tabla 3).

Tabla 2. Promedios de los efectos de fertilizantes en las variables agronómicas.

Fertilizantes	DT	NH	PH	PM	DM	LM
	cm	unidad	-----g-----		-----cm-----	
BA	2.41a	12.80a	170.23a	352.74ab	4.49a	17.62ab
BA+Q	2.66a	12.73a	172.85a	374.88ab	4.71a	17.63ab
Q	2.39a	11.78a	155.35a	335.12ab	4.28a	17.04ab
E	2.53a	12.37a	169.37a	384.04a	4.62a	18.68a
BC	2.45a	12.73a	158.35a	355.59ab	4.45a	17.75ab
T	2.25a	11.90a	148.04a	309.88b	4.26a	16.37b
DMS	0.4212	1.0976	27.583	71.785	0.648	2.1388

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Ayvar-Serna et al. (2020) encontraron mayor longitud de mazorca en la aplicación de un tratamiento con fertilización química (120-80-80) + biológica (*Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*) con una media de 16.4 cm siendo estadísticamente igual al tratamiento químico que registró 15.5 cm.

Las especies del género *Bacillus* poseen la capacidad de producir endoesporas, lo cual les permite subsistir en condiciones de estrés; además, se presume que no afectan a los microorganismos nativos ya que son habitantes muy comunes de la microbiota del suelo (Chowdhury et al., 2013; Qiao et al., 2017).

Las bacterias del género *Azospirillum* son capaces de formar asociaciones con las raíces de las plantas, además de sintetizar diversos compuestos implicados en la promoción del crecimiento de las plantas como giberelinas y citoquininas (Rodríguez et al., 2015).

Tabla 3. Promedios de genotipos en las variables agronómicas.

Genotipos	DT	NH	PH	PM	DM	LM
	cm	unidad	-----g-----		-----cm-----	
San Lorenzo	2.25b	12.58a	113.98b	275.71b	4.31a	15.48b
Galáctico	2.64a	12.19a	210.75a	428.37a	4.63a	19.54a
DMS	0.1619	0.4219	10.602	27.477	0.2491	0.8221

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Variables de rendimiento

Rendimiento del forraje seco (RFS). Para esta variable se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos ($F=16.48$; $gl=1$; $Pr>F=0.0005$); en los fertilizantes ($F=1.04$; $gl=5$; $Pr>F=0.4175$) y los tratamientos ($F=0.99$; $gl=5$; $Pr>F=0.4487$) no hubo diferencias significativas. En los genotipos el híbrido Galáctico superó a la variedad San Lorenzo obteniendo 31.30 y 23.14 t ha⁻¹ respectivamente (Tabla 5). Se observó que, aunque no hubiera significancia entre fuentes de fertilización, el biofertilizante a base de *Bacillus amyloliquefaciens* + 50% de fertilización química obtuvo mayor rendimiento seco (29.55 t ha⁻¹) seguido del biofertilizante comercial (29.46 t ha⁻¹), la media más baja la presentó el testigo absoluto (Tabla 4).

Estos valores medios difieren con los encontrados por Avalos et al. (2018) quienes obtuvieron 24 t ha⁻¹ de forraje seco en maíz al aplicar estiércol bovino (80 t ha⁻¹), además, reportaron rendimientos menores con la aplicación de bioinoculante (40 l ha⁻¹) al suelo donde registraron 21.91 t ha⁻¹.

La aplicación de estiércol bovino es capaz de obtener rendimientos similares en maíz forrajero por lo cual es posible sustituirlo por el fertilizante químico (López-Calderón et al., 2015).

Bacillus amyloliquefaciens se encarga de activar algunos nutrientes del suelo debido a que es capaz de modificar las formas de los elementos y microorganismos en el suelo. También está involucrada en la regulación del crecimiento de las células vegetales y desarrollo de raíces mediante la producción de hormonas y compuestos orgánicos volátiles. Presenta capacidad de incrementar la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico (Luo et al., 2022).

Bacillus amyloliquefaciens aplicada como biofertilizante, posee capacidades promotoras de crecimiento y desarrollo en plantas de maíz gracias a que es capaz de fijar nitrógeno (Rodríguez-Hernández et al., 2020). Mediante sus mecanismos (directos e indirectos), se encarga promover el crecimiento de las plantas, por estos motivos ha sido utilizada ampliamente en el sector agrícola (Zhang, 2016). Se ha demostrado ampliamente que su uso ha impactado de manera positiva ya que actúa como promotora de crecimiento vegetal e inhibe agentes patógenos en las plantas (Köberl et al., 2015).

Tabla 4. Promedios de los efectos de fertilizantes en las variables de rendimiento.

Fertilizantes	RFS
	t ha ⁻¹
BA	27.80a
BA+Q	29.55a
Q	26.60a
E	27.21a
BC	29.46a
T	22.69a
DMS	10.852

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Los biofertilizantes formulados a base de microorganismos nativos muestran mayor efectividad al aplicarlos en campo, debido a las condiciones edáficas que presenta cada región. Además, se recomienda la utilización de biofertilizantes como complemento a la fertilización química, esto con la intención de la posible sustitución a largo o mediano plazo de los compuestos sintéticos, tomando en cuenta factores como el suelo y el cultivo (Armenta-Bojórquez et al., 2010).

Parte de la agricultura sustentable radica en la implementación de microorganismos benéficos como biofertilizantes aplicados a los cultivos, ya que minimiza los daños causados por la fertilización convencional, con la finalidad de adoptar medidas conservacionistas (Lira-Saldivar et al., 2013; Hernández-Pérez et al., 2017).

Tabla 5. Promedios de los efectos de genotipos en las variables de rendimiento.

Genotipos	RFS
	t ha ⁻¹
San Lorenzo	23.14b
Galáctico	31.30a
DMS	4.171

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Variables de calidad

Proteína cruda (PC). En esta variable solamente se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre genotipos ($F=54.61$; $gl=1$; $Pr>F=<.0001$), para los fertilizantes ($F=1.13$; $gl=5$; $Pr>F=0.3736$) y para tratamientos ($F=2.11$; $gl=5$; $Pr>F=0.1027$) no se registraron diferencias significativas. En los genotipos, Galáctico obtuvo mayor porcentaje de PC (8.72) que San Lorenzo (7.51) (Tabla 7). El fertilizante a base de *Bacillus amyloliquefaciens* generó el mayor porcentaje (8.43) que el resto, teniendo al testigo absoluto como el promedio más bajo (Tabla 6).

Tabla 6. Promedios de los efectos de fertilizantes en las variables de calidad.

Fertilizantes	PC	FAD	FND
	-----%-----		
BA	8.43a	26.83a	59.18a
BA+Q	8.27a	28.30a	63.12a
Q	7.99a	27.83a	61.04a
E	8.29a	26.50a	61.29a
BC	8.12a	26.01a	60.96a
T	7.61a	26.68a	60.20a
DMS	0.8827	6.1383	8.6721

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

Rodríguez-Hernández et al. (2020) obtuvieron porcentajes menores de PC en maíz forrajero al emplear como biofertilizantes bacterias aisladas de zacate Johnson y sorgo caracterizadas como *Bacillus amyloliquefaciens* con medias de 7.83 y 7.35% respectivamente. Así mismo, demostraron que esta bacteria posee capacidades promotoras de crecimiento y desarrollo de plantas de maíz gracias a que es capaz de fijar nitrógeno.

Los porcentajes de PC obtenidos se encuentran por debajo de los niveles óptimos (10.33%) según el INIFAP (2006).

Fibra ácido detergente (FAD). No se obtuvo diferencia estadística entre fertilizantes para esta variable donde los porcentajes de FAD fluctuaron de 26.01 a 28.30, sin embargo, entre genotipos si hubo significancia, donde se arrojaron valores de 29.49 y 24.55% de la variedad San Lorenzo y del híbrido Galáctico respectivamente (Tablas 6 y 11.7).

Hernández-Reyes et al. (2019) encontraron porcentajes superiores de FAD en tallos de plantas de maíz donde aplicaron tratamientos con bacterias, los cuales consistieron en un consorcio de cianobacterias, *Azospirillum* y *Nostoc commune* donde obtuvieron 40.08, 27.39 y 32.03% respectivamente.

Los resultados encontrados de esta investigación están dentro de los valores (28-33%) de la media regional de la Comarca Lagunera (INIFAP, 2006).

Fibra neutro detergente (FND). Tanto los efectos de los fertilizantes como los de los genotipos en respuesta a la variable FND no presentaron diferencias estadísticas significativas. Los porcentajes obtenidos en los fertilizantes van desde 59.18 hasta 63.12, y en los genotipos 59.34 (Galáctico) y 62.6 (San Lorenzo) (Tabla 6 y Tabla 7).

Hernández-Reyes et al (2019) inocularon biofertilizantes a semillas de maíz donde reportaron valores superiores en los porcentajes de FND en hojas de plantas de maíz, obteniendo 67.38% y 70.82 con un consorcio de cianobacterias y con *Nostoc commune* respectivamente.

Cabe mencionar que los porcentajes de FND obtenidos superan al rango de valores de la Comarca Lagunera (50-55%) (INIFAP, 2006). La proteína cruda es una variable importante para determinar la calidad del forraje y este contenido depende del potencial genético del híbrido o variedad, y del manejo agronómico (Silva et al., 2005). Tanto la fibra ácido detergente como la neutro detergente son utilizadas para determinar la calidad de los forrajes, también para calcular la ingestión de materia seca, la digestibilidad y el valor energético de los alimentos (Hernández, 2010).

Tabla 7. Promedio de los efectos de los genotipos en las variables de calidad.

Genotipos	PC	FAD	FND
	-----%/-----		
San Lorenzo	7.51b	29.49a	62.60a
Galáctico	8.72a	24.55b	59.34a
DMS	0.3393	2.3594	3.3333

Valores con las mismas letras dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Values with the same letters within columns are statistically equal (Tukey $\alpha=0.05$).

CONCLUSIONES

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre fertilizantes para la mayoría de las variables, los biofertilizantes respondieron positivamente al generar promedios superiores contra el químico y el testigo absoluto. *Bacillus amyloliquefaciens* con o sin fertilización química, destacó entre los fertilizantes, por lo cual se deduce que se puede reducir al menos la mitad de la fertilización convencional sin afectar el rendimiento forrajero. Se demostró que el uso de biofertilizantes promueve el crecimiento en plantas de maíz, por lo cual los coloca como una alternativa sustentable.

En los materiales genéticos, el híbrido Galáctico mostró mejores medias para la mayoría de las variables con respecto a la variedad San Lorenzo, evidenciando los beneficios de la mejora genética.

La correcta selección de cepas bacterianas nativas para aplicarlas como biofertilizantes podrá garantizar una buena producción forrajera sin provocar daños medioambientales. Para obtener buenos rendimientos agrícolas se sugiere la creación de un protocolo de aplicación de biofertilizantes según el cultivo y la especie bacteriana.

LITERATURA CITADA

- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Ávalos de la Cruz, M. A., Figueroa-Viramontes, U., García-Hernández, J. L., Vázquez-Vázquez, C., Gallegos-Robles, M. A., & Orona-Castillo, I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova scientia*, 10(20), 170-189.
- Ávila-Cisneros, R., Rocha-Valdez J. L., González-Torres, A., Ogaz, A.R., & González-Avalos R. (2018). La fertilización orgánica: Un área de oportunidad sustentable para incrementar los rendimientos físicos y económicos de la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 42, pp. 879-890. DOI: 10.22004/ag.econ.275181
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Castellanos, J. Z., Cano, R. P., García, C. E. M., Olalde, P. V., Preciado, R. P., Ríos, P. J. L., & García, H. J. L. (2017). Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Sci. Util.* 25(1): S70-S77. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1362673>.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya-Molina, L. X., Cruz-Cárdenas, C. I., Rojas-Anaya, E., Ruíz-Ramírez, S., & de los Santos-Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423–1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>.
- Chowdhury, S. P., Dietel, K., Rändler, M., Schmid, M., Junge, H., Borriss, R., ... & Grosch, R. (2013). Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 on lettuce growth and health under pathogen pressure and its impact on the rhizosphere bacterial community. *Plos one*, 8(7), e68818.
- Figueroa-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Delgado, J. A., Cueto-Wong, J. A., & Flores-Margez, J. P. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. *Agricultura orgánica*, 2, 128-151.
- FIRA - Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (2020). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Sistema de costos agrícolas: resumen de costos. 1-5 pp.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México, DF. 246 p.

- Guzmán-Flores, J. (2018). Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Boletines Cámara de Diputados, vol. 37. Palacio Legislativo de San Lázaro, México.
- Hernández, G. S. (2010). Importancia de la fibra en la alimentación de los bovinos. Tesis de Licenciatura (Medicina Veterinaria y Zootecnia). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 55p.
- Hernández-Pérez, A., Valdés-Aguilar, L. A., Cárdenas-Flores, A., Ibarra-Jiménez, L., Méndez-Arguello, B., Vera-Reyes, I., & Lira-Saldivar, R. H. (2017). Photosynthesis, growth and yield of *Solanum lycopersicum* as influenced by the use of microbial biofertilizers. *Agrochimica* 61 (2): 95-109. <https://doi.org/10.12871/0021857201713>.
- Hernández-Reyes, B. M., Rodríguez-Palacio, M. C., Castilla-Hernández, P., Sánchez-Robles, J., Vela-Correa, G., & Schettino-Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista latinoamericana de biotecnología ambiental y algal*, 10(1), 13-27.
- INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2006). Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Técnico. Ed. INIFAP. Torreón, Coah., México.
- Köberl, M., White, R. A. III, Erschena, S., Spanberger, N., El-Arabi, T. F., Jansson, J. K., & Ber, G. (2015). Complete genome sequence of *Bacillus amyloliquefaciens* strain Co1-6, a plant growth-promoting rhizobacterium of *Calendula officinalis*. *Genome Announc* 3(4): e00862-15.
- Kumar, A., Bahadur, I., Maurya, B. R., Raghuwanshi, R., Meena, V. S., Singh, D. K., & Dixit, J. (2015). Does a plant growth-promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability? *J. Pure Appl. Microbiol.* 9(1):715-724.
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S., & Kumar, R. (2021). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current research in microbial sciences*, 3, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>
- Lira-Saldivar, R. H., Tucuch-Pérez, M. A., López-López, D., & Borjas-Banda, C. L. (2013). Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a la biofertilización y acolchado plástico en producción orgánica. *Agricultura Sostenible*. 9: 538-552.
- López-Calderón, M. J., Figueroa-Viramontes, U., Fortis-Hernández, M., Núñez-Hernández, G., Ochoa-Martínez, E., & Sánchez-Duarte, J. I. (2015). Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Phyton* (Buenos Aires), 84(1), 8-13.
- Luo, L., Zhao, C., Wang, E., Raza, A., & Yin, C. (2022). *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. *Microbiological Research*, 259, 127016.
- Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A. K., & Manna, M. C. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. In: agrochemicals detection, treatment and remediation. (Ed.). Kuhl,

- M. and Butterworth-Hinemann, L. (Ed.). Oxford. 161-187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6>.
- Martínez-Reyes, L., Aguilar-Jiménez, C. E., Carcaño-Montiel, M. G., Galdámez-Galdámez, J., Gutiérrez-Martínez, A., Morales-Cabrera, J. A., ... & Gómez-Padilla, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37.
- Moreno-Reséndez, A., Carda-Mendoza, V., Reyes-Carrillo, J. L., Vásquez-Arroyo, J., & Cano-Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Rev. Colombiana Biotecnol.* 20(1):68-83.
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13(4), 1868. pp. 1 – 20
- Qiao, J., Yu, X., Liang, X., Liu, Y., Borriss, R., & Liu, Y. (2017). Addition of plant-growth-promoting *Bacillus subtilis* PTS-394 on tomato rhizosphere has no durable impact on composition of root microbiome. *BMC microbiology*, 17(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1039-x>
- Rodríguez, A. C., Bonifacio, A., de Araujo, F. F., Junior, M. A. L., & Figueiredo, M. V. B. (2015). *Azospirillum* sp. as a challenge for agriculture. In: Maheshwari, D.K. (Ed.) *Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem*. Springer International Publishing, Cham, pp. 29–51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3_2
- Rodríguez-Hernández, M. G., Gallegos-Robles, M. Á., Rodríguez-Sifuentes, L., Fortis-Hernández, M., Luna-Ortega, J. G., & González-Salas, U. (2020). Cepas nativas de *Bacillus* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana* 38: 313-321. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- SAGARPA- Región Laguna. (2016). La Comarca Lagunera, primer lugar en producción de leche, carne de ave y forrajes. Blog. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cregionlagunera/articulos/la-comarca-lagunera-primer-lugar-en-produccion-de-leche-carne-de-ave-y-forrajes-sagarpa>
- SAS (2004). SAS User's Guide. version 9.1. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 4975p
- SIAP - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva, P. R. F., Strieder, M. L., Coser, R. P. S., Rambo, L., Sangoi, L., Argenta, G., Forsthofer, E. L., & Silva, A. (2005). Grain yield and kernel crude protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. *Scientia Agric.* 62(5):487-492.
- Sneha, S., Anitha, B., Sahair, R. A., Raghu, N., Gopenath, T. S., Chandrashekrappa, G. K., & Basalingappa, M. K. (2018). Biofertilizer for crop production and soil fertility. *Academia Journal of Agricultural Research*, 6(8), 299-306.
- Zhan, D. (2016). Plant development and reproduction, *Science Bulletin*, 61(11), 825-826. <https://doi.org/10.1007/s11434-016-1099-6>.



Respuesta del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) a sustratos orgánicos formulados con diferentes proporciones de Vermicompost: Arena

Response of the Quinoa crop (*Chenopodium Quinoa* Willd) to organic substrates formulated with different proportions of Vermicompost: Sand

Recibida em: 17/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap9

Manuel Fortis-Hernández^{1‡} 

Alma Patricia Galindo-Guzmán¹ 

Pablo Preciado-Rangel¹ 

Erika Lagunes-Fortiz² 

Ignacio Orona-Castillo³ 



¹ Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón – San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila. México.

² Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Carretera México-Texcoco km 38.5 Chapingo, Texcoco Estado de México, México.

³ Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Gómez Palacio, Dgo., México.

‡Autor de correspondencia: fortismanuel@hotmail.com

RESUMEN

La creciente demanda de productos proteicos en el mercado ha contribuido a la intensificación del cultivo de quinua como una opción vital en la búsqueda global de fuentes sostenibles y nutritivas de alimentos. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del rendimiento de plantas de quinua producidas utilizando sustratos orgánicos formulados con diferentes proporciones de vermicompost mezclado con arena en condiciones de malla sombra. Se aplicaron diferentes proporciones en volumen de vermicompost y arena, dichas proporciones fueron: 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 (V:A) y un sustrato de perlita y arena (20:80) como testigo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. El material genético fue *Chenopodium quinoa* Willd variedad redhead. Las variables agronómicas evaluadas fueron altura de planta (cm), el diámetro de tallo (cm), el peso fresco y materia seca de planta en tallo, hojas y panoja (g), longitud de raíz (cm), volumen desplazado de raíz (cm³), así como el área foliar (cm²), el peso de 1000 granos (g) y el rendimiento (kg ha⁻¹). Los resultados obtenidos revelan que la quinua exhibe un patrón de crecimiento diferente en respuesta a diversas proporciones de vermicompost y arena. La proporción 75% vermicompost + 25% arena, mostró el mayor rendimiento en las variables evaluadas, al sembrar cuatro plantas por unidad experimental. En conclusión, el empleo de dosis elevadas de vermicompost en proporción con arena emerge como una estrategia efectiva para obtener rendimientos satisfactorios de quinua.

Palabras clave: agricultura sostenible, productividad, quinua orgánica, seguridad alimentaria.

SUMMARY

The growing demand for protein products in the market has contributed to the intensification of quinoa cultivation as a vital option in the global search for sustainable and nutritious food sources. This research aimed to evaluate the effect on the performance of quinoa plants produced using organic substrates formulated with different proportions of vermicompost mixed with sand under shade mesh conditions. Different volume proportions of vermicompost and sand were applied, these proportions were: 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 (V:A) and a substrate of perlite and sand (20:80) as a witness. A complete random experimental design was used. The genetic material was *Chenopodium quinoa* Willd redhead variety. The agronomic variables evaluated were plant height (cm), stem diameter (cm), fresh weight and dry matter of the plant in stem, leaves and panicle (g), root length (cm), displaced root volume (cm³), as well as leaf area (cm²), 1000 grain weight (g) and yield (kg ha⁻¹). The results obtained reveal that quinoa exhibits a different growth pattern in response to various proportions of vermicompost and sand. The proportion of 75% vermicompost + 25% sand showed the highest performance in the evaluated variables, when planting four plants per experimental unit. In conclusion, the use of high doses of vermicompost in proportion to sand emerges as an effective strategy to obtain satisfactory quinoa yields.

Index words: sustainable agriculture, productivity, organic quinoa, food safety.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha presentado un notable aumento en la demanda de productos proteicos (Rubinovich et al., 2023). El mercado mundial de ingredientes proteicos alcanzó un valor de 38 500 millones de dólares en 2020, con proyecciones a una tasa de crecimiento anual del 10.5% de 2021 a 2028 (Grandview Research, 2021). Las fuentes principales de proteínas vegetales en la dieta humana incluyen los cereales, las legumbres, las legumbres, las semillas y los frutos secos (Day et al., 2022).

La planta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd., Amaranthaceae) ha emergido como una opción vital en la búsqueda global de fuentes sostenibles y nutritivas de alimentos (Scanlin et al., 2024). La quinua, caracterizada por su enorme variabilidad genética y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, ofrece un contenido equilibrado de nutrientes, proporcionando una adecuada combinación de carbohidratos, proteínas y grasas, convirtiéndola en un alimento completo y beneficioso para mantener una dieta saludable (Dostalíková et al., 2023). Además, la quinua y otros cultivos autóctonos pueden desempeñar un papel valioso en la lucha contra el hambre y la desnutrición, especialmente en el contexto del cambio climático. Su resiliencia, valor nutricional y capacidad para diversificar los sistemas alimentarios los convierten en herramientas esenciales para fortalecer la seguridad alimentaria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Aunado a que los consumidores son cada vez más conscientes de la composición de sus alimentos y de la forma en la que se producen, priorizan la salud y la sostenibilidad (Rabadán et al., 2021). En este sentido, el uso de abonos orgánicos (AO), como abonos verdes, compost, estiércol animal y otros, se ha destacado como una práctica agroecológica recomendada ampliamente (González-Rodríguez et al., 2023). Estos abonos, provenientes de desechos orgánicos, se caracterizan por su naturaleza libre de productos químicos sintéticos, siendo esenciales para sistemas de producción orgánica (Moreno *et al.*, 2019). Considerando estos aspectos, el objetivo en estas áreas es el de implementar sistemas de producción que permitan obtener rendimientos óptimos que lleven al aprovechamiento de la quinua como cultivo para mejorar las condiciones de vida del agricultor (Huamán et al., 2017). Sin embargo, el uso indiscriminado de agroquímicos y una fertilización sin considerar el balance de nutrientes genera la degradación del suelo (González-Márquez et al., 2021).

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del rendimiento de plantas de quinua producidas utilizando sustratos orgánicos formulados con diferentes proporciones de vermicompost mezclado con arena en condiciones de malla sombra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

La investigación se llevó a cabo en una malla sombra ubicada en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, localizado geográficamente a 25° 36' 36" latitud norte, 103° 22' 32" longitud oeste y altitud de 1150 msnm. La malla sombra utilizada modelo Agro

Sombra, con una superficie de 250 m², es ampliamente recomendada para la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de cultivo, posee una resistencia máxima al viento de 120 km h⁻¹ y una capacidad de carga mayor a 35 m². Está compuesta por un tejido plano de monofilamento estabilizado de 16x10 hilos, proporcionando un nivel de sombra del 50%. La estructura está fabricada con materiales conforme a la Norma Mexicana de Diseño y Construcción de Invernaderos (NMX-E-255-CNCP-2013).

Material Vegetal

El material evaluado fue quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad redhead, el cual proviene de Perú. Es una rara y productiva variedad que muestra panojas de color fucsia o rosa. La planta llega a medir de 1.20 a 1.50 m, tiene altos rendimientos de grano, con semillas pequeñas de color claro y sabor dulce. Además, este vegetal muestra una rápida germinación que ocurre entre 3-4 dds (días después de siembra).

Manejo del Cultivo

En la siembra directa, se colocaron 15 semillas por maceta a una profundidad de 1 a 2 cm, pasados tres días, las semillas germinaron, y luego, al cabo de 27 días, se realizó una selección, dejando únicamente 4 plantas por maceta. A los 60 días se empleó rafia para ayudar a sostener la planta. En cuanto al manejo integrado de plagas (MIP), se aplicó extracto de ajo al 8.4% cada 15 días como preventivo.

Sustratos Evaluados

Las mezclas se realizaron en base a volumen (v:v), se utilizaron bolsas negras de polietileno de 10 kg. La vermicompost fue obtenida del vermicario del ITT, como material inerte se utilizó arena de río, la cual fue cribada y esterilizada con H₂SO₄ al 1%. Los tratamientos evaluados fueron cinco niveles de vermicompost:arena además un testigo con perlita y arena regado con solución nutritiva (Steiner, 1984).

Tabla 1. Sustratos evaluados en el cultivo de quinua.

Tratamiento	Descripción
	V:A
T1	15:85
T2	30:70
T3	45:55
T4	60:40
T5	75:25
T6	Testigo (Steiner)

Donde: V= Vermicompost, A = Arena

Los tratamientos fueron: T1 = 15 vermicompost + 85 arena; T2 = 30 vermicompost + 70 arena; T3 = 45 vermicompost + 55 arena; T4 = 60 vermicompost + 40 arena; T5 = 75 vermicompost + 25 arena; y T6 = testigo químico solución Steiner (Tabla 1).

Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica del Sustrato

La caracterización física del sustrato se siguió por el método del porómetro (Pire y Pereira, 2003), determinando la porosidad total (%), el porcentaje de aireación (%), la capacidad de retención de agua (%), la densidad aparente (mg m^{-3}), y la densidad de partícula (mg m^{-3}). Las características físicas de los sustratos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características físicas de sustratos orgánicos con diferentes proporciones de vermicompost: arenas utilizadas en la producción de quinua en condiciones de malla sombra.

Tratamientos	PT	Pa	CRA	Da	Dp
V:A	----- % -----			----- g cm^{-3} -----	
T1 = 15:85	18.33	2.62	15.55	0.84	1.02
T2 = 30:70	21.66	2.65	18.99	0.80	1.02
T3 = 45:55	31.00	2.15	28.54	0.77	1.11
T4 = 60:40	28.33	1.93	26.20	0.70	0.97
T5 = 75:25	49.66	1.69	47.97	0.69	1.38

Donde: PT= Porosidad total (%), Pa= Porosidad de aireación (%), CRA= Capacidad de retención de agua (%), Da= Densidad aparente (g cm^{-3}), Dp= Densidad de partículas (g cm^{-3}).

La caracterización química de la muestra fue realizada según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007; determinando el pH, la conductividad eléctrica (dS m^{-1}), el contenido de fósforo (mg kg^{-1}), de materia orgánica (%), y de nitratos NO_3^- (mg kg^{-1}). Las características químicas de los sustratos orgánicos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Características químicas de sustratos orgánicos con diferentes proporciones de vermicompost: arenas utilizadas en la producción de quinua en condiciones de malla sombra.

Tratamiento	pH	CE	P	MO	NO_3^-
V:A		dS m^{-1}	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}
T1 = 15:85	7.3	2.88	2.15	7.2	8.71
T2 = 30:70	7.38	4.18	3.3	14.4	17.42
T3 = 45:55	7.48	7.03	4.1	21.6	26.12
T4 = 60:40	7.52	8.03	5.2	28.8	34.83
T5 = 75:25	7.62	9.36	6.2	36.1	45.52

Donde: pH= Potencial de hidrogeno, CE= Conductividad eléctrica (dS m^{-1}), P= Fósforo (mg kg^{-1}), MO= Materia orgánica (%), NO_3^- = Nitratos (mg kg^{-1})

La caracterización microbiológica consistió en la identificación del microbiota presente en los sustratos. Se realizaron diluciones seriadas en tubos Falcon, y se sembraron en cajas Petri con agar utilizando la técnica de siembra en superficie. Estas muestras se incubaron a 30 °C, y las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) se contabilizaron posteriormente. Los medios de cultivos utilizados para aislar la microbiota de los niveles de vermicompost:arena fueron: King B, LB, Czapek-Dox, NFB y PDA. Se observó que el medio Czapek-Dox destinado al desarrollo de Actinomicetos, obtuvo la mayor respuesta con 16×10^7 UFC g⁻¹ de sustrato, mientras que el medio NFB para bacterias fijadoras de nitrógeno presentó el menor número con 6×10^6 UFC g⁻¹ de sustrato.

Variables Evaluadas en Planta

Se evaluaron variables agronómicas como la altura de planta (cm), el diámetro de tallo (cm), el peso fresco y materia seca de planta en tallo, hojas y panoja (g), longitud de raíz (cm) y volumen desplazado de raíz (cm³), así como el área foliar (cm²), el peso de 1000 granos (g) y el rendimiento (kg h⁻¹).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos y seis repeticiones con un total de 36 unidades experimentales. Los tratamientos se colocaron a una distancia de 20 cm entre macetas dando una densidad de cuatro unidades experimentales por m². Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.1 (Statistical Analysis System Institute).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de Planta

El efecto de los sustratos vermicompost:arena en el crecimiento de las plantas no fue homogéneo (Tabla 4). En siete de las ocho fechas que se muestrearon, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). La altura de plantas varió de 24.25 cm a 87 cm desde los 33 hasta los 82 días respectivamente, mayor media en altura se encontró en el tratamiento T4 (60:40), mientras que la menor media en altura se registró en el tratamiento T6 (Testigo). Se puede observar como a medida que el nivel de vermicompost aumenta se alcanza mayor altura, los tratamientos T3 (45:55) 19%, T4 (60:40) 25% y T5 (75:25) 22% son los que más altura alcanzan respecto al tratamiento T1 (15:85).

El vermicompost se considera una fuente a largo plazo de micro y macronutrientes que los cultivos asimilan muy fácilmente (Yatoo et al., 2021). En los últimos años, el vermicompost ha recibido una mayor atención debido a sus notables características fisicoquímicas y biológicas (Huang et al., 2014), los suelos modificados con vermicompost tienen mejor aireación, porosidad y estructura (Zhu et al.,

2017), y los parámetros químicos como el pH, la conductividad, la materia orgánica y el estado de los nutrientes mejoran considerablemente y conducen a un mejor crecimiento y rendimiento de los cultivos (Lim et al., 2015).

En el actual estudio, los resultados obtenidos a partir de T4 (60:40), donde se presentaron los valores más altos en relación con la altura (87 cm), queda por arriba de los encontrados por Huamán et al. (2017), que tras la aplicación de tres tipos de abonos orgánicos más dos dosis de un biofertilizante en el rendimiento de quinua, variedad Negra Collana, obtuvo plantas de 75,78 cm de altura. Mientras que Galindo-Pardo et al. (2014) realizaron un experimento en pepino utilizando como tratamientos vermicompost + arena (20:80), estiércol solarizado + arena (20:80), vermicompost + estiércol + arena (10:10:80) encontrando que la vermicompost fue el tratamiento que más altura alcanzó.

Tabla 4. Prueba de comparación de medias de diferente fecha de muestreo de la variable altura de planta, en el cultivo de quinua bajo diferentes proporciones de vermicompost: arena en condiciones de malla sombra.

Tratamiento	Altura de planta (dds)							
	33	40	47	54	62	69	75	82
V:A	----- cm -----							
T1 = 15:85	25.165 bc*	45.250 a	51.163 b	60.625 c	61.25 c	62.000 b	63.163 b	65.125 b
T2 = 30:70	33.500 a	44.663 a	58.313 b	66.625 bc	68.62 bc	69.325 b	69.583 b	70.063 b
T3 = 45:55	29.000 abc	42.250 a	62.250 ab	79.063 a	79.56 ab	79.975 a	80.325 a	81.000 a
T4 = 60:40	33.000 ab	48.025 a	70.625 a	85.125 a	85.58 a	86.500 a	87.000 a	87.000 a
T5 = 75:25	24.250 c	40.750 a	58.250 b	77.238 ab	80.00 a	82.188 a	83.063 a	83.438 a
Testigo	24.875 c	42.500 a	59.938 b	61.813 c	63.913 c	64.150 b	64.588 b	64.750 b

Donde: dds= días después de siembra. *Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Diámetro de Tallo

El diámetro de tallo de la planta de quinua mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), entre los tratamientos, siendo el tratamiento T5 (75:25) con un 44% y el T4 (60:40), con un 37% mayor que el tratamiento T1 (15:85). Siendo estos tratamientos los que mayor diámetro presentaron a lo largo del tiempo. En la Tabla 5, se muestra como a medida que pasan los días, los tratamientos con dosis altas de vermicompost suelen presentar un mayor diámetro de tallo siendo el mejor el tratamiento T5 (75:25) con una media de 0.891 cm mientras que el tratamiento T1 (15:85) presentó menor diámetro con 0.506 cm.

Al respecto, se sabe que las plantas en invernadero aprovechan mejor la luz, los nutrientes y el agua, que las plantas en campo. Beltrán-Morales et al. (2016) realizaron un estudio evaluando sustratos orgánicos en seis variedades de chile, utilizando estiércol solarizado y vermicompost, reportando un mayor diámetro de tallo en los tratamientos con la variedad Don Julio en campo con adición de vermicompost.

Tabla 5. Prueba de comparación de medias en diferentes fechas de muestreo de la variable diámetro de tallo, en el cultivo de quinua bajo diferentes proporciones de vermicompost:arena en condiciones de malla sombra.

Tratamiento	Diámetro de tallo (días después de la siembra)							
	33	40	47	54	62	69	75	82
V:A	----- cm -----							
T1 = 15:85	0.359 b*	0.469 c	0.441 c	0.458 c	0.459 c	0.483 c	0.500 c	0.506 c
T2 = 30:70	0.409 b	0.610 b	0.630 b	0.655 b	0.668 b	0.681 b	0.710 b	0.715 b
T3 = 45:55	0.520 a	0.638 b	0.658 b	0.670 b	0.686 b	0.708 b	0.730 b	0.734 b
T4 = 60:40	0.583 a	0.650 ab	0.716 ab	0.712 b	0.750 ab	0.765 ab	0.791 ab	0.793 b
T5 = 75:25	0.550 a	0.756 a	0.800 a	0.816 a	0.816 a	0.825 a	0.858 a	0.891 a
Testigo	0.400 b	0.475 c	0.475 c	0.491 c	0.491 c	0.491 c	0.494 c	0.516 c

Donde: dds= días después de siembra. *Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Peso Fresco y Materia Seca en Planta

Se evaluó el peso fresco y la materia seca de tallos, hojas y panoja de la planta (Tabla 6), encontrando diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). En cuanto al peso fresco de tallo el tratamiento T5 (75:25) con 25 g y el T2 (30:70) con 16.5 g fueron los mejores con 78.3% y 67.6% en comparación con el tratamiento T1 (15:85). Lo cual puede explicar los resultados obtenidos de la materia seca de tallo, donde se muestra que los tratamientos con $\leq 30\%$ de vermicompost mostraron mayor contenido. Para el peso fresco y materia seca de hojas, el mayor contenido coincide con el tratamiento T5 (75:25) con 21 g y 3.66 g respectivamente, que equivale al 97.5% de peso fresco y 72.5% de materia seca respecto al tratamiento T1 (15:85). Mientras que en T1 (15:85), T2 (30:70), T3 (45:55), T4 (60:40) y T6 (Testigo) el contenido fue similar y no presentaron diferencias estadísticas significativas. Asimismo, los tratamientos con niveles de vermicompost altos son los que mayor peso fresco y materia seca de panoja mostraron, siendo el tratamiento T5 (75:25) el que mayor peso registró, con 78% y 79.5% más respecto al tratamiento T1 (15:85).

Díaz-Méndez et al. (2014), reportaron mayor materia seca en un sustrato con vermicompost:arena (25:75), en producción orgánica de pepino con respecto a dosis altas de vermicompost:arena. En el actual estudio, dosis altas de vermicompost ofrecieron las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas.

Esto debido a que al tener un mayor nivel de abono las plantas lograron satisfacer sus necesidades nutritivas y al lograr un mayor desarrollo vegetal de tallo y hojas su biomasa se incrementó.

Tabla 6. Prueba de comparación de medias de la variable peso fresco y materia seca del cultivo de quinua bajo diferentes proporciones de vermicompost: arena en condiciones de malla sombra.

Tratamiento	Tallo		Hojas		Panoja		Total	
	PF	MS	PF	MS	PF	MS	PF	MS
V:A	-----g-----							
T1 = 15:85	5.33 dc*	1.00 c	2.66 b	1.00 b	11.66 b	5.33 d	19.67 b	7.33 c
T2 = 30:70	16.50ab	4.00 ab	4.33 b	1.33 b	26.33 b	16.00bc	47.17 b	21.33 b
T3 = 45:55	14.83 b	3.00 abc	3.00 b	1.00 b	23.00 b	10.00cd	40.83 b	14.00 bc
T4 = 60:40	13.50 bc	2.66 abc	11.00 b	1.66 b	27.00 b	17.83 b	51.50 b	22.16 b
T5 = 75:25	25.00 a	4.66 a	21.00 a	3.66 a	53.00 a	26.00 a	99.00 a	34.33 a
Testigo	3.33 d	2.00 bc	4.00 b	1.66 b	16.66 b	6.33 d	24.00 b	10.00 c

Donde: PF= Peso fresco y MS= materia seca (g). *Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Longitud de Raíz y Volumen Desplazado de Raíz

Las mediciones realizadas a la raíz del cultivo de quinua como longitud y volumen desplazado no demostraron diferencias entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, se puede observar en la Tabla 7, que la longitud de la raíz era menor conforme se aumentaba la cantidad de vermicompost, esto puede deberse a que, entre mayor sea la proporción, más se incrementa la conductividad eléctrica y esto es una limitante para el crecimiento radical.

Tabla 7. Prueba de comparación de medias para las variables de longitud de raíz y volumen de raíz del cultivo de quinua bajo diferentes proporciones de vermicompost: arena en condiciones de malla sombra.

Tratamiento	Longitud de raíz	Vol. de raíz
V:A	cm	cm ³
T1 = 15:85	32.667 a	4.333 a
T2 = 30:70	33.333 a	7.333 a
T3 = 45:55	32.667 a	10.000 a
T4 = 60:40	31.667 a	9.000 a
T5 = 75:25	25.333 a	11.333 a
Testigo	27.000 a	6.000 a

Donde: PF= Peso fresco y MS= materia seca (g). *Letras similares dentro de cada columna son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Área Foliar

El área foliar es un atributo morfológico importante que representa la foto asimilación en las plantas (Ali et al., 2020). En el presente estudio (Figura 1), se demostró que el tratamiento T5 (75:25) fue estadísticamente el mejor ($P \leq 0.05$), en un 90% en comparación con el tratamiento T1 (15:85).

Al revisar que la mayor cantidad de peso fresco y materia seca de planta se encontró en este tratamiento, es posible inferir que la efectividad fotosintética se incrementara debido a una mayor cantidad de hojas por planta y a una absorción eficiente de agua y nutrientes, lo que en última instancia mejoró la expansión de las hojas.

Esta área foliar mejorada podría ayudar a las plantas a capturar más luz solar para impulsar suavemente la fotosíntesis y conducir a un suministro suficiente de asimilados a los otros órganos en desarrollo de la planta de quinua.

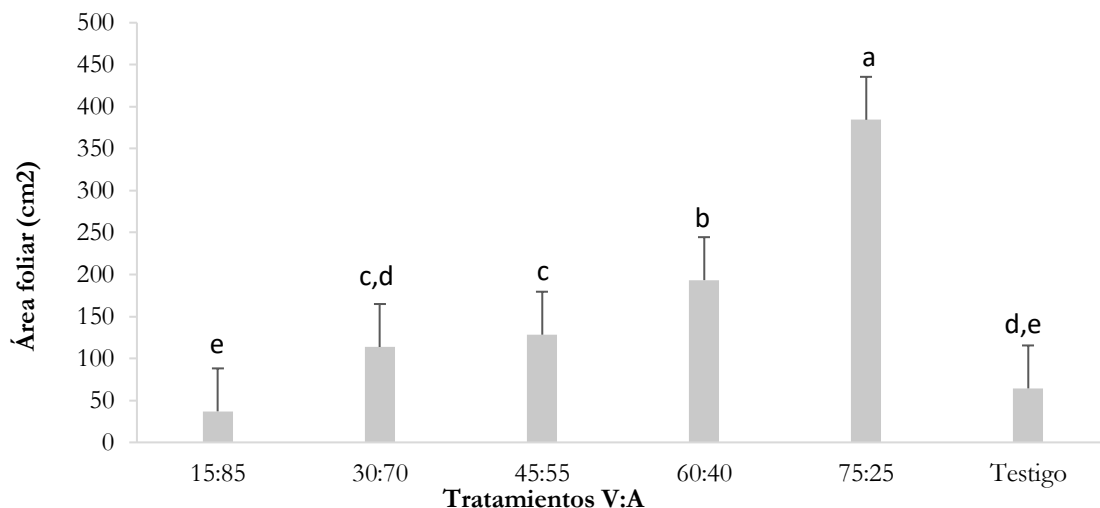


Figura 1. Área foliar en plantas de quinua sembradas bajo condiciones de malla sombra, usando como sustrato diferentes proporciones de vermicompost: arena. *Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Peso de 1000 Granos de Quinua

Para el peso de 1000 granos de quinua el análisis de varianza determinó que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos (Figura 2), siendo el tratamiento T4 (60:40) el que mayor peso mostró con 2.06 g en promedio. Sin embargo, Pando y Aguilar (2016) mencionan que el peso de 1000 granos se encuentra entre 1.5 a 3 g, por lo que los pesos obtenidos en la investigación se encuentran entre los rangos reportados y al obtener el grano de manera orgánica, el precio de la semilla se incrementa, mejorando los ingresos.

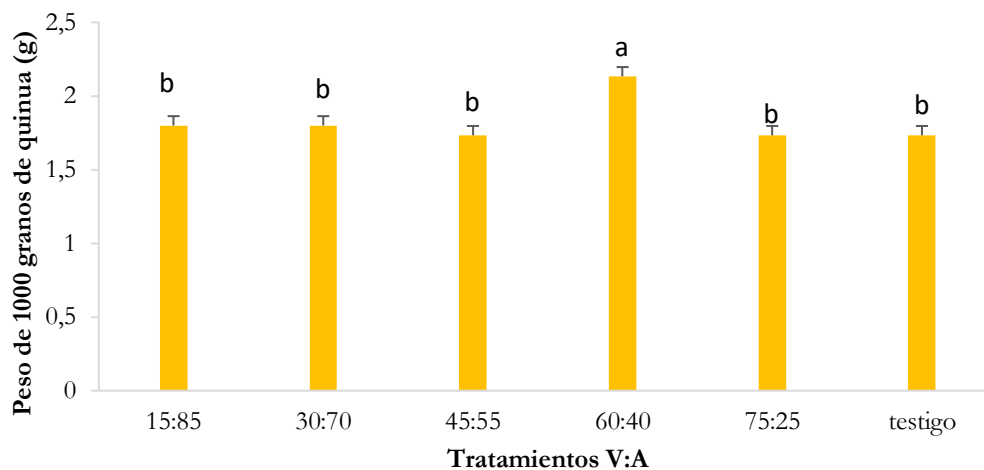


Figura 2. Peso de 1000 granos de quinua a los 90 dds bajo condiciones de malla sombra usando como sustrato diferentes proporciones de vermicompost:arena.*Letras similares son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Rendimiento de Quinua

En la actualidad, el vermicompost es bien conocido por su capacidad para producir un buen rendimiento de cultivos y se ha utilizado ampliamente para el cultivo de maíz, trigo, menta, tomates, pimiento y ajo (Yatoo et al., 2021).

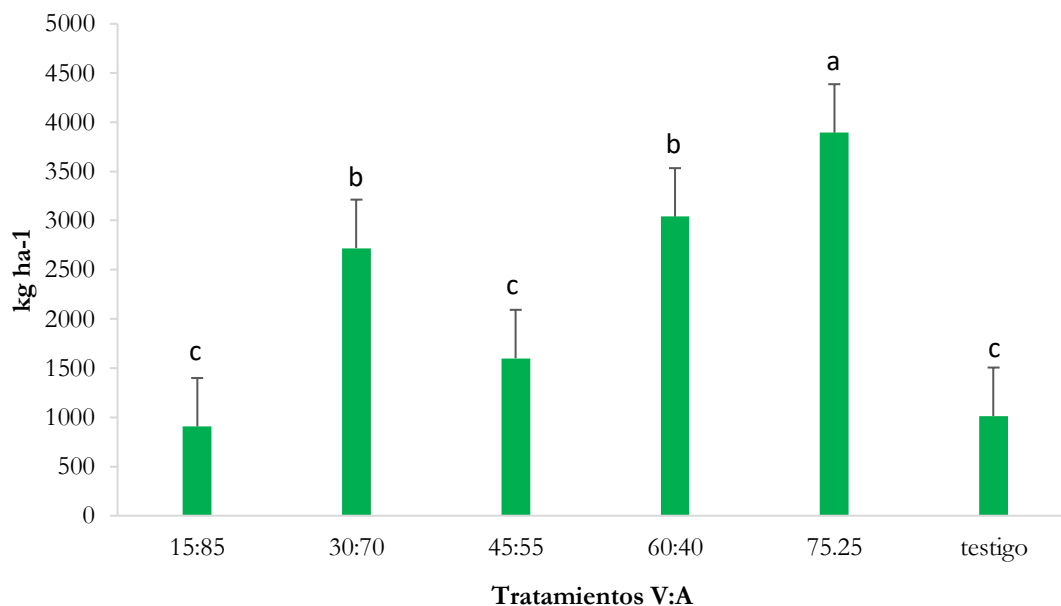


Figura 3. Rendimiento de quinua considerando cuatro plantas por maceta y cuatro macetas por m², en condiciones de malla sombra usando como sustrato diferentes proporciones de vermicompost: arena.*Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Ghasem et al. (2014), mencionan que la aplicación de vermicompost proporciona resultados similares a los de los fertilizantes químicos, mientras que otros autores han informado que el vermicompost supera a los fertilizantes químicos en términos de mejora del rendimiento y manejo de

plagas y enfermedades (Mahmud et al., 2018; Ganeshnauth et al., 2018). En el presente trabajo el rendimiento por hectárea de quinua cultivada bajo condiciones de malla sombra, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) siendo el tratamiento T5 (75:25) el que mejor rendimiento por hectárea registró con 3893.28 kg ha⁻¹, seguido por el tratamiento T4 (60:40) con 3040 kg ha⁻¹, y el tratamiento T2 (30:70) con 2720 kg ha⁻¹ (Figura 3). Por otro lado, los tratamientos T3 (44:55) y el T6 (Testigo) no mostraron diferencias estadísticas significativas respecto al T1 (15:85).

Por lo tanto, el vermicompost es un buen sustituto para reemplazar los fertilizantes inorgánicos.

CONCLUSIONES

El manejo de cultivos orgánicos sigue representando un desafío constante para los productores. No obstante, la adopción sostenible de alternativas seguras y eficientes, como el vermicompost, puede ofrecer una solución prometedora para asegurar la disponibilidad alimentaria a una población humana en constante aumento. Los resultados obtenidos revelan que la quinua exhibe un patrón de crecimiento diferente en respuesta a diversas proporciones de vermicompost y arena. La proporción 75% vermicompost + 25% arena, mostró el mayor rendimiento en las variables evaluadas, al sembrar cuatro plantas por unidad experimental. En este sentido, se puede concluir que usando dosis altas de vermicompost: arena se puede producir quínoa con rendimientos satisfactorios, lo que destaca su potencial como un cultivo alimentario innovador y emergente en sistemas orgánicos en la agricultura.

LITERATURA CITADA

- Ali, S., Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Iqbal, B., Rehman, M., Nawaz, M., & Amin, M. Z. (2020). Growth, biomass production, and yield potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting techniques under irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*, 14, 427-441. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00094-5>
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 143-149. <https://doi.org/10.19136/era.a3n7.963>
- Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>
- Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Álvarez-Reyna, V. P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., & Sánchez-Chávez, E. (2014). Producción orgánica y capacidad antioxidante de frutos de pepino. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario*, 110, 335-342. <https://doi.org/10.12706/itea.2014.021>

- Dostalíková, L., Hlásná Čepková, P., Janovská, D., Svoboda, P., Jágr, M., Dvořáček, V., & Viehmannová, I. (2023). Nutritional evaluation of quinoa genetic resources growing in the climatic conditions of central Europe. *Foods*, 12(7), 1440. <https://doi.org/10.3390/foods12071440>
- Galindo Pardo, F. V., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R., Segura Castruita, M. Á., & Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1219-1232. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.867>
- Ganeshnauth, V., Jaikishun, S., Ansari, A. A., & Homenauth, O. (2018). The effect of vermicompost and other fertilizers on the growth and productivity of pepper plants in Guyana. *Automation in Agriculture-Securing Food Supplies for Future Generations*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73262>
- Ghasem, S., Morteza, A. S., & Maryam, T. (2014). Effect of organic fertilizers on cucumber (*Cucumis sativus*) yield. 808-814.
- González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859>
- González-Rodríguez, G., Preciado-Rangel, P., Lizárraga-Bernal, C. G., & Espinosa-Palomeque, B. (2023). Análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el abono orgánico Bokashi: alternativa en la agricultura sostenible: Abono orgánico Bokashi: en la agricultura sostenible. *Biotecnia*, 25(2), 181-193. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1848>
- Grandview Research (2021). Protein ingredients market size, share & trends analysis report by product (plant proteins, animal/dairy proteins, microbe-based proteins, insect proteins), by application, by region, and segment forecasts, 2021–2028.
- Huamán, E. H., Pérez, H. V., López, R. S., & Rivera, L. G. B. (2017). Efecto de los abonos orgánicos y dosis de un biofertilizante en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa*), en Chachapoyas, Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(1), 63-69. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.353>
- Huamán, E. H., Pérez, H. V., López, R. S., & Rivera, L. G. B. (2017). Efecto de los abonos orgánicos y dosis de un biofertilizante en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa*), en Chachapoyas, Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(1), 63-69. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.353>
- Huang, K., Li, F., Wei, Y., Fu, X., & Chen, X. (2014). Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource technology*, 170, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.058>

- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Mahmud, M., Abdullah, R., & Yaacob, J. S. (2018). Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2) under field conditions. *Agronomy*, 8(9), 183. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090183>
- Moreno, R. A., Briceño, C. E. A., Valenzuela, N. L. M., y Hernández, H. J. A. (2019). Abonos orgánicos: una alternativa sustentable en la agricultura. In R. A. Moreno y C. J. L. Reyes (Eds.), *Tópicos selectos de sustentabilidad, un reto permanente para el nuevo milenio*.
- Pando, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2, 17-18.
- Pire, R., & Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica*. *Bioagro*, 15(1), 55-64.
- Rabadán, A., Nieto, R., & Bernabéu, R. (2021). Food innovation as a means of developing healthier and more sustainable foods. *Foods*, 10(9), 2069. <https://doi.org/10.3390/foods10092069>
- Rubinovich, L., Dagan, R., Lugasi, Y., Galili, S., & Asher, A. (2023). The potential of young vegetative quinoa (*Chenopodium quinoa*) as a new sustainable protein-rich winter leafy crop under Mediterranean climate. *Plos one*, 18(12), e0290000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290000>
- Scanlin, L., Lewis, K.A., & Dugger, P. (2024). Quinoa as a sustainable protein source: Production, nutrition, and processing. In *Sustainable protein sources* (pp. 381-398). Academic Press.
- Steiner, A.A. (1984) *The universal nutrient solution*. Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, Holanda. p. 633-649.
- Yatoo, A. M., Ali, M. N., Baba, Z. A., & Hassan, B. (2021). Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00657-w>
- Zhu, F., Hou, J., Xue, S., Wu, C., Wang, Q., & Hartley, W. (2017). Vermicompost and gypsum amendments improve aggregate formation in bauxite residue. *Land Degradation & Development*, 28(7), 2109-2120. <https://doi.org/10.1002/ldr.2737>

CAPÍTULO 10



Uso de Enmiendas Orgánicas en la Agricultura: Una Revisión Sistemática Sobre sus Efectos en el Crecimiento, Rendimiento y Calidad de los Cultivos

Use of Organic Amendments in Agriculture: A Systematic Review of Their Effects on the Growth, Yield, and Quality of Crops

Recibida em: 20/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap10

Oscar Sariñana-Aldaco¹ 

Carmen A. Ayala-Contreras¹ 

Mariana I. Garcia-Terrazas² 

Ignacio Orona-Castillo³ 

Sergio A. Ortíz-Díaz⁴ 

Pablo Preciado-Rangel^{4‡} 



¹ Programa Posdoctoral CONAHCYT, Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

² Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Universidad Juárez del Estado de Durango, Venecia, Durango,

⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón.

‡Autor para correspondencia: ppreciador@yahoo.com.mx

RESUMEN

La incorporación de materiales orgánicos en la agricultura son prácticas de manejo llevadas a cabo por los productores para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos en los sistemas productivos. Las enmiendas orgánicas (EO) se utilizan para mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, aportar nutrientes esenciales a las plantas, mejorar la calidad de los cultivos y en casos específicos mitigar el estrés. Existen diferentes EO, siendo las más utilizadas, las sustancias húmicas, abonos líquidos fermentados, compost y vermicompost, los cuales, tienen el potencial de mejorar el desarrollo de los cultivos. Existe una normativa reguladora que contempla diferentes tipos de EO, la cual, se basa en el tipo de materia prima que se utiliza para su elaboración, donde se exigen contenidos mínimos de materia orgánica (MO) total. Las EO al tener la capacidad de mejorar las características del suelo y mejorar la calidad de los productos cosechados, y que su uso se siga practicando, influirán en la disminución del uso de químicos sintéticos, favoreciendo así a una agricultura sostenible. El objetivo de este trabajo de revisión es presentar las principales aplicaciones de las EO en la agricultura y los alcances que se pueden tener el futuro.

Palabras clave: Agricultura orgánica, bioestimulantes, actividad microbiana, calidad nutracéutica.

SUMMARY

The incorporation of organic materials in agriculture are management practices carried out by producers to reduce or make more efficient the use of inorganic fertilizers in production systems. Organic amendments (OA) are used to improve the physical, chemical and biological characteristics of the soil, provide essential nutrients to plants, improve the quality of crops and in specific cases mitigate stress. There are different OAs, the most used being humic substances, fermented liquid fertilizers, compost, and vermicompost, which have the potential to improve crop development. There is a regulation that contemplates different types of OA, which is based on the type of raw material used for its production, where minimum contents of total organic matter (OM) are required. By having the capacity to improve the characteristics of the soil and improve the quality of the harvested products, EOs, and that their use continues to be practiced, will influence the decrease in the use of synthetic chemicals, thus favoring sustainable agriculture. The objective of this review work is to present the main applications of OA in agriculture and the scope that may be achieved in the future.

Index words: Organic agriculture, biostimulants, microbial activity, nutraceutical quality.

INTRODUCCIÓN

Las enmiendas orgánicas (EO) normalmente se usan en la agricultura por su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo, donde su influencia siempre ha quedado demostrada (Rojas-Espinoza et al., 2023). La alta disponibilidad de fertilizantes químicos y plaguicidas que se desencadenó por la revolución verde ocasionó que se dejaran de lado los fertilizantes orgánicos, centrándose en utilizar los químicos sintéticos, los cuales, son altamente eficaces (González-Salas et al., 2021). La pequeña cantidad de materia orgánica (MO) que se ha aportado al suelo en las últimas décadas ha ocasionado una serie de problemas que se reflejan en las bajas producciones de los cultivos (Navarro-Pedreño et al., 2021).

En la actualidad, existe un amplio interés en regresar al uso de las EO, esto por los problemas ambientales que se han provocado por el uso indiscriminado de productos químicos. Hoy en día, se encuentran disponibles una amplia gama de EO, tales como: sustancias húmicas, abonos líquidos fermentados, compost y vermicompost. Dichas enmiendas han sido estudiadas para uso en la agricultura, las cuales, ayudan a mejorar ciertos parámetros del suelo y cultivos (Abbott et al., 2018). La aplicación de EO ha demostrado tener efectos benéficos sobre la calidad y producción de cultivos (Santiago-López et al., 2016; Reyes-Pérez et al., 2017), los cuales, están relacionados con la mejora de la estructura del suelo, con la mayor capacidad de retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico (CIC), disponibilidad de nutrientes y mayor actividad microbiana (Goldan et al., 2023). Aunado a esto, algunas EO tienen la característica de actuar como bioestimulantes al ayudar a las plantas a mitigar el estrés biótico y abiótico (Abdel-Monaim et al., 2012; Rekaby et al., 2020).

Las fuentes de material para producir EO incluyen desechos compostados y no compostados de origen vegetal y animal (Adediran et al., 2003; Chen et al., 2017). También se utilizan organismos como las lombrices, para hacer más eficiente el compostaje de los desechos utilizados (Katiyar et al., 2023). Las EO de origen animal, son de las más utilizadas en la agricultura y es posible encontrarlas en diferentes formas: en estado fresco, estabilizado y compostado (Ormeño; Ovalle, 2007; Peng et al., 2015). Cuando se encuentran en estado fresco, su uso no es recomendado, dado que contiene altas concentraciones de amoníaco, el cual, por reacciones simples pasa a amonio, y altas concentraciones de este ion afectan el desarrollo de las plantas (Pinos-Rodríguez et al., 2012), aunado a esto, contienen cantidades considerables de nitrógeno orgánico que es necesario que se mineralice para ser asimilado por las plantas (Nieto-Garibay et al., 2010). Una enmienda estabilizada aporta mayor cantidad de nutrientes que la enmienda fresca, debido a su etapa avanzada de transformación (Nieto-Garibay et al., 2010). Cuando estas enmiendas de origen animal se encuentran compostadas tienen una excelente calidad, ya que, se llegó a una mineralización completa de la MO (Melo-Araújo et al., 2020), por lo cual, los nutrientes minerales están disponibles para las plantas.

El uso de EO tiene un efecto positivo sobre la salud del suelo y los cultivos, por lo tanto, el impacto sobre el ambiente es benéfico. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es presentar las diferentes aplicaciones de las EO en la agricultura, tomando en cuenta, métodos de aplicación,

condiciones ambientales, sistemas de producción y principalmente su función sobre los cultivos y suelo agrícola.

AGRICULTURA ORGÁNICA

La agricultura orgánica (AO) como practica que permite la garantía al consumidor de un producto sano va en aumento, donde su principal característica está basada en la utilización adecuada de los recursos, empleando insumos de origen natural para cubrir ciertos requerimientos nutricionales y controlar plagas y enfermedades en los cultivos (Nieto-Garibay et al., 2010). Los insumos que particularmente se utilizan en la AO son enmiendas y biofertilizantes orgánicos, dichos insumos están libres de agroquímicos (Bamdad et al., 2021). Todos estos productos se caracterizan por aportar bajas cantidades de nutrientes y les es imposible cubrir las necesidades completas de los cultivos (Timsina, 2018), por lo cual, su uso se hace más eficiente cuando se utilizan con los químicos sintéticos. El supuesto mayor valor nutricional de los productos orgánicos en comparación con los productos convencionales no ha sido bien definido en términos de procesos fisiológicos (Orsini et al., 2016).

Diferentes investigaciones argumentan que es muy común encontrar menores rendimientos en la AO, y esto, probablemente se deba a determinantes genéticas de variedades específicas utilizadas y a exposición a tensiones bióticas y abióticas, las cuales, no se pueden controlar tan fácil como en los sistemas convencionales (Orsini et al., 2016; Timsina, 2018). Como resultado de estos estreses, los cultivos acumulan metabolitos que tienen una función muy específica en el sistema de defensa de las plantas, y aunado a esto, también tienen funciones antioxidantes en la salud humana (Orsini et al., 2016). Si se pretende que la AO alcance resultados similares a los de la agricultura convencional, se necesitarían más tierras para producir la misma cantidad de alimento, lo que, resultaría en deforestaciones, por lo cual, no existirían beneficios ambientales (Seufert et al., 2012).

Lo anterior descrito nos habla del principal beneficio de la AO, que se basa comúnmente en obtener producciones relativamente bajas en comparación con la agricultura convencional, pero los productos están libres de residuos químicos y su calidad nutracéutica es mayor. Cuando se aplican las EO en conjunto con los fertilizantes sintéticos se tiende a potencializar el efecto de ambas enmiendas y se aumenta el rendimiento de los cultivos y es recomendable, ya que, se hace un uso eficiente de los recursos.

ENMIENDAS ORGÁNICAS

El uso de EO es una práctica muy común debido a las características que tienen de mejorar la productividad de los cultivos, la salud del suelo y algunas en específico en regular la expresión de genes sensibles al estrés (El-Dakak et al., 2021; Goldan et al., 2023), como se muestra en la Figura 1. Las EO más utilizadas en la agricultura son las sustancias húmicas, abonos líquidos fermentados, compost y vermicompost, las cuales, aportan valiosos nutrientes al suelo. Sin embargo, Urrea et al. (2019) mencionan que el uso de algunas EO implica un riesgo para el medio ambiente y la salud humana, ya que, algunas

enmiendas contienen contaminantes, incluidos metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y patógenos. Por lo anterior dicho, es importante considerar que EO se utilizara, y si se va a preparar, que tipo de material utilizar.

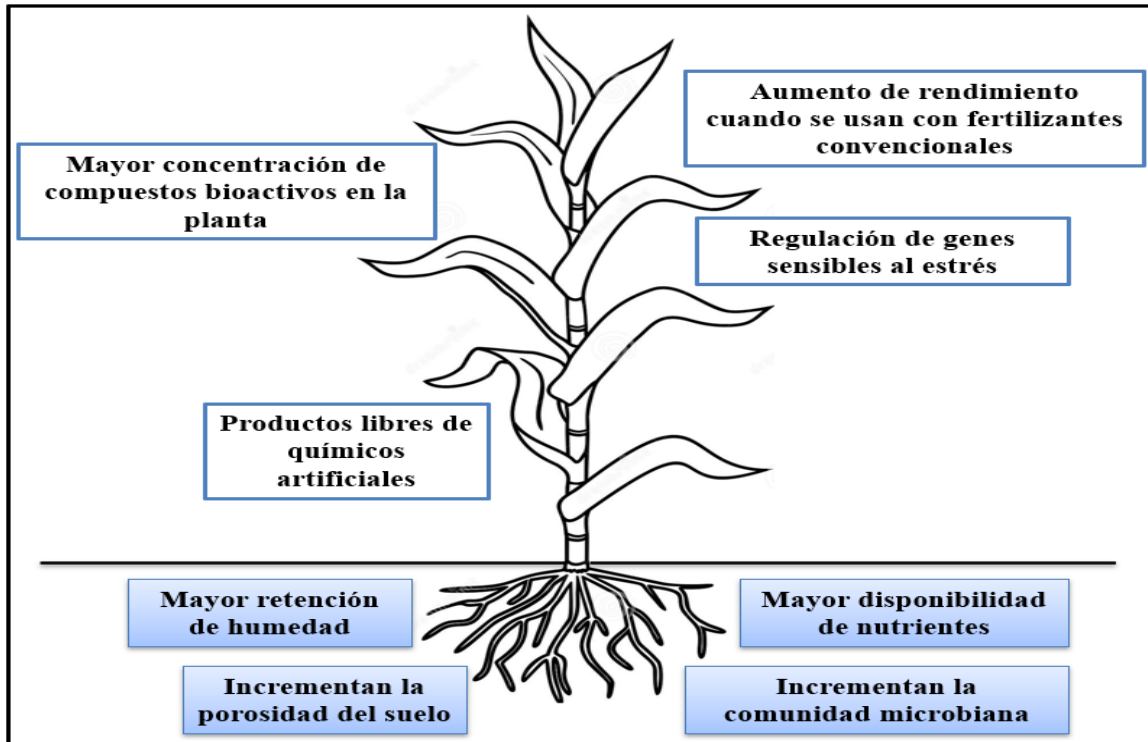


Figura 1. Efecto de las EO sobre los cultivos y suelo agrícola.

SUSTANCIAS HÚMICAS

Stankevica et al. (2019) indican que el término sustancia húmica (SH) se refiere a una categoría de las sustancias orgánicas de origen natural, dichas sustancias crean la MO más extendida que se encuentra en sedimentos, suelos y aguas. Las SH son la fracción de MO humificada de los suelos y desempeñan un papel importante en ciertas funciones del suelo y de las plantas (Pazhanisamy et al., 2019). La leonardita, un tipo de MO, es la sustancia que mayormente se utiliza para la producción de SH a nivel industrial (Conselvan et al., 2017). La actividad biológica de estas EO ha sido demostrada en los últimos años, por la mejora de las características físico-químicas del suelo y por la mejora del rendimiento y calidad de los cultivos (Roulia, 2024). Las SH en la actualidad son consideradas bioestimulantes (du Jardín, 2015). Estas sustancias comprenden tres grupos, los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, siendo los dos primeros los más utilizados en la agricultura, ya que, las huminas son insolubles.

Uso de las SH en la producción agrícola

Las SH son reconocidas por los efectos que provocan sobre el suelo, donde se sabe que el poder bioestimulante radica en la mejora de la actividad microbiana y a la estimulación del crecimiento de las raíces (Roulia, 2024). Esto se traduce en una mejora de la nutrición, por la mayor disponibilidad de

nutrientes minerales (De Pascale et al., 2017). Li et al. (2019) encontraron que con la aplicación de ácido húmico al suelo en el cultivo de cacahuete se incrementó el rendimiento y calidad, esto posiblemente por la acción del ácido húmico que mejoró la disponibilidad de N, P y K, el contenido de MO, aumentó la cantidad de hongos benéficos y las actividades enzimáticas de la ureasa, sacarasa y fosfatasa del suelo.

Otro efecto positivo que se le atribuye a las SH es el incremento de la capacidad de retención de humedad y de la CIC, no obstante, cuentan con un poder quelante, al formar complejos principalmente con micronutrientes, lo que permite que no se pierdan por la lixiviación y estén siempre disponibles para las plantas (De Pascale et al., 2017). Zanin et al. (2019) mencionan que las SH son capaces de construir depósitos principalmente de Fe, formándose un complejo SH-Fe, el cual, está directamente disponible para las plantas. También mencionan que las SH promueven mecanismos fisiológicos implicados en la adquisición de Fe actuando a nivel transcripcional y postranscripcional.

Las SH también tienen efectos benéficos sobre el estrés, como lo muestran Sánchez-Sánchez et al. (2006) quienes probaron la adición al suelo de SH para mejorar la nutrición de Fe y disminuir el efecto de la salinidad en el cultivo de vid, sus resultados muestran que con el uso de las SH se mejoró la absorción de Fe y P y se logró una disminución de los niveles de Na. Abdellatif et al. (2017) estudiaron el efecto del ácido húmico aplicado al suelo sobre el crecimiento y productividad de tomate bajo estrés por calor, sus resultados indican un aumento en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Aydin et al. (2012) investigaron el efecto de diferentes suministros de ácidos húmicos al suelo (0.05 y 0.1% p/p) en el cultivo de frijol, el cual, fue sometido a estrés con ocho fuentes de sal (NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂, CaSO₄, KCl, K₂SO₄, MgCl₂ y MgSO₄) a dosis de 0, 30, 60 y 120 mM, sus resultados indican que con las dosis más altas de sal; 120 mM de NaCl, CaCl₂, KCl y MgCl sin la aplicación de ácido húmico causó la muerte de las plantas, pero no se obtuvo la muerte cuando se aplicó el ácido en sus dos concentraciones. Las plantas también mostraron una mayor acumulación de prolina a medida que se incrementaba la sal y el ácido húmico, lo que nos indica que dicho aminoácido se acumuló para darle mayor tolerancia a las plantas ante el estrés, esto por la función de osmolito que tiene (Mansour; Ali, 2017). Este estudio demuestra la efectividad de las SH para mejorar la tolerancia de los cultivos ante el estrés.

Las SH cumplen funciones de basta importancia sobre el metabolismo y fisiología de las plantas, pero los mecanismos solo se conocen parcialmente (Roulia, 2024). Existen diferentes investigaciones que demuestran que la SH inducen en las plantas la formación de raíces, mejoran la eficiencia del uso de nutrientes, ayudando a la asimilación de macro y microelementos, lo que, incrementa el rendimiento (Nardi et al., 2017).

Dichas sustancias también tienen la característica de activar el metabolismo secundario de las plantas, incrementando de esta manera la síntesis de compuestos bioactivos (Martínez-De La Cruz et al., 2022). Como lo muestran Aminifard et al. (2012) quienes evaluaron la aplicación de ácido fúlvico sobre la calidad nutracéutica del pimiento, dicho ácido se aplicó directamente a la zona radicular de la planta en dosis crecientes (25, 100, 175 y 250 mg kg⁻¹), y sus resultados muestran que con la dosis de 25 mg kg⁻¹ se

logró un aumento en la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales, carbohidratos, capsaicina, licopeno y beta-caroteno, lo que, demuestra que el ácido fúlvico tiene un efecto elicitor que le permite elevar la síntesis de antioxidantes (Pereira et al., 2019).

Existen estudios que demuestran que las SH pueden ser absorbidas por medio de las semillas y los diferentes órganos de las plantas, lo que, favorece en la germinación y el desarrollo en general de las plantas como lo muestran Poomani et al. (2023), quienes evaluaron el cebado de semillas de lenteja bajo estrés por calor y muestran en sus resultados aumentos en el porcentaje de germinación de la semilla, vigor de la plántula, pigmentos fotosintéticos, prolina, compuestos fenólicos, azúcares y mejor actividad de enzimas como la superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa. El uso de SH aplicadas foliarmente también ha demostrado tener efectos positivos sobre el rendimiento y la mayor acumulación de compuestos bioactivos en cultivos agrícolas, como vitaminas, carotenoides, azúcares y compuestos fenólicos (Chah-Nasir et al., 2023). En la Tabla 1 se muestran otras investigaciones realizadas usando SH.

Tabla 1. Efectos de las SH sobre la producción agrícola.

Cultivo	SH	Forma de aplicación	Efecto	Referencia
<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Ácido húmico	Suelo	Mayor peso y calidad de la fruta (azúcares y ácido ascórbico) y aumento en la diversidad de comunidades microbianas benéficas en el suelo con dosis de 1,400 g planta ⁻¹ .	Ren et al. (2022)
<i>Fragaria xananassa</i>	Ácido fúlvico	Suelo	Aumento del rendimiento, firmeza y ácido ascórbico a dosis de 3 mL L ⁻¹ .	Martínez-De La Cruz et al. (2022)
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Ácido húmico	Foliar y suelo	Incremento del rendimiento y sus componentes, contenido de ácido ascórbico y azúcares en los frutos a dosis de 20 mL L ⁻¹ .	Yildirim, (2007)
<i>Zea mays</i> L.	Sustancias húmicas	Suelo	Aumento de peso seco, absorción de Mg, Mn y Cu en plantas sometidas a estrés por salinidad con todas las dosis evaluadas de SH (1 y 2 g kg ⁻¹).	Turan et al. (2011)
<i>Brassica oleracea</i> L.	Ácido húmico	Suelo	Dosis de 200 y 500 kg ha ⁻¹ aumentaron el rendimiento. En cuanto al contenido iónico de la solución del suelo y el cultivo, no se modificó.	Canales-Almendares et al. (2024)

Cultivo	SH	Forma de aplicación	Efecto	Referencia
<i>Cucumis sativus</i> L.	Ácido húmico	Foliar y suelo	Con dosis de 20 mL L ⁻¹ vía foliar se indujo una mayor concentración de compuestos antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos en los frutos en comparación con la aplicación al suelo y el control.	Karakurt et al. (2015)
<i>Lactuca sativa</i> L.	Ácido fúlvico	Foliar	Dosis de 0.5 g L ⁻¹ causaron incrementos del rendimiento, clorofilas y reducción de peroxidación lipídica en plantas estresadas con Cd. Aunado a esto, existió una reducción del contenido de Cd en el tejido vegetal y mayor absorción y translocación de Fe, Zn y Mn.	Wang et al. (2019)
<i>Allium cepa</i> L.	Ácido fúlvico	Suelo	Incremento de rendimiento, compuestos fenólicos, ácido ascórbico, proteínas y capacidad antioxidante a dosis de 3 y 6 g L ⁻¹ .	Mahmoud et al. (2019)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Sustancias húmicas	Suelo	El uso de SH a dosis de 1.25 mL maceta ⁻¹ mejoró el crecimiento de la planta, el rendimiento de los tubérculos y la acumulación de macronutrientes.	Martins et al. (2020)
<i>Capsicum annuum</i> L.	Ácido húmico	Foliar	La aplicación de la SH a 50 g L ⁻¹ mejoró la altura de la planta, diámetro del tallo, número de frutos planta ⁻¹ y el rendimiento total.	Jan et al. (2020)

*Nota. Sustancias húmicas = Ácido húmico y fúlvico.

ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS

Los abonos líquidos fermentados (ALF) hacen referencia a productos producidos a partir de residuos agropecuarios (estiércoles y desechos vegetales) e industriales, los cuales, son cada vez más populares (Phibunwatthanawong; Riddech, 2019). Estas EO se producen por fermentación anaerobia utilizando los desechos como fuente de carbono (Hernández-Chontal et al., 2019; Yong-Hong et al., 2020). En dicho proceso los microorganismos que pueden ser agregados o los presentes en los desechos,

normalmente de los estiércoles, tienen un rol importante en la degradación de los residuos utilizados (Madusari, 2019; Phibunwatthanawong; Riddech, 2019). Estas enmiendas son ricas en microorganismos benéficos, ácidos orgánicos, fitohormonas de crecimiento y nutrientes esenciales (Hernández-Chontal et al., 2019; Phibunwatthanawong; Riddech, 2019). Existen diferentes manuales y artículos que describen los procedimientos de cómo preparar y aplicar este tipo de enmiendas (Pacheco-Rodriguez; Uribe, 2006; Pomboza-Tamaquiza et al., 2016; Madusari, 2019; Phibunwatthanawong; Riddech, 2019; Ramesh et al., 2020).

Uso de los ALF en la Producción Agrícola

Los ALF que se utilizan en la AO pueden causar la mejora de las condiciones del suelo y la promoción del crecimiento de los cultivos; sin embargo, estos beneficios pueden variar según los métodos de fabricación de la enmienda (Jang; Kuk, 2020). Balraj et al. (2014) utilizaron un ALF de desechos de pescado sobre el crecimiento de berenjena, el abono se aplicó directamente al suelo, el cual, bajo el pH del mismo, mejoró la CIC, la concentración de MO y la disponibilidad de N, P y K. Estas mejoras de las condiciones del suelo causaron efectos benéficos de los rasgos de crecimiento, histológicos y mayor acumulación de fotoasimilados en los frutos de berenjena.

El uso de estas enmiendas también se traduce en mejoras de la promoción de germinación y aumento del contenido de nutrientes en los cultivos, lo que, se refleja en incrementos de producción (Moh et al., 2018; Jang; Kuk, 2020). Moh et al. (2018) encontraron que con aplicaciones de ALF de algas marinas en semillas y foliares en plantas de espinaca japonesa se incrementó el porcentaje de germinación de la semilla, absorción de nutrimentos (N, Ca, Mg y I) y la concentración de clorofilas en las plantas. Estos resultados son producto de la liberación de diferentes compuestos bioactivos que contienen las algas (vitaminas, compuestos fenólicos, carotenoides, fitohormonas y minerales), y a las condiciones de fermentación a las que fueron sometidas (Sariñana-Aldaco et al., 2022, 2021).

Otro efecto que tiene la aplicación de estas enmiendas es que son capaces de mitigar el estrés en los cultivos, como lo indican Pangnakorn et al. (2010) quienes evaluaron el efecto de la aplicación de un ALF de desechos vegetales y vinagre de madera, dichas aplicaciones se realizaron foliarmente en el cultivo de soja, y sus resultados mostraron que el uso de la enmienda mejoró el rendimiento y disminuyó la incidencia de insectos plaga en el cultivo. Estos resultados son producto de los compuestos de interés presentes en los desechos vegetales y por la acción de repelente que ejerce el vinagre sobre las plagas (Rahmat et al., 2014; Hernández-Chontal et al., 2019; Phibunwatthanawong; Riddech, 2019).

Como se mencionó con anterioridad los ALF son preparados con diferentes materiales, como lo indican Kwon et al. (2010) quienes evaluaron un ALF de estiércol porcino sobre el desarrollo y rendimiento de arroz. Sus resultados muestran que con la aplicación de la enmienda se incrementó la altura y rendimiento del cultivo, en comparación con el tratamiento control. De igual manera Mamani-Reynoso (2020) investigó la respuesta de la aplicación de un ALF elaborado a partir de estiércol bovino

sobre el rendimiento de ecotipos de cañahua, y sus resultados reflejaron un efecto favorable sobre el rendimiento y sus componentes. Cano-Hernández et al. (2016) caracterizaron dos ALF de excretas bovinas y porcinas, sus resultados muestran que ambas enmiendas contienen concentraciones considerables de nutrientes esenciales, lo que, permite su utilización en cultivos agrícolas.

El uso de ALF resulta ser una alternativa para minimizar el uso de agroquímicos y mejorar las condiciones del suelo y la productividad de los cultivos, sin embargo, es necesario estandarizar un método que permita producir este tipo de enmiendas con mayores cualidades (Jang; Kuk, 2020), ya que, es posible encontrar resultados tanto positivos como negativos, como lo indican Phibunwatthanawong y Riddech (2019) quienes evaluaron el efecto de diferentes fórmulas de ALF en lechuga a partir de desperdicios de destilería y hojas de caña de azúcar, donde sus resultados mostraron que algunas fórmulas ocasionaron respuestas positivas y negativas en variables de crecimiento y pigmentos fotosintéticos. En la Tabla 2 se muestran otras investigaciones realizadas usando ALF.

Tabla 2. Efectos de los abonos líquidos fermentados sobre la producción agrícola.

Cultivo	Forma de aplicación	Efecto	Referencia
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Foliar	El uso del ALF de alfalfa aumentó la concentración de pigmentos, la longitud y biomasa del tallo y raíz y el área foliar a dosis de 0.5, 1 y 2.5%.	Kisvarga et al. (2020)
<i>Lactuca sativa</i> L.	Semilla	El uso de ALF a base de estiércol ovino a dosis altas de 10 y 100% inhibieron la germinación de las semillas y dosis bajas de 0.01 y 0.1% mejoraron el porcentaje.	Medina et al. (2015)
<i>Capsicum annuum</i> L.	Fuente de nutrientes	La sustitución de la solución nutritiva por orina humana fermentada a conductividad eléctrica de 1 dS m ⁻¹ incrementó variables de crecimiento y concentración de N en las plántulas.	Preciado-Rangel et al. (2015)
<i>Lactuca sativa</i> L.	Foliar	El uso de ALF a base de estiércol bovino a dosis de 6% contribuyó al mayor diámetro del cogollo, mayor peso del cogollo y rendimiento del cultivo.	Pomboza-Tamaquiza et al. (2016)
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Foliar	El ALF de origen bovino al 50% incrementó la altura, el rendimiento y el contenido de proteína cruda.	Tambo-Laime et al. (2016)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Suelo	La aplicación de ALF a base de orina (3 L m ⁻²) humana aumentó el porcentaje de germinación de la	Condori-Guarachi et al. (2018)

semilla, altura de la planta y el rendimiento del cultivo.

<i>Lactuca sativa</i> L.	Suelo	Incremento de crecimiento, rendimiento y concentración de clorofilas y carotenoides a dosis de 10%.	Cotrina-Cabello et al. (2020)
--------------------------	-------	---	-------------------------------

COMPOST

El compost o compostaje hace referencia al proceso de biodegradación de residuos orgánicos por medio de organismos del suelo en condiciones aeróbicas (Pérez-San Martín *et al.*, 2023). Consiste simplemente en la transformación de los residuos en productos ricos en nutrientes minerales y fitohormonas (Goldan et al., 2023). El compost como MO estabilizada es utilizado para la recuperación de suelos degradados, mejorando su fertilidad y aumentando así el desarrollo y calidad de los cultivos (Adugna, 2016; Pergola et al., 2018).

El uso de estas enmiendas puede causar diferentes respuestas en los cultivos, lo cual, depende del material con que se produzca. Otro beneficio que trae el uso de estas enmiendas es la reducción del uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas), lo que resulta en la disminución de costos de producción y el impacto ambiental es nulo (Pergola et al., 2018). Normalmente se utilizan estiércoles (bovinos, caprinos, porcinos y equinos) y residuos de vegetales para ser compostados. Existen diferentes tecnologías de compostaje, algunas de ellas son descritas por Pergola et al. (2018).

Uso del Compost en la Producción Agrícola

El uso de estas enmiendas en la agricultura es muy conocido por la acción que ejerce sobre las características del suelo y la mejora de parámetros de crecimiento y calidad de los cultivos. Estas enmiendas aumentan el porcentaje de MO y la disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo, como lo indican Sarwar et al. (2008) quienes evaluaron la aplicación de compost sobre el suelo y la producción del cultivo de arroz bajo condiciones salinas. Sus resultados muestran un aumento del rendimiento y una mayor disponibilidad de N, P, K, Ca y Mg, aunado al aumento de MO del suelo. El uso de compost también mejora la actividad microbiana del suelo, como lo muestran Lu et al. (2015) quienes aplicaron una enmienda compostada al suelo en condiciones salinas. Sus resultados indicaron que la enmienda aumentó la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas de la ureasa, fosfatasa e invertasa aumentaron significativamente.

El uso de estas enmiendas también propicia mejoras de las características físico-químicas del suelo. Angelova et al. (2013) investigaron la influencia de compost (10 g kg⁻¹) sobre características químicas de un suelo contaminado con metales pesados. Sus resultados mostraron que los tratamientos tuvieron un efecto significativo en conductividad eléctrica (CE), pH, MO, N, P, K y Mg. En cuanto a los

metales pesados presentes en el suelo, se observó una inmovilización, probablemente causada por las sustancias húmicas presentes en el compost (Burlakovs et al., 2013). Esto indica que dichas enmiendas son aptas para controlar la disponibilidad ambiental de metales pesados en el suelo.

Boutasknit et al. (2020) evaluaron el efecto de compost de origen equino sobre la fertilidad del suelo y productividad del cultivo de ajo, mostrando un aumento de N, P y carbono orgánico total en el suelo. En el cultivo se observó un aumento de biomasa, rendimiento y minerales en los bulbos.

Dentro de los beneficios más promisorios del uso de compost radica uno en especial, que es el que se presenta normalmente en producciones orgánicas, este beneficio es el aumento de la calidad nutracéutica de los productos. Cuando se producen cultivos bajo un régimen meramente dicho de AO los rendimientos son inferiores a los obtenidos en la agricultura convencional, ya que, es complicado aportar las cantidades necesarias que las plantas necesitan para desarrollarse, aunado a esto, es difícil controlar plagas y enfermedades (Orsini et al., 2016; Timsina, 2018). A causa de esto, las plantas se estresan y producen diferentes compuestos bioactivos con poder reductor que les ayudan a reforzar su sistema defensa (Orsini et al., 2016). Como lo mencionan Salas-Pérez et al. (2016) que investigaron el efecto de compost de ganado bovino en diferentes porcentajes sobre el rendimiento y calidad nutracéutica del cultivo de tomate. Sus resultados son consistentes con lo mencionado anteriormente, ya que, los rendimientos fueron inferiores en comparación con el control (solución nutritiva Steiner), en cambio los azúcares, licopeno y la actividad antioxidante fueron en aumento con el uso de las enmiendas.

El uso de estas enmiendas resulta más factible en combinación con enmiendas minerales, ya que, los beneficios son más promisorios, como lo indican Zaragoza-Lira et al. (2011) al evaluar la aplicación de composta a dosis crecientes y una fertilización mineral estándar sobre el nogal pecanero, mostrando incrementos en el rendimiento y calidad de la nuez.

El uso del compost como lo muestran la mayoría de los investigadores confirma que las características físicas, químicas y biológicas del suelo se mejoran de manera satisfactoria. Todos los experimentos realizados con este tipo de enmiendas demuestran las ventajas y desventajas que se pueden obtener, lo cual, depende de varios factores que van desde el tipo de cultivo, condiciones ambientales, sistema de producción y sobre todo el tipo de material con el que se produzca la enmienda. En la Tabla 3 se muestran otras investigaciones realizadas usando compost.

Tabla 3. Efectos del compost sobre la producción agrícola.

Cultivo	Tipo de compost	Efecto	Referencia
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Compost de residuos vegetales	Disminución del rendimiento y aumento de fenoles totales, flavonoides y licopeno del fruto a dosis de 10 t ha ⁻¹ .	Cozzolino et al. (2023)
	Compost de residuos de castaña	Reducción de pigmentos fotosintéticos y aumento de la actividad de la catalasa, ascorbato	Parillo et al. (2017)

Cultivo	Tipo de compost	Efecto	Referencia
<i>Solanum lycopersicum</i> L.		peroxidasa y ascorbato oxidasa con compost al 100%.	
<i>Lactuca sativa</i> L.	Compost de estiércol bovino y residuos de cebolla	Incremento significativo del peso fresco del cultivo a dosis de 6 y 8 kg m ⁻² .	Pellejero et al. (2017)
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Compost comercial	Aumento de fenoles totales y licopeno en los frutos. En cuanto al rendimiento no se modificó, esto con dosis del 20%.	Fortis-Hernández et al. (2018)
<i>Brassica rapa</i> ssp. <i>chinesis</i>	Compost de residuos de café, aronia y lúpulo	El uso de la enmienda al 5 y 10% aumentó la concentración de carotenoides, pero disminuyó la cantidad de glucosinolatos y fenoles totales.	Neugart et al. (2018)
<i>Cucumis sativus</i> L.	Compost de residuos de uva	Aumento del porcentaje de germinación de la semilla y parámetros de crecimiento de las plántulas a dosis del 50%.	Bayoumi et al. (2019)
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Compost comercial	El uso de la enmienda al 50% en combinación con NPK incrementó los azúcares, fenoles totales, flavonoides y la capacidad antioxidante.	Sarwar et al. (2020)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Compost de desechos urbanos	La incorporación de las enmiendas a 23 t ha ⁻¹ disminuyó la producción del cultivo y aumentó el contenido de macro y micronutrientes y metales pesados en el suelo.	Escobedo-Monge et al. (2020)

VERMICOMPOST

El vermicompost o lombricompost hace referencia al mismo proceso del compostaje, que permite biodegradar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene un producto final estabilizado (Villegas-Cornelio; Laines Canepa, 2016; Canales-Almendares et al., 2024). En el proceso se aprovechan las capacidades detritívoras de las lombrices, la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presentes en su intestino (Villegas-Cornelio; Laines Canepa, 2016). Esta tecnología tiene ciertas ventajas sobre el compost, ya que, es más eficaz para reducir el tiempo de descomposición de los residuos

utilizados y así obtener un producto de buena calidad en término de nutrientes a corto plazo (Lim et al., 2015). El vermicompost sirve como un componente importante en el sistema de nutrición de las plantas y de la mejora de las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Rojo-Zavala et al., 2023). Aunado a esto, diversos investigadores demuestran que el perfil de nutrientes del vermicompost es superior al del compostaje tradicional (Lim et al., 2015).

Esta enmienda generalmente se procesa a través de la digestión de residuos por medio de lombrices, donde normalmente se utiliza la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*, la cual, es considerada la lombriz más eficiente en la degradación de los residuos de acuerdo con diferentes investigaciones (Cervantes-Vázquez et al., 2022). Los efectos benéficos de esta enmienda sobre el rendimiento y calidad de los cultivos son bien conocidos.

Uso de Vermicompost en la Producción Agrícola

Lim et al. (2015) mencionan que el vermicompost a dosis adecuadas mejora la aireación, porosidad, densidad aparente, la retención de agua y la MO, lo que puede causar beneficios sobre el rendimiento de los cultivos. Aunado a esto, también indican que altas dosis afectan el desarrollo de los cultivos, esto por las concentraciones considerables de sales solubles que contiene la enmienda. Demir (2020) examinaron la influencia del vermicompost como acondicionador de suelo para aliviar los efectos adversos del Na, sus resultados muestran que la enmienda a dosis de 5% ocasionó efectos positivos sobre la MO, CIC y la disponibilidad de P, N y K.

El uso de vermicompost al igual que la composta convencional ha mostrado efectos satisfactorios sobre el rendimiento, esto cuando se utiliza en combinación con fertilizantes sintéticos, ya que, no es posible suplementar todos los requerimientos con solo la EO. Mondal et al. (2017) indican que el uso de vermicompost en combinación con fertilización química al 25% en mostaza incrementó el rendimiento y sus componentes, clorofilas, azúcares y prolina. De la misma manera Rodríguez-Dimas et al. (2008) evaluaron dos híbridos de cultivo de tomate bajo diferentes combinaciones de vermicompost, compost y arena de río, más el control con solución nutritiva Steiner, sus resultados muestran que, en el rendimiento, el control superó significativamente a las enmiendas utilizadas.

En cuanto a la calidad nutracéutica es muy común que se incremente con el uso de estas enmiendas, como lo mencionan Sánchez-Hernández et al. (2016) quienes evaluaron el uso de vermicompost en combinación con arena de río, y sus resultados muestran que la combinación de 60% de vermicompost y 40% de arena mejoró la concentración de fenoles totales y la actividad antioxidante en frutos de melón, en comparación con el resto de los tratamientos.

Los beneficios de esta enmienda comparada con el compost convencional de acuerdo con la mayoría de los investigadores son muy similares, ya que, es poco probable que solo usando las enmiendas sin ningún fertilizante sintético se obtengan rendimientos superiores a los de la agricultura convencional.

Por lo cual, es recomendable usar el vermicompost en combinación con fertilizantes sintéticos. En la Tabla 4 se muestran otras investigaciones realizadas usando vermicompost.

Tabla 4. Efectos del vermicompost sobre la producción agrícola.

Cultivo	Tipo de vermicompost	Efecto	Referencia
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Vermicompost de residuos de tomate	El vermicompost mejoró el enraizamiento de los esquejes a dosis de 25, 50, 75 y 100%.	Mendoza-Hernández et al. (2014)
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	Disminución del rendimiento y aumento de licopeno y capacidad antioxidante a dosis de 15 y 20%.	Salas-Pérez et al. (2017)
<i>Cicer arietinum</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	La enmienda al 30% aumentó los pigmentos fotosintéticos, conductancia estomática, tasa de asimilación de CO ₂ , concentración de Ca, K, prolina y proteínas en condiciones de déficit hídrico. La actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa disminuyeron.	Hosseinzadeh et al. (2018)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	Aumento del diámetro del tubérculo y peso de estos a dosis de 10, 15, 20 y 25 t ha ⁻¹ .	Fahrurrozi et al. (2019)
<i>Olea europaea</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	El uso de la enmienda (5, 10, 20 y 40%) con fertilizantes sintéticos aumentó la actividad de las enzimas deshidrogenasa y fosfatasa alcalina y la actividad microbiana del suelo.	Göçmez et al. (2019)
<i>Oryza sativa</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	El uso de la enmienda en combinación con fertilizantes convencionales incrementó la productividad del cultivo.	Rahman y Barmon (2019)
<i>Cucumis melo</i> L.	Lixiviado de vermicompost de estiércol bovino	Menor rendimiento y mayor concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en los frutos con el lixiviado a conductividad eléctrica de 2 dS m ⁻¹ .	García-Villela et al. (2020)

Cultivo	Tipo de vermicompost	Efecto	Referencia
<i>Capsicum annuum</i> L.	Vermicompost de estiércol bovino	Aumento de peso y longitud de fruto, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a dosis del 50%.	Espinosa-Palomeque et al. (2020)
<i>Mentha spicata</i> L.	Vermicompost	Aumento del peso fresco y seco de hoja y raíz a dosis de 4.5 Mg ha ⁻¹ .	Rojo-Zavala et al. (2023)

CONCLUSIONES

Las enmiendas orgánicas son una alternativa viable en la agricultura, por aumentar la materia orgánica del suelo y mejorar su fertilidad; sin embargo, al ser usadas por si solas tienen la característica de reducir el rendimiento en comparación al uso de fertilizantes sintéticos, pero aumentan la calidad nutracéutica. El uso de sustancias húmicas y abonos líquidos fermentados es muy común que se realice como bioestimulantes acompañados de nutrición química por las características que tienen. El uso de compost y vermicompost se realiza con y sin combinación de nutrición química, siendo más eficiente la combinación, ya que, se potencializa la efectividad de las enmiendas y los rendimientos se incrementan sustancialmente, aunado a esto se hace un uso eficiente de los recursos sin comprometer al medio ambiente.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L. K., Macdonald, L. M., Wong, M. T. F., Webb, M. J., Jenkins, S. N., & Farrell, M. (2018). Potential roles of biological amendments for profitable grain production -A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 256, 34–50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.021>
- Abdel-Monaim, M. F., Abdel-Gaid, M. A., & El-Morsy, M. E. M. A. (2012). Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling *Fusarium* wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *J. Plant Pathol.* 01, 39-48.
- Abdellatif, I. M. Y., Abdel-Ati, Y. Y., Abdel-Mageed, Y. T., & Hassan, M. A. M. M. (2017). Effect of Humic Acid on Growth and Productivity of Tomato Plants Under Heat Stress. *J. Hortic. Res.* 25, 59-66. <https://doi.org/10.1515/johr-2017-0022>
- Adediran, J. A., Taiwo, L. B., & Sobulo, R. A. (2003). Effect of Organic Wastes and Method of Composting on Compost Maturity, Nutrient Composition of Compost and Yields of Two Vegetable Crops. *J. Sustain. Agric.* 22, 95–109. https://doi.org/10.1300/J064v22n04_07
- Adugna, G. (2016). A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Acad. Res. J. Agric. Sci. Res.* 4, 93–104. <https://doi.org/10.14662/ARJASR2016.010>

- Aminifard, M. H., Aroice, H., Nemati, H., Azizi, M., & Jaafar, H. Z. E. (2012). Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African J. Biotechnol.* 11, 13179–13185. <https://doi.org/10.5897/ajb12.1507>
- Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S., & Ivanov, K. I. (2013). The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulg. J. Agric. Sci.* 19, 958–971.
- Aydin, A., Kant, C., & Turan, M. (2012). Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African J. Agric. Reseach* 7, 1073–1086. <https://doi.org/10.5897/ajar10.274>
- Balraj, T. H., Palani, S., & Arumugam, G. (2014). Influence of Gunapaselam, a liquid fermented fish waste on the growth characteristics of *Solanum melongena*. *J. Chem. Pharm. Res.* 6, 58–66.
- Bamdad, H., Papari, S., Lazarovits, G., & Berruti, F. (2021). Soil amendments for sustainable agriculture: Microbial organic fertilizers. *Soil Use Manag.* 00, 1–27. <https://doi.org/10.1111/sum.12762>
- Bayoumi, Y. A., El-Henawy, A. S., Abdelaal, K. A. A., & Elhawat, N. (2019). Grape Fruit Waste Compost as a Nursery Substrate Ingredient for High-Quality Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings Production. *Compost Sci. Util.* 27, 205–216. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2019.1682086>
- Boutasknit, A., Anli, M., Tahiri, A., Raklami, A., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Ait-Rahou, Y., Boutaj, H., Oufdou, K., Wahbi, S., El-Modafar, C., & Meddich, A. (2020). Potential Effect of Horse Manure-green Waste and Olive Pomace-green Waste Composts on Physiology and Yield of Garlic (*Allium sativum* L.) and Soil Fertility. *Gesunde Pflanz.* 72, 285–295. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00511-9>
- Burlakovs, J., Kļaviņš, M., Osinska, L., & Purmalis, O. (2013). The Impact of Humic Substances as Remediation Agents to the Speciation Forms of Metals in Soil. *APCBEE Procedia* 5, 192-196. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.034>
- Canales-Almendares, J. E., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Juárez-Maldonado, A., & Francisco-Francisco, N. (2024). Impact of Humic Acids and Chitosan on the Ionic Composition of the Soil Solution and the Nutritional Content of Cabbage (*Brassica oleracea* L.) Under Greenhouse. *Terra Latinoam.* 42, e1785. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1785>
- Cano-Hernández, M., Bennet-Eaton, A., Silva-Guerrero, E., Robles-González, S., Sainos-Aguirre, U., & Castorena-García, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia* 50, 471–479.
- Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Valenzuela-García, A. A., García-Hernández, J. L., & Cervantes-Vázquez, M. G. (2022). Efectos en el suelo por la aplicación de estiércol bovino y vermicompost, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*). *Terra Latinoam.* 40, e835. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.835>
- Chah-Nasir, A. S., Jahromi, A. A., Behrooznam, B., Khankahdani, H. H., & Ejraei, A. (2023). Effect of Humic Acid and Amino Acid Foliar Applications on the Growth Characteristics, Yield, and Fruit

- Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Int. J. Hortic. Sci. Technol. 10, 309–318. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2022.325793.477>
- Chen, X., Mao, A., Zhang, Y., Zhang, L., Chang, J., Gao, H., & Thompson, M. L. (2017). Carbon and nitrogen forms in soil organic matter influenced by incorporated wheat and corn residues. Soil Sci. Plant Nutr. 63, 377–387. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1359797>
- Condori-Guarachi, D., Condori-Mamani, P., & Quispe-Condori, E. (2018). Efecto de aplicación de abono orgánico y fertilizante liquido orina humana fermentada sobre la fertilidad del suelo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de El Alto. J. Selva Andin. Biosph. 6, 3–10. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2018.060100003>
- Conselvan, G. B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Di-Foggia, M., Nardi, S., & Carletti, P. (2017). Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites. Plant Soil 420, 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z>
- Cotrina-Cabello, G. G., Masgo-Sanchez, L. N., Tumbay-Ambrocio, Y. Y., Alejos-Patiño, I. W., Córdova-Mendoza, P., & Patiño-Rivera, A. R. (2020). Efectos del biol y súper biol en la producción agroecológica de la lechuga (*Lactuca sativa*) variedad seda en el centro poblado de Chinchopampa – Chaglla – Pachitea – Huánuco. J. Acad. 3, 17–31. <https://doi.org/10.47058/joa3.2>
- Cozzolino, E., Salluzzo, A., del Piano, L., Tallarita, A. V., Cenvinzo, V., Cuciniello, A., Cerbone, A., Lombardi, P., & Caruso, G. (2023). Effects of the Application of a Plant-Based Compost on Yield and Quality of Industrial Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Grown in Different Soils. Appl. Sci. 13, 8401. <https://doi.org/10.3390/app13148401>
- De Pascale, S., Rouphael, Y., & Colla, G. (2017). Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. Eur. J. Hortic. Sci. 82, 277–285. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2>
- Demir, Z. (2020). Alleviation of Adverse Effects of Sodium on Soil Physicochemical Properties by Application of Vermicompost. Compost Sci. Util. 28, 100–116. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1789011>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Sci. Hortic. 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- El-Dakak, R., El-Aggan, W., Badr, G., Helaly, A., & Tammam, A. (2021). Positive Salt Tolerance Modulation via Vermicompost Regulation of *SOS1* Gene Expression and Antioxidant Homeostasis in *Vicia faba* Plant. Plants 10, 2477. <https://doi.org/10.3390/plants10112477>
- Escobedo-Monge, M. A., Aparicio, S., Escobedo-Monge, M. F., & Marugán-Miguelsanz, J. M. (2020). Long-term effects of the application of urban waste compost and other organic amendments on *Solanum tuberosum* L. Agronomy 10, 1575. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101575>
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., González-Rodríguez, G., Reyes-González, A., Ayala-Garay, A.V., & Preciado-Rangel, P. (2020). Vermicompost on the production and

- nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoam.* 38, 795–803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>
- Fahrurrozi, F., Sari, D. N., Togatorop, E. R., Salamah, U., Muktamar, Z., Setyowati, N., Chozin, M., & Sudjatmiko, S. (2019). Yield performances of potato (*Solanum tuberosum* L.) as amended with liquid organic fertilizer and vermicompost. *Int. J. Agric. Technol.* 15, 869–878.
- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Segura-Castruita, M. A., Mendoza-Tacuba, L., Gallegos-Robles, M. A., García-Hernández, J. L., & Vásquez-Vásquez, C. (2018). Changes in nutraceutical quality of tomato under different organic substrates. *Hortic. Bras.* 36, 189–194. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620180207>
- García-Villela, K. M., Preciado-Rangel, P., Sifuentes-Ibarra, E., Salas-Pérez, L., Núñez-Ramírez, F., & González-Fuentes, J. A. (2020). Ecological nutrient solutions on yield and quality of melon fruits. *Terra Latinoam.* 38, 39–44. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.527/709>
- Göçmez, S., Bellitürk, K., Görres, J. H., Turan, H. S., Üstündağ, Ö., Solmaz, Y., & Adiloğlu, A. (2019). The Effects of the Use of Vermicompost in Olive Tree Farming On Microbiological and Biochemical Characteristics of the Production Material. *Erwerbs-Obstbau* 61, 337–344. <https://doi.org/10.1007/s10341-019-00437-1>
- Goldan, E., Nedeff, V., Barsan, N., Culea, M., Panainte-Lehadus, M., Mosnegutu, E., Tomozei, C., Chitimus, D., & Irimia, O., (2023). Assessment of Manure Compost Used as Soil Amendment-A Review. *Processes* 11, 1167. <https://doi.org/10.3390/pr11041167>
- González-Salas, U., Gallegos-Robles, M. Á., Preciado-Rangel, P., García-Carrillo, M., Rodríguez-Hernández, M. G., García-Hernández, J. L., & Guzmán-Silos, T. L. (2021). Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *Terra Latinoam.* 39, e904. <https://doi.org/10.28940/terra.V39I0.904>
- Hernández-Chontal, M. A., López-Collado, C. J., Rodríguez-Orozco, N., Velasco-Velasco, J., Linares-Gabriel, A., & López-Romero, G. (2019). Nutrient content of fermented fertilizers and its efficacy in combination with hydrogel in *Zea mays* L. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 8, 309–315. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0248-8>
- Hernández-Sánchez, D. J., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J. R., Rodríguez-Ortiz, J. C., de la Cruz-Lazaro, E., Sánchez-Chávez, E., & Preciado-Rangel, P. (2016). Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutrecéutica. *Interciencia* 41, 213–217.
- Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2018). Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. *J. Integr. Agric.* 17, 2426–2437. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61874-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61874-4)

- Jan, J. A., Nabi, G., Khan, M., Ahmad, S., Shah, P. S., Hussain, S., & Sehrish (2020). Foliar Application of Humic Acid Improves Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annum* L.) Varieties. Pakistan J. Agric. Res. 33, 461–472. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.461.472>
- Jang, S. J., & Kuk, Y. I. (2020). Evaluation on the performance of red pepper (*Capsicum annuum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) under various fermented liquid fertilizers. Res. Crop. 21, 306–314. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.053>
- Karakurt, Y., Ozdamar-Unlu, H., Unlu, H., & Tonguc, M. (2015). Antioxidant compounds and activity in cucumber fruit in response to foliar and soil humic acid application. Eur. J. Hortic. Sci. 80, 76–80. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.2.5>
- Katiyar, R. B., Sundaramurthy, S., Sharma, A. K., Arisutha, S., Pratap-Singh, A., Mishra, S., Ayub, R., Jeon, B. H., & Khan, M. A. (2023). Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture. Sustainability 15, 14701. <https://doi.org/10.3390/su152014701>
- Kisvarga, S., Barna, D., Kovács, S., Csátori, G., Tóth, I. O., Fári, M. G., Makleit, P., Veres, S., Alshaal, T., & Bákonny, N. (2020). Fermented alfalfa brown juice significantly stimulates the growth and development of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. Agronomy 10, 657. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050657>
- Kwon, Y. R., Kim, J., Ahn, B. K., & Lee, S. B. (2010). Effect of Liquid Pig Manure and Synthetic Fertilizer on Rice Growth, Yield, and Quality. Korean J. Environ. Agric. 29, 54–60.
- Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., Zheng, F., & Tan, D. (2019). Humic Acid Fertilizer Improved Soil Properties and Soil Microbial Diversity of Continuous Cropping Peanut: A Three-Year Experiment. Sci. Rep. 9, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48620-4>
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: Overview, effects on soil and economics. J. Sci. Food Agric. 95, 1143–1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Lu, H., Lashari, M. S., Liu, X., Ji, H., Li, L., Zheng, J., Kibue, G. W., Joseph, S., & Pan, G. (2015). Changes in soil microbial community structure and enzyme activity with amendment of biochar-manure compost and pyroligneous solution in a saline soil from Central China. Eur. J. Soil Biol. 70, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.07.005>
- Madusari, S. (2019). Processing of Fibre and Its Application as Liquid Organic fertilizer in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedling for Sustainable Agriculture. J. Appl. Sci. Adv. Technol. 1, 81–90. <https://doi.org/10.24853/JASAT.1.3.81-90>
- Mahmoud, S. H., El-Tanahy, A. M. M., Marzouk, N. M., & Abou-Hussein, S. D. (2019). Effect of fulvic acid and effective microorganisms (EM) on the vegetative growth and productivity of onion plants. Curr. Sci. Int. 08, 368–377.

- Mamani-Reynoso, F. (2020). Production of grain from local Cañahua ecotypes (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) with application of bovine manure biol at the Choquenaira Experimental Station. J. Agric. Res. Innov. Nat. Resour. 7, 30–39.
- Mansour, M. M. F., & Ali, E. F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. Phytochemistry 140, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.016>
- Martínez-De La Cruz, S., González-Fuentes, J. A., Robledo-Olivo, A., Mendoza-Villarreal, R., Hernández-Pérez, A., Dávila-Medina, M. D., & Alvarado-Camarillo, D. (2022). Humic substances and rhizobacteria enhance the yield, physiology and quality of strawberries. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca 50, 12578. <https://doi.org/10.15835/nbha50112578>
- Martins, J. D. L., Soratto, R. P., & Fernandes, A. M. (2020). The Effect of Humic Substances and Phosphate Fertilizer on Growth and Nutrient Uptake of the Potato. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 51, 1525–1544. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1781154>
- Medina, A., Quipuzco, L., & Juscamaíta, J. (2015). Evaluación de la Calidad de Biol de Segunda Generación de Estiércol de Ovino Producido a Través de Biodigestores. An. Científicos 76, 116–124. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.772>
- Melo-Araújo, M. D., Monteiro-Feitosa, M., Alves-Primo, A.C., Kenji -Taniguchi, C. A., & Antunes-De Souza, H. (2020). Mineralization of nitrogen and carbon from organic compost from animal production waste. Rev. Caatinga 33, 310–320. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n204rc>
- Mendoza-Hernández, D., Fornes, F., & Belda, R. M. (2014). Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary. Sci. Hortic. 178, 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.024>
- Moh, S. M., Moe, K., Obo, Y., Obo, S., Htwe, A.Z., & Yamakawa, T. (2018). Effects of Fermented Nori (*Pyropia yezoensis*) Liquid Fertilizer on Plant Growth Characteristics and Nutrient Content of Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. Wakana Komatsuna) Cultivated in Vermiculite. Am. J. Plant Sci. 09, 1601–1617. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.98116>
- Mondal, T., Datta, J.K., & Mondal, N. K. (2017). Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 16, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>
- Nardi, S., Ertani, A., & Francioso, O. (2017). Soil–root cross-talking: The role of humic substances. J. Plant Nutr. Soil Sci. 180, 5–13. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600348>
- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M. B., & Zorpas, A. A. (2021). The Increase of Soil Organic Matter Reduces Global Warming, Myth or Reality? Sci 3, 18. <https://doi.org/10.3390/sci3010018>
- Neugart, S., Wiesner-Reinhold, M., Frede, K., Jander, E., Homann, T., Rawel, H. M., Schreiner, M., & Baldermann, S. (2018). Effect of solid biological waste compost on the metabolite profile of *Brassica rapa* ssp. *chinensis*. Front. Plant Sci. 9, 305. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00305>

- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Beltrán-Morales, A., Ruíz-Espinoza, F. H., & García-Hernández, J. L. (2010). Aprovechamiento de Residuos Orgánicos de Origen Animal, Vegetal y Doméstico para la Elaboración y Uso de Composta en la Agricultura Orgánica. In *Agricultura Orgánica, Tercera Parte, Primera. ed*, AD-minister. Dgo, México, 2010; pp. 69-82.
- Ormeño, M. A., & Ovalle, A. (2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. *INIA Divulg.* 10, 29–34.
- Orsini, F., Maggio, A., Rouphael, Y., & De Pascale, S. (2016). Physiological quality of organically grown vegetables. *Sci. Hort.* 208, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.033>
- Pacheco-Rodríguez, F., & Uribe, L. (2006). Lactofermentos: Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. *Cent. Nac. Espec. en Agric. Org.* 1, 1–18.
- Pangnakorn, U., Watanasorn, S., Kuntha, C., & Chuenchooklin, S. (2010). Effects of wood vinegar and fermented liquid organic fertilizer on soybean (Srisamrong 1) cultivated under drought conditions. *J. Int. Soc. Southeast Asian Agric. Sci.* 16, 67–73.
- Parillo, R., Ventrino, V., Pepe, O., Cornejo-Rivas, P., & Testa, A. (2017). Use of Compost from Chestnut Lignocellulosic Residues as Substrate for Tomato Growth. *Waste and Biomass Valorization* 8, 2711–2720. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9761-4>
- Pazhanisamy, S., Reddy, S. L., & Devi, R. C., (2019). Effect of humic substance in soil and plant system: A review. *Int. J. Chem. Stud.* 7, 1330–1334.
- Pellejero, G., Miglierina, A., Aschkar, G., Turcato, M., & Jiménez-Ballesta, R. (2017). Effects of the onion residue compost as an organic fertilizer in a vegetable culture in the Lower Valley of the Rio Negro. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 6, 159–166. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0164-8>
- Peng, S., Wang, Y., Zhou, B., & Lin, X. (2015). Long-term application of fresh and composted manure increase tetracycline resistance in the arable soil of eastern China. *Sci. Total Environ.* 506, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.010>
- Pereira, M. M. A., Morais, L. C., Marques, E. A., Martins, A. D., Cavalcanti, V. P., Rodrigues, F. A., Gonçalves, W. M., Blank, A. F., Pasqual, M., & Dória, J. (2019). Humic Substances and Efficient Microorganisms: Elicitation of Medicinal Plants—A Review. *J. Agric. Sci.* 11, 268–280. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p268>
- Pérez-San Martín, A., Marhuenda-Egea, F. C., Bustamante, M. A., & Curaqueo, G. (2023). Spectroscopy Techniques for Monitoring the Composting Process: A Review. *Agronomy* 13, 2245. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092245>
- Pergola, M., Persiani, A., Palese, A. M., Di Meo, V., Pastore, V., D'Adamo, C., & Celano, G. (2018). Composting: The way for a sustainable agriculture. *Appl. Soil Ecol.* 123, 744–750. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.016>

- Phibunwatthanawong, T., & Riddech, N. (2019). Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 8, 369–380. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0257-7>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L.Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* 46, 359–370.
- Pomboza-Tamaquiza, P., León-Gordón, O. A., Villacís-Aldaz, L. A., Vega, J., & Aldáz-Jarrín, J. C. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. *J. Selva Andin. Biosph.* 4, 84–92. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040200084>
- Poomani, S., Yadav, S., Choudhary, R., Singh, D., Dahuja, A., & Yadav, S. K. (2023). Seed priming with humic acid modifies seedling vigor and biochemical response of lentil under heat stress conditions. *Turkish J. Agric. For.* 47, 1043–1057. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3147>
- Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., de la Cruz-Lázaro, E., Meza-Velázquez, J. A., & Esparza-Rivera, J. R. (2015). Producción de plántulas de chile jalapeño fertilizadas con orina. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 6, 1481–1489.
- Rahman, S., & Barmon, B. K. (2019). Greening modern rice farming using vermicompost and its impact on productivity and efficiency: An empirical analysis from Bangladesh. *Agriculture* 9, 239. <https://doi.org/10.3390/agriculture9110239>
- Rahmat, B., Pangesti, D., Natawijaya, D., & Sufyadi, D. (2014). Generation of wood-waste vinegar and its effectiveness as a plant growth regulator and pest insect repellent. *BioResources* 9, 6350–6360. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6350-6360>
- Ramesh, T., Amuthavalli, A., & Boopathy, R. (2020). Analysis of fermented liquid fertilizer from marine crab waste. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 5, 636–642. <https://doi.org/10.22161/ijeab.53.16>
- Rekaby, S. A., Awad, M. Y. M., Hegab, S. A., & Eissa, M. A. (2020). Effect of some organic amendments on barley plants under saline condition. *J. Plant Nutr.* 43, 1840–1851. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1750645>
- Ren, H., Islam, M. S., Wang, H., Guo, H., Wang, Z., Qi, X., Zhang, S., Guo, J., Wang, Q., & Li, B. (2022). Effect of Humic Acid on Soil Physical and Chemical Properties, Microbial Community Structure, and Metabolites of Decline Diseased Bayberry. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 14707. <https://doi.org/10.3390/ijms232314707>
- Reyes-Pérez, J. J., Luna-Murillo, R. A., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L. G., Rueda-Puente, E. O., & Preciado-Rangel, P. (2017). Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia* 42, 610–615.

- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Palomo-Gil, A., Favela-Chávez, E., Álvarez-Reyna, V. D. P., Márquez-Hernández, C., & Moreno-Reséndez, A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31, 265–272.
- Rojas-Espinoza, B. F., Hernández-Chontal, M. A., Rodríguez-Orozco, N., & Linares-Gabriel, A. (2023). Concentración de nutrientes de dos formulaciones de fertilizantes fermentados (bioles) elaborados con insumos locales. *Terra Latinoam.* 41, e1658. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1658>
- Rojo-Zavala, C. S., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéquez, E., Lucero-Vega, G., & García-Galindo, E. (2023). Estado hídrico y crecimiento de plantas de menta (*Mentha spicata* L.) bajo tratamientos con vermicompost y déficit hídrico. *Terra Latinoam.* 41, e1634. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1634>
- Roulia, M. (2024). Humic Substances : Importance for Agriculture, Affinity and Interactions with Soil Amendments and Pollutants. *Agronomy* 14, 382. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020382>
- Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Márquez-Hernández, C., Fortis-Hernández, M., Estrada-Arellano, J. R., Esparza-Rivera, J. R., & Preciado-Rangel, P. (2017). Yield and nutraceutical quality of tomato fruits in organic substrates. *Ecosistemas y Recur. Agropecu.* 4, 169–175. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.995>
- Salas-Pérez, L., González-Fuentes, J. A., García-Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S., & Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Rev. Electrónica Nov. Sci.* 8, 310–325.
- Sánchez-Sánchez, A., Sánchez-Andreu, J., Juárez, M., Jordá, J., & Bermúdez, D. (2006). Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *J. Plant Nutr.* 29, 259–272. <https://doi.org/10.1080/01904160500476087>
- Santiago-López, G., Preciado-Rangel, P., Sánchez-Chavez, E., Esparza-Rivera, J. R., Fortis-Hernández, M., & Moreno-Reséndez, A. (2016). Organic nutrient solutions in production and antioxidant capacity of cucumber fruits. *Emirates J. Food Agric.* 28, 518-521. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-01-083>
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Preciado-Rangel, P., & Gonzalez-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recur. Agropecu.* 8, e2814. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2814>
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2022). The Biostimulant Effect of Hydroalcoholic Extracts of *Sargassum* spp. in Tomato Seedlings under Salt Stress. *Plants* 11, 3180. <https://doi.org/10.3390/plants11223180>
- Sarwar, G., Schmeisky, H., Hussain, N., Muhammad, S., Ibrahim, M., & Safdar, E. (2008). Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. *Pakistan J. Bot.* 40, 275–282.

- Sarwar, M., Patra, J. K., Ali, A., Maqbool, M., & Arshad, M. I. (2020). Effect of compost and NPK fertilizer on improving biochemical and antioxidant properties of *Moringa oleifera*. South African J. Bot. 129, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.009>
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature 485, 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2019). Role of humic substances in agriculture and variability of their content in freshwater lake sapropel. Agron. Res. 17, 850-861. <https://doi.org/10.15159/AR.19.094>
- Tambo-Laime, D., Céspedes-Céspedes, R., & Esprella-Viorel, B. (2016). Evaluación del efecto de biol bovino en la producción y calidad de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en época de invierno en la estación experimental Choquenaira, Viacha-La Paz. Rev. Investig. e Innovación Agropecu. y Recur. Nat. 3, 55–66.
- Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? Agronomy 8, 214. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100214>
- Turan, M. A., Aşık, B. B., Katkat, A. V., & Çelik, H. (2011). The effects of soil-applied humic substances to the dry weight and mineral nutrient uptake of maize plants under soil-salinity conditions. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca 39, 171–177. <https://doi.org/10.15835/nbha3915812>
- Urrea, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2019). Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. Agronomy 9, 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090542>
- Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2016). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Rev. Mex. Ciencias Agrícolas 8, 407–421.
- Wang, Y., Yang, R., Zheng, J., Shen, Z., & Xu, X. (2019). Exogenous foliar application of fulvic acid alleviate cadmium toxicity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). Ecotoxicol. Environ. Saf. 167, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.064>
- Yildirim, E. (2007). Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci. 57, 182–186. <https://doi.org/10.1080/09064710600813107>
- Yong-Hong, L., Yi-Lang, W., Juei-Yu, C., Tai-Yuan, C., & Chih-Hang, C. (2020). Production of liquid fertilizer by fermented livestock liquid and application on crops. African J. Agric. Res. 16, 752–757. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14695>
- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. Front. Plant Sci. 10, 675. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>
- Zaragoza-Lira, M. M., Preciado-Rangel, P., Figueroa-Viramontes, U., García-Hernández, J. L., Fortis-Hernández, M., Segura-Castruita, M. Á., Lagarda-Murrieta, Á., & Madero-Tamargo, E. (2011).

Aplicación de Composta en la Producción del Nogal Pecanero. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 17(SPE1), 33-37. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 17(SPE1), 33-37.



Aprovechamiento de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) para la Formulación de un Tratamiento Dermatológico

Use of Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) for the Formulation of a Dermatological Treatment

Recibida em: 20/12/2025

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap11

Reyna Ziomara Trejo-Rodríguez¹ 

David Emmanuel Arellano-García¹ 

J. Guadalupe Luna Ortega^{1‡} 

Magdalena Galindo Guzmán¹ 

María Gabriela Cervantes-Vázquez² 

David Antonio Zúñiga-Gracia¹ 



¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna. Ejido Santa Teresa S/N, San Pedro de las Colonias, Coahuila.

² Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km. 35, ejido Venecia. C.P. 35111. Gómez Palacio, Durango, México.

‡ Autor para correspondencia: lupe_lunao@yahoo.com.mx

RESUMEN

Al exponernos al sol, es fundamental tomar precauciones para proteger nuestra piel y aprovechar los beneficios de la radiación UV de manera segura. Algunas de las medidas preventivas para proteger la piel de los rayos solares es el uso de bloqueador solar. Con el fin de contribuir con la generación de tecnologías se realizó una propuesta piloto mediante un bloqueador solar a base de (*Euphorbia Antisyphilitica* Zucc) y Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Mil) está hecho de una manera orgánica libre de químicos, que brinda protección contra los rayos solares y a su vez cuenta con componentes que ayudan humectar, estimular el colágeno en la piel, suavizar y brinda vitaminas y minerales que estimulan la producción de nuevas células y expulsar bacterias como agente de prevención de quemaduras solares y erupciones cutáneas u otros daños en la piel. Así como también la realización preliminar de un estudio de mercado con resultados contundentes. Un informe dado por el gobierno de México redacta que, la exposición permanente a los rayos ocasiona daños a la piel que van desde la aparición de arrugas profundas y manchas, hasta cáncer, este último se ubica entre las 10 neoplasias malignas más frecuentes entre la población mexicana, advirtió la jefa del Servicio de Dermatología del Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, Ivonne Arellano Mendoza.

Palabras clave: fotoprotección, psoriasis, rayos solares.

SUMMARY

When exposing ourselves to the sun, it is essential to take precautions to protect our skin and take advantage of the benefits of UV radiation safely. Some of the preventive measures to protect the skin from the sun's rays is the use of sunscreen. In order to contribute to the generation of technologies, a pilot proposal was made using a sunscreen based on (*Euphorbia Antisyphilitica* Zucc.) and Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Mil) is made in an organic way free of chemicals, which provides protection against sun rays and at the same time has components that help moisturize, stimulate collagen in the skin, soften and provide vitamins and minerals that stimulate the production of new cells and expel bacteria as an agent to prevent sunburn and skin rashes or other damage to the skin. fur. As well as the preliminary carrying out of a market study with conclusive results. A report given by the government of Mexico states that permanent exposure to rays causes damage to the skin that ranges from the appearance of deep wrinkles and spots to cancer, the latter being among the 10 most common malignant neoplasms among the population. Mexican, warned the head of the Dermatology Service of the General Hospital of Mexico “Dr. Eduardo Liceaga”, Ivonne Arellano Mendoza.

Index words: photoprotection, psoriasis, sun rays.

INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio mexicano está conformado por zonas áridas y semiáridas, las cuales están pobladas por diversas formas de vida. Las plantas y arbustos que ahí habitan son recursos forestales no maderables importantes para la economía del país, como es el caso de la candelilla (*Euphorbia antispyhilitica* Zucc.), que se utiliza para la obtención de su cera, la cual presenta cualidades deseables para múltiples aplicaciones industriales, principalmente en el área de alimentos y cosméticos. Durante el proceso de extracción se genera una gran cantidad de residuos al año que son ricos en compuestos bioactivos, los cuales no se aprovechan eficientemente. Por otro lado, existe poca información de estados productores como Coahuila, Durango y Zacatecas que describa las características de la candelilla y sus residuos, así como de la diversidad biológica presente en estas zonas. (García et al., 2022). Una de las actividades económicas más importantes en las comunidades rurales del norte de México, es la explotación de la candelilla (*E. antispyhilitica*) para la obtención su cera. El proceso de obtención de esta cera se ha realizado por más de 100 años en México, principalmente en las zonas desérticas del país: Chihuahua, Coahuila (Candelilla, 2022). Sin embargo, recientemente se ha documentado el proceso ecológico con ácido cítrico, así como las características de la cera (Núñez-García et al., 2022). El proceso tradicional de obtención de cera en el estado de Coahuila que se reconoce como el principal productor- genera de 60 a 120 toneladas de residuos al año. Estos residuos contienen compuestos químicos sin aprovechar, como la celulosa, la lignina y compuestos bioactivos, particularmente polifenólicos, los cuales presentan un potencial de aplicación como agentes antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, entre otros (Ascacio-Valdés et al., 2010). Es por esto por lo que, en la actualidad, se pretende establecer una estrategia integral que permita ofrecer una alternativa de uso a estos residuos para la generación de una economía circular, relacionada con esta actividad económica. Por otro lado, a pesar de que esta planta ha sido explotada durante tanto tiempo, no se han podido establecer plantaciones que garanticen el desarrollo sustentable del proceso. Los esfuerzos se han centrado en caracterizar la cera, sin contar con mucha información básica sobre el desarrollo de la planta y el conocimiento de la diversidad genética, metabólica y fisiológica de esta especie. En este grupo de trabajo, es de particular interés conocer la composición química de la planta y los residuos del proceso de extracción de la cera, a fin de establecer una formulación de un bloqueador solar para la protección de todo tipo piel contra las quemaduras de los rayos del sol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se efectuó en el ejido Santa Teresa, San Pedro, Coahuila específicamente en las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Región Laguna las muestras y extracción de materia prima se obtuvieron derivados del experimento.

Para extraer la cera, la planta es colocada en calderos de hierro que contienen una solución de ácido sulfúrico. La mezcla de agua y acido se calienta hasta la ebullición, esto permite que la cera se funda y se desprenda de la planta. Se obtuvo la materia prima de esta se extrajo la cera de candelilla y gel de

savia, se realizó mediante cortes y molidas en licuadora y una mortera, posteriormente se extrajo sus propiedades. Luego, se separan los trozos con golpes de martillo y se refunden en un recipiente cilíndrico de hierro (cortador) con ácido sulfúrico para purificarla de cualquier impureza. Se vuelve a decantar y se obtiene “cera de candelilla cruda”, se deja enfriar y solidificar. Se mezcla con el Aloe Vera, para formar un protector solar.

Los mecanismos orgánicos de protección solar a diferencia de los productos inorgánicos, es que estos absorben la radiación a través de su estructura de anillo aromático. Se dividen en filtros UVB y filtros UVA. Filtros UVB 22, los salicilatos: absorben pobremente los rayos UVB y se necesitan altas dosis, para poder alcanzar un factor de protección solar deseado. Octotrylene: buen perfil de toxicidad, sensibilidad, foto toxicidad y sensibilización foto-alérgica. Tiene baja resistencia al agua y al sudor (Vallejo et al., 2013).

Las ventajas de los protectores solares a base de hierbas es que son fácilmente disponibles, sin efectos secundarios, no se necesita equipo especial para la preparación, recursos renovables, los ingredientes botánicos están fácilmente disponibles y son económicos. (Jandge; Daharwal, 2011). Para ello se realizó la siguiente investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Candelilla (Euphorbia Antisyphilitica Zucc.)

La planta de la candelilla se caracteriza físicamente por estar formada por tallos verdes grisáceos con hojas pequeñas, los cuales, en época de lluvias presentan flores con tonalidades rosadas (Rojas-Molina et al., 2013). La composición química de candelilla está formada de carbohidratos estructurales por celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, cera y extracto hidrosoluble (Rojas et al., 2020). Estos datos, son importantes para definir el aprovechamiento integral, como para la producción de enzimas hidrolíticas (Buenrostro-Figueroa et al., 2014), y la obtención de antioxidantes: catequina, ácido elágico, taninos hidrolizables, entre otros (Rojas-Molina et al., 2013). Estos importantes compuestos siguen presentes en los residuos de la planta después de la extracción de la cera, donde se han identificado la presencia de compuestos bioactivos como flavonoides y ácidos fenólicos (Ascacio-Valdés et al., 2010; Rojas et al., 2020). Es por esto que se propone el aprovechamiento integral de los residuos de la candelilla, para la obtención de compuestos bioactivos.

Cera de Candelilla

Es una sustancia compleja de origen vegetal, caracterizada por su alto contenido de hidrocarburos y baja cantidad de ésteres volátiles (Rojas-Molina et al., 2013; Sánchez-Becerril et al., 2018; Nuñez-García et al., 2022); además, la cera es reconocida por su importancia económica y por la cantidad de aplicaciones industriales que presenta (Rojas et al., 2020). La cera de candelilla ha sido evaluada y reconocida como segura (GRAS) por variadas e importantes instituciones como el Comité Científico de la Alimentación

Humana (SCF), por el Comité Mixto FAO/OMS, Comité de Expertos en Aditivos Alimentario (JECFA), así como por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) para su aplicación en la industria alimentaria (Cabello-Alvarado et al., 2013; Rojas-Molina et al., 2013; Sánchez-Becerril et al., 2018).

Dentro de las propiedades de la cera se encuentra el punto de fusión con una temperatura de alrededor de 80 °C, un bajo porcentaje en el índice de iodo y valor de acidez, y alto porcentaje en el valor de saponificación. (Núñez-García et al., 2022). Conocer el significado, la composición, así como las propiedades de la cera de candelilla es de gran relevancia, ya que son punto de partida para realizar variados estudios, así como para verificar su calidad. La extracción de cera es una actividad económica importante en los estados del norte de México, de los cuales Coahuila es el principal productor (192,405.31 t), seguido de Chihuahua (5287.47 t), Durango (1,202.85), Zacatecas (766.26) y Nuevo León (146.94).

Residuos de Candelilla (Euphorbia Antisyphulitica Zucc)

Durante los procesos de extracción de cera de candelilla se generan toneladas de sobrantes al año (tallos sin cera), los cuales pueden ser considerados como subproductos con potencial como residuo agroindustrial. Sólo se ha reportado la cantidad de residuos generados por los estados de Coahuila (66.21 t), Durango (88.33) y Zacatecas (118.96 t) para el año 2017 (Reporte interno de CONAFOR, 2017). Este residuo presenta características nutricionales que lo convierten en sustrato para la producción de enzimas de interés biotecnológico como la elagitanasa (Buenrostro-Figueroa et al., 2014; Aranda-Ledesma, 2022); éstas se presentan en la. También se ha demostrado que los tallos de candelilla sin cera presentan compuestos polifenólicos como los elagitaninos de alto peso molecular, con capacidades biológicas importantes, tales como antioxidante y antimicrobiana contra bacterias como *Erwinia amylovora*, *Clavibacter michiganensis* y *Xanthomonas axonopodis*. (Ascacio-Valdés et al., 2013; Burboa et al., 2014). Producción de cera de Candelilla en el año 2017 Generación de residuos de candelilla en el año 2017.

Perfil Fitoquímico de Aloe Vera (Aloe Barbadensis Mil)

El aloe vera (*Aloe barbadensis* Mil) contienen una gran cantidad de fitoquímicos. clases que incluyen antraquinonas, cromonas, antronas, compuestos fenólicos, flavonoides, taninos, esteroides y alcaloides que contribuyen a sus diferentes fármacos (Nalimu et al., 2021).

Estudio de Mercado

Se encuestaron a 60 personas al azar de las cuales se obtuvieron las siguientes respuestas. En la Figura 1 se le pregunto si utilizaban bloqueador solar, mostrando que el 78.3% si utiliza lo utiliza.

¿Utilizas bloqueador solar?

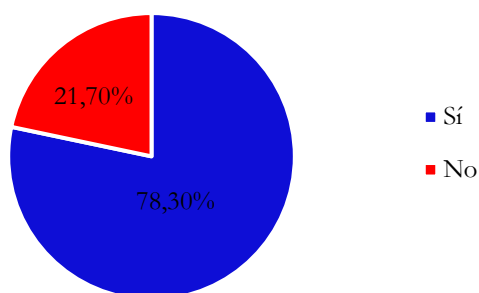


Figura 1. Pregunta ¿utilizas bloqueador solar?

En la Figura 2, se les pregunto ¿Por lo general donde acudes a comprar un bloqueador solar?, el 63.3% respondió en la farmacia.

¿Por lo general donde acudes a comprar un bloqueador solar?

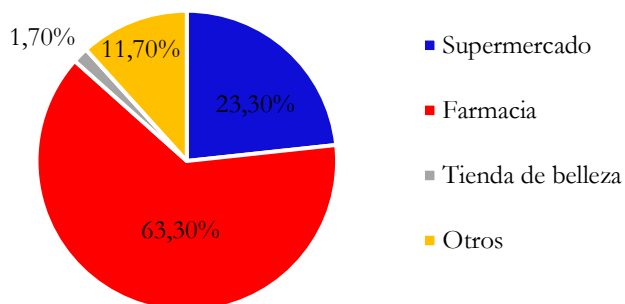


Figura 2. Pregunta ¿Por lo general donde acudes a comprar un bloqueador solar?

¿Al momento de comprar el bloqueador se fija en la calidad o en el precio?

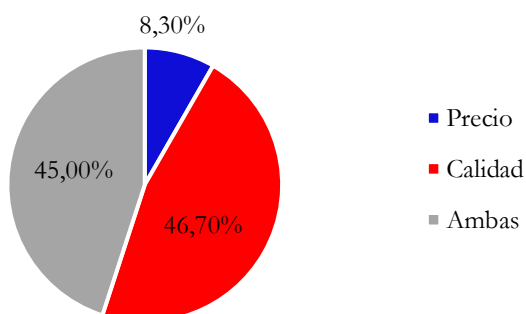


Figura 3. Pregunta ¿Al momento de comprar el bloqueador se fija en la calidad o en el precio?

Además, se les pregunto a 60 personas ¿Al momento de comprar el bloqueador se fija en la calidad o en el precio? (Figura 3).

En la Figura 4, se les pregunto ¿estaría dispuesto a probar un bloqueador solar humectante orgánico?, siendo el 95% con respuesta positiva, lo que nos indica un grado alto de aceptación.

¿Estaría dispuesto a probar un bloqueador solar humectante orgánico?

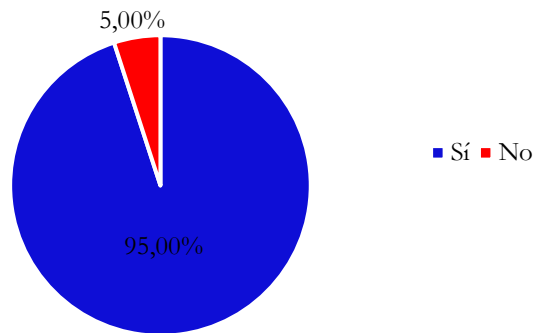


Figura 4. Pregunta ¿estaría dispuesto a probar un bloqueador solar humectante orgánico?

En la Figura 5, la pregunta fue ¿Crees que es indispensable promover el uso del bloqueador solar?, el 73.3% de los encuestados respondió que sí, tan solo el 8.3% manifestó que no y el 18.3% indicó que tal vez.

¿Crees que es indispensable promover el uso del bloqueador solar?

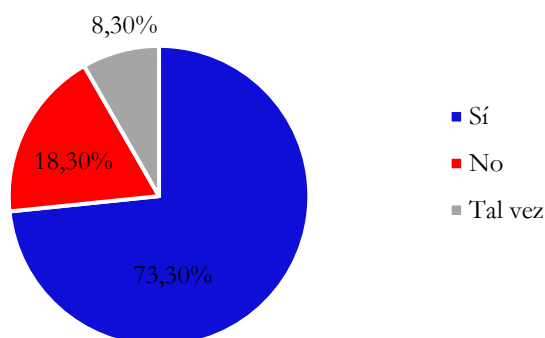


Figura 5. Pregunta ¿estaría dispuesto a probar un bloqueador solar humectante orgánico?

Con estos resultados se muestra que las personas están interesadas y tendrían una aceptación un producto derivado de la Candelilla como este.

CONCLUSIONES

Se espera darle valor agregado a la cera de candelilla siendo nuestros productores los candelilleros específicamente de la región laguna, obteniendo de ellos la materia prima para luego transformarla y comercializarla.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Politécnica de la Región Laguna y a la Universidad Juárez del Estado de Durango.

LITERATURA CITADA

- Aranda-Ledesma, N. E. (2022). Caracterización avanzada de candelilla y otras plantas del semi desierto mexicano. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. 103 p. Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/22907/>.
- Ascacio-Valdés, J. A., Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J. L., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2010). Euphorbia antisyphilitica residues as a new source of ellagic acid. Chemical Papers, 64:528-532.
- Buenrostro-Figueroa, J., Ascacio-Valdés, A., Sepúlveda, L., De La-Cruz, R., Prado-Barragán, A., Aguilar-González, M. A., & Aguilar, C. N. (2014). Potential use of different agroindustrial by-products as supports for fungal ellagitannase production under solid-state fermentation. Food and Bioproducts Processing, 92:376-382.
- Burboa, E. A., Ascacio-Valdés, J. A., Zugasti-Cruz, A., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2014). Anti-oxidant and antibacterial capacity of candelilla extracts residues. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 45:51-56.
- Cabello-Alvarado, C. J., Sáenz-Galindo, A., Barajas-Bermúdez, L., Pérez-Berumen, C., Ávila-Orta, C., & Valdés-Garza, J. A. (2013). Candelilla y sus aplicaciones. Avances en Química, 8(2):105-110, I. D. (2022). Fabricación. Obtenido de https://www.candelilla.org/?page_id=532&lang=es
- García, I. C. N., Ávila, G. C. M., Martínez, A. O., Rojas, R., & Quiñones, O. M. R. (2022). Candelilla: Recurso vegetal endémico con potencial para su uso integral. Revista Agraria, 19(3), 57-57.
- Jangde, R., & Daharwal, S. J. (2011). Herbal sunscreen: An overview. Research Journal of Topical and Cosmetic Sciences, 2(2), 35-39.
- Nalimu, F., Oloro, J., Kahwa, I., & Ogwang, P. E. (2021). Review on the phytochemistry and toxicological profiles of Aloe vera and Aloe ferox. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 7, 1-21.
- Núñez-García, I. C., Rodríguez-Flores, L. G., Guadiana-De-Dios, M. H., González-Hernández, M. D., Martínez-Ávila, G. C., Gallegos-Infante, J. A., ... & Rutiaga-Quñones, M. (2022). Candelilla wax extracted by traditional method and an ecofriendly process: assessment of its chemical, structural and thermal properties. Molecules, 27(12), 3735.

- Rojas, R., Tafolla-Arellano, J. C., & Martínez-Ávila, G. C. (2020). *Euphorbia antisyphilitica* Zucc: A source of phytochemicals with potential applications in industry. *Plants*, 10(1), 8.
- Rojas-Molina, R., De León-Zapata, M. A., Saucedo-Pompa, S., Aguilar-González, M. A., & Aguilar, C. N. (2013). Chemical and structural characterization of Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(12):702-705.
- Sánchez-Becerril, M., Maragoni, A. G., Perea-Flores, M. J., Cayetano-Castro, N., Martínez-Gutiérrez, H., Andraca-Adame, J. A., & Pérez-Martínez, J. D. (2018). Characterization of the micro and nanostructure of the Candelilla wax organogels crystal network.
- Sánchez-Becerril, M., Maragoni, A. G., Perea-Flores, M. J., Cayetano-Castro, N., Martínez-Gutiérrez, H., Andraca-Adame, J. A., & Pérez-Martínez, J. D. (2018). Characterization of the micro and nanostructure of the candelilla wax organogels crystal networks. *Food structure*, 16, 1-7.
- Vallejo, E. O., Vargas, N., Martínez, L. M., Agudelo, C. A., & Ortiz, I. C. (2013). Perspectiva genética de los rayos UV y las nuevas alternativas de protección solar. *Revista Argentina de Dermatología*, 94(3) Recuperado de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-300

Índice

A

Acuaponía, 68
Agricultura, 132, 142, 144, 145, 146
Aloe barbadensis, 172, 175
Aloe Vera, 172, 174, 175
Arena, 131, 134
Azospirillum brasilense, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33

B

Bacillus, 117, 119, 120, 122, 124, 125, 126, 127
Biofertilización, 19, 33, 35
Bloqueador solar, 172, 173, 175, 176, 177

C

Candelilla, 171, 173, 174, 175, 177
Capsicum annuum, 57, 59, 94, 96, 98, 105, 107, 109, 111, 115

Ch

Chile, 63
Chile Jalapeño, 94

E

Enmiendas Orgánicas, 145
Estiércol, 18, 21, 22, 28, 29, 30, 33
Euphorbia antisiphilitica, 171, 173

F

Fertilización, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 39
fertilizante, 120, 124, 126
Forraje Verde, 7

G

Ganado, 9

I

Inorgánica, 94

J

Jalapeño, 59, 62

L

Lechuga, 68
Lippia graveolens, 83, 84, 87, 88, 89, 90

M

Maíz, 116
Metabolitos, 88, 89
México, 116
Micropropagación, 86
Mojarra tilapia, 69, 72

N

Nitratos, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 78

O

Orégano, 81, 83, 84
Orgánica, 94, 99

P

Peces, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78
Piel, 172, 173
Producción, 8, 9, 11, 16, 116
Propagación, 81, 82, 83, 86, 90

Q

Quinoa, 131, 140, 141

S

Suelo, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160
Sustancias húmicas, 146, 147, 148, 156, 160
Sustratos, 131, 132, 133, 135, 136, 138

T

Tomate, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34

V

Vermicompost, 131, 134

Los organizadores



Dr. Ignacio Orona Castillo 

Profesor Investigador de Tiempo Exclusivo de la Universidad Juárez del Estado de Durango, adscrito a la Facultad de Agricultura y Zootecnia ubicada en ejido Venecia, Gómez Palacio Durango desde 2006. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Líneas de Investigación: Economía de los Recursos Naturales y Comercialización de Productos Agropecuarios.



Dr. Ernesto González Gaona 

Investigador Titular del Programa de Sanidad Forestal y Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Pabellón en Aguascalientes desde 1984, Miembro del SNII Nivel 1. Líneas de Investigación: Manejo orgánico biológico de plagas y enfermedades en Guayaba, Nopal, Vid, Maíz, así como plagas forestales con énfasis en defoliadores de la familia Diprionidae.



Dr. Roberto Sánchez Lucio 

Investigador Titular del Programa de Inocuidad y Producción Orgánica del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit desde 2008, Miembro honorífico del Grupo de Expertos del Consejo Nacional de Producción Orgánica ante SENASICA: líneas de investigación Acompañamiento en la Certificación y Renovación en Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC). Asesoría para Obtener el Certificado Orgánico de Producción. Elaboración de Bioinsumos. Producción de Insectos Benéficos y Hongos Entomopatógenos.



Dr. Alain Buendía García 

Se desempeña como Profesor Investigador de Tiempo Completo desde 2018 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores en la categoría de candidato. Sus líneas de investigación se enfocan en la generación de estrategias tecnológicas para la transición de los sistemas agropecuarios, así como la producción integral de cultivos y aprovechamiento de subproductos agropecuarios.

Esta obra, titulada “Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México”, compila estrategias de diversas instituciones académicas para promover una producción de alimentos sana y libre de químicos. A través de la agricultura orgánica y el manejo integral del suelo y el agua, el texto propone técnicas de cultivo que conservan el medio ambiente, buscando no solo la sostenibilidad ecológica, sino también el bienestar socioeconómico de los productores y la seguridad alimentaria de la sociedad.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br