

# Ciencia en construcción: aportaciones desde la formación universitaria

Investigaciones, experiencias  
formativas y divulgación científica en  
la educación superior mexicana

Fidel Núñez Ramírez  
Benito Bernardo Dzib  
Ricardo Torres Ramos  
Salvador Ordaz Silva  
Ricardo Salomón Torres  
Maximiliano Vanoye Eligio  
Eliezer del Jesús Casado Ramírez  
Carlos Alfonso López Orona

*(Coordinadores)*





# **Ciencia en construcción: Aportaciones desde la formación universitaria**

Investigaciones, experiencias formativas y divulgación científica en la educación superior mexicana





# **Ciencia en construcción: Aportaciones desde la formación universitaria**

Investigaciones, experiencias formativas y divulgación científica en la educación superior mexicana

Fidel Núñez Ramírez  
Benito Bernardo Dzib  
Ricardo Torres Ramos  
Salvador Ordaz Silva  
Ricardo Salomón Torres  
Maximiliano Vanoye Eligio  
Eliezer del Jesús Casado Ramírez  
Carlos Alfonso López Orona  
(Coordinadores)



Ciencia en construcción: Aportaciones desde la formación universitaria. Investigaciones, experiencias formativas y divulgación científica en la educación superior mexicana. **Coordinadores:** Fidel Núñez Ramírez, Benito Bernardo Dzib, Ricardo Torres Ramos, Salvador Ordaz Silva, Ricardo Salomón Torres, Maximiliano Vanoye Eligio, Eliezer del Jesús Casado Ramírez y Carlos Alfonso López Orona. —Baja California, México. 2026.

Primera edición

D. R. © copyright 2026

ISBN: [979-13-88142-86-4](#)

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000183>



La presente obra fue dictaminada bajo el sistema de doble ciego y cuenta con el aval de los dictámenes de pares académicos en el campo de las ciencias agropecuarias y ambientales en México.

Edición y corrección: [Astra ediciones](#)



Todos los contenidos de esta publicación, se comparten bajo la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional ([CC BY-NC-SA 4.0](#)). Esto implica que no está autorizado el uso comercial de la obra original ni de las eventuales obras derivadas, las cuales deberán distribuirse bajo la misma licencia que rige la obra original. No obstante, se permite a terceros compartir el contenido siempre y cuando se reconozca debidamente la autoría y la publicación original en esta editorial.

---

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

## Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
---------------------------	-----------

### **Capítulo 1**

Producción de forraje verde hidropónico como alternativa frente a las sequías en el sur del estado de Campeche.....	15
---	----

*Rolando Torres Medina*

*María del Carmen Gómez Camal*

*Félix Alejandra Luna Medina*

*Maximiliano Vanoye Eligio*

*Ludwin Jaime Estrada Ramírez*

*Paula Viveros Moreno*

### **Capítulo 2**

Capacidad solubilizadora de fósforo de paecilomyces sp <i>in vitro</i> .....	25
--	----

*Carlos Eduardo Marron Pory*

*Jorge Luis Delgadillo Ángeles*

*Laura Dennisse Carrasco Peña*

*Imelda Virginia López Sanchez*

*José Guadalupe Pedro Méndez*

*Claudio Ríos Velasco*

*Salvador Ordaz Silva*

*Daniel Alonso Pérez Corral*

**Capítulo 3**

*Fusarium oxysporum* causante de la pudrición de raíces en *Fragaria x ananassa* Duch en el valle de Culiacán ..... 33  
Gilda Abigail Valenzuela Tirado  
María Alejandra Payán Arzapalo  
Guadalupe Alfonso López Urquídez  
Pedro Iván López Cuén  
Carlos Alfonso López Orona  
Lorena Molina Cárdenas

**Capítulo 4**

Evaluación del biochar en suelos arenosos y su efecto en el cultivo semihidroponico de albahaca (*ocimum basilicum*) ..... 43  
Raúl Alejandro Ortiz Lizárraga  
Ricardo Salomón Torres  
Yohandri Ruisanchez Ortega  
Laura Samaniego Sandoval  
Fidel Núñez Ramírez

**Capítulo 5**

Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc para aplicada agrícolas ..... 51  
Alexahandra Judith Valenzuela Rubio  
Ricardo Torres Ramos  
Aurelia Mendoza Gómez  
Mary Triny Beleño Cabañas

**Capítulo 6**

El pixoy (*guazuma ulmifolia lam.*) como suplemento en la alimentación de pollos para engorda (*gallus gallus domesticus*) ..... 61  
Vicente Rafael Ascencio Huicab  
Edith González Lazo  
Judith Ruiz Hernández  
Adib Antonio Olvera Yabur  
Benito Bernardo Dzib Castillo  
Maximiliano Vanoye Eligio

**Capítulo 7**

Implementación de microtúneles en un cultivo de traspatio..... 71

*Carlos Daniel Pérez Flores*

*Eliezer del Jesús Casado Ramírez*

*Blanca del Rosario Martín Canche*

*José Luis Guillén Taje*

**Capítulo 8**

Bioestimulación en el cultivo de maíz afectado por herbicida ..... 81

*Joel Iván González Luna*

*Eliel Esteban Sánchez Fajardo*

*Andrés González Ruiz*

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*

*Raúl Enrique Valle Gough*

*María Isabel Escobosa García*

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*

*Fidel Núñez Ramírez*

**Capítulo 9**

Evaluación sensorial de cuatro fermentados de hidromiel con distintas concentraciones de frambuesa ..... 91

*Axel Uriel Hernández Trujillo*

*Jorge Luis Delgadillo Ángeles*

*Salvador Ordaz Silva*

*Francisco Javier Espitia Orozco*

*Octavio Tadeo Barrera Perales*

*Laura Dennisse Carrasco Peña*

### **Capítulo 10**

Crecimiento de plántulas de yaca (*artocarpus heterophyllus lam.*) bajo diferentes niveles de sombra en el sureste de México ..... 99

*José Rafael Tucuch Mora*  
*Benito Bernardo Dzib Castillo*  
*Edith González Lazo*  
*Jorge Enrique Ramírez Santamaría*  
*Willian Cetzal Ix*  
*Carlos Josué Herrera Guzmán*

### **Capítulo 11**

Efecto de la aplicación de ácido glutámico en alfalfa (*medicago sativa l.*) cultivada en verano en el valle de Mexicali..... 109

*Jesús Ángel López Quiñonez*  
*Yohandri Ruisanchez Ortega*  
*Ricardo Salomón Torres*  
*Laura Samaniego Sandoval*  
*Cándido Mendoza-Pérez*  
*Fidel Núñez Ramírez*

### **Capítulo 12**

Efecto del gradiente de sombra sobre variables morfológicas en plántulas de cacao (***theobroma cacao l.***) en un clima cálido seco ..... 119

*Jaime Esteban Haas Tzuc*  
*Frida Idaly Bautista Alegría*  
*Edith González Lazo*  
*Benito Bernardo Dzib Castillo*  
*Rodolfo Ángel Uc Dzib*  
*Gustavo Enrique Mendoza Arroyo*

**Capítulo 13**

Estado actual del cultivo de maíz en la región agrícola del delta del río Colorado ..... 127

*Jareth Ávalos Magaña*

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*

*Raúl Enrique Valle Gough*

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*

*María Isabel Escobosa García*

*Jesús del Rosario Ruelas Islas*

*Fidel Núñez Ramírez*

**Capítulo 14**

Efecto de recubrimientos comestibles en aspectos de calidad de dátil mejhoul en almacenamiento ..... 135

*Julio César Palacios Arreguín*

*Ricardo Romero Figueroa*

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*

*Raúl Enrique Valle Gough*

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*

*Fidel Núñez Ramírez*

*María A. Payán Arzapalo*

**Capítulo 15**

Bioprospección de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en sustratos lignocelulósicos para hortalizas de viveros comunitario ..... 141

*Kelly Alison Damián de la Cruz*

*Blanca del Rosario Martín Canché*

*Eliezer del Jesús Casado Ramírez*

*José Luis Guillén Taje*

*Guillermina Velasco Viveros*

*Maximiliano Vanoye Eligio*

### **Capítulo 16**

Cuantificación de plantas mediante el uso de imágenes aéreas e inteligencia artificial..... 151

*Samuel Uriel Samaniego Gamez*

*Moisés Gilberto Yáñez Juárez*

*Fidel Núñez Ramírez*

*María Alejandra Payán Arzapalo*

*Raúl Enrique Valle Gough*

*Blancka Y. Samaniego Gamez*

### **Capítulo 17**

Estudio de la calidad del agua residual tratada mediante sistemas biológicos para el uso en cultivos forrajeros..... 161

*Dahir Alberto Andrade Damián*

*Ricardo Torres Ramos*

*Aurelia Mendoza Gómez*

*Mary Triny Beleño Cabañas*

### **Capítulo 18**

Obtención de alcohol a partir de fruto de la papaya (*carica papaya l.*) ..... 169

*Diego Candelario Pérez Pérez*

*Jesús Manuel Mateo Morales*

*Edith González Lazo*

*Benito Bernardo Dzib Castillo*

*Maximiliano Vanoye Eligio*

## Introducción

La producción científica en la educación superior no solo constituye un ejercicio académico, sino también un proceso formativo esencial en la construcción del pensamiento crítico, la vocación investigadora y el compromiso social de los futuros profesionistas. En este contexto, *Ciencia en construcción: Aportaciones desde la formación universitaria* reúne una serie de trabajos que reflejan el esfuerzo colectivo de estudiantes y docentes por generar, comunicar y aplicar conocimiento científico desde diversas áreas del saber.

La obra integra contribuciones desarrolladas por estudiantes de distintas instituciones de educación superior en México, quienes, bajo la orientación de profesores investigadores adscritos a ocho cuerpos académicos, abordaron problemáticas actuales desde enfoques teóricos, metodológicos y aplicados. Los capítulos que conforman este libro dan cuenta de una amplia diversidad temática, que abarca disciplinas como las ciencias agropecuarias, biológicas, ambientales y tecnológicas, evidenciando el carácter multidisciplinario que hoy define a la investigación científica contemporánea.

Más allá de presentar resultados de investigación, este libro pone de manifiesto el valor pedagógico del proceso científico como herramienta de formación integral. Cada aportación refleja no solo la adquisición de competencias técnicas y metodológicas, sino también el desarrollo de habilidades críticas, analíticas y comunicativas indispensables para la divulgación y difusión de la ciencia. En este sentido, la obra se concibe como un espacio de encuentro entre la formación académica y la responsabilidad social del conocimiento.

Asimismo, *Ciencia en construcción...* destaca el papel fundamental de los cuerpos académicos como ejes articuladores entre docencia, investigación y vinculación. La labor de acompañamiento, tutoría y guía académica resulta clave para consolidar experiencias formativas que

trascienden el aula y se proyectan hacia la generación de conocimiento pertinente, contextualizado y con impacto potencial en la sociedad.

Finalmente, este libro se ofrece al lector como una muestra del dinamismo y la capacidad creativa de la comunidad universitaria mexicana, así como una invitación a reconocer la ciencia como un proceso colectivo, en constante construcción. Las contribuciones aquí reunidas reflejan que la investigación científica no es un producto acabado, sino un camino de aprendizaje continuo, diálogo interdisciplinario y compromiso con los retos actuales de nuestro entorno.

*Comité organizador*

# Capítulo 1

## Producción de forraje verde hidropónico como alternativa frente a las sequías en el sur del estado de Campeche

*Rolando Torres Medina<sup>1</sup>*  
*María del Carmen Gómez Camal<sup>2</sup>*  
*Félix Alejandra Luna Medina<sup>3</sup>*  
*Maximiliano Vanoye Eligio<sup>4</sup>*  
*Ludwin Jaime Estrada Ramírez<sup>5</sup>*  
*Paula Viveros Moreno<sup>6</sup>*

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000190>



<sup>1</sup> Maestría en Economía Social y Solidaria, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México, [230251024@escarcega.tecnm.mx](mailto:230251024@escarcega.tecnm.mx).

<sup>2</sup> Docente Investigadora, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México. [maria\\_camal@itsescarcega.edu.mx](mailto:maria_camal@itsescarcega.edu.mx) <https://orcid.org/0000-0003-1693-2753>.

<sup>3</sup> Docente Investigadora, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México. [alejandralm@itsescarcega.edu.mx](mailto:alejandralm@itsescarcega.edu.mx) <https://orcid.org/0000-0002-1052-9253>.

<sup>4</sup> Docente Investigador, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México. [maxvanoye@itsescarcega.edu.mx](mailto:maxvanoye@itsescarcega.edu.mx) <https://orcid.org/0000-0002-6438-9479>.

<sup>5</sup> Docente Investigador, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México <https://orcid.org/0000-0002-6438-9479>.

<sup>6</sup> Docente Investigador, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, Campeche, México.

## Resumen

La presente investigación analiza la producción de forraje verde hidropónico (FVH) en el municipio de Escárcega, Campeche, como una estrategia sustentable para enfrentar las prolongadas sequías que afectan a los pequeños y medianos productores ganaderos del sur del estado. (Cordoba Gómez, M. A. 2023). Ante la escasez de pasto natural y la baja disponibilidad de agua durante la temporada seca, el FVH se presenta como una alternativa viable para mantener la alimentación del ganado, mejorar su condición corporal y reducir las pérdidas productivas (Bustamante Piedrahita, 2023).

El estudio emplea un enfoque mixto con diseño descriptivo, integrando datos cualitativos y cuantitativos mediante observación directa y monitoreo diario del proceso de producción de FVH. Se evaluó la viabilidad técnica, económica y social del método como una herramienta de mitigación frente a la sequía, combinando soluciones de gestión ambiental y comunitaria.

Los resultados demuestran que la producción de FVH con semillas de maíz puede ser una alternativa factible para productores locales, optimizando el uso del agua y los espacios de cultivo (Chileno Guano, 2025). Garantizando una alimentación sostenible del ganado y fortaleciendo la resiliencia productiva ante los efectos del cambio climático (Freitas, L. 2025).

## Introducción

El municipio de Escárcega, situado en la zona sur del estado de Campeche, se caracteriza por su importante actividad ganadera (Alatríste Guarneros, 2018; Ardila Fernández, 2019), la cual ha sido severamente afectada en los últimos años por las prolongadas sequías y la creciente variabilidad climática. Estos fenómenos han provocado escasez de pastos naturales, pérdida de cultivos forrajeros y disminución de la disponibilidad de agua, afectando directamente la productividad, el bienestar animal y la economía rural local (Rangel, Gutiérrez y Eligio, 2022).

Ante este contexto, es indispensable explorar alternativas sostenibles y de bajo costo que aseguren la alimentación animal durante los periodos de escasez hídrica (Valencia Luna, 2023). Una de las soluciones emergentes es el uso del forraje verde hidropónico (FVH), una técnica de cultivo intensivo (Eslava Pedraza, 2021) que permite producir biomasa vegetal de alto valor nutricional en espacios reducidos, sin necesidad de suelo y con un consumo mínimo de agua (Martínez Romero y Leyva Galán, 2014).

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar la viabilidad y eficiencia del FVH a base de maíz bajo las condiciones locales de Escárcega (Borja y Perlará, 2009), así como analizar su aceptación entre los productores y su impacto en el manejo ganadero (Cruz Magdalena, 2024; Palacio Hoyos, 2017). El estudio busca demostrar que el FVH puede constituir una herramienta estratégica para mitigar los efectos de la sequía (Báez Barraza, 2012; Quintero, 2018), fortalecer la seguridad alimentaria animal y fomentar prácticas agropecuarias sostenibles en la región.

El trabajo aporta evidencia empírica sobre la implementación de técnicas hidropónicas adaptadas al contexto rural campechano, integrando conocimientos locales y tecnología apropiada. Asimismo, se enmarca en un enfoque de economía social y solidaria, promoviendo la autogestión productiva y la participación comunitaria como componentes esenciales de la resiliencia frente al cambio climático (Ortega, 2022).

## **Materiales y métodos**

### **Diseño de investigación**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para integrar análisis técnico, productivo y socioeconómico. Se utilizó un diseño descriptivo, permitiendo caracterizar las condiciones de producción del FVH, los recursos empleados y las percepciones de los productores.

### **Ubicación del estudio**

El trabajo se realizó en el municipio de Escárcega, localizado al sur del estado de Campeche, México, dentro de una zona de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y temperaturas promedio anuales de 26 °C. La región presenta una marcada estacionalidad en las precipitaciones, con sequías recurrentes que afectan los sistemas de producción ganadera.

### **Tipo de estudio**

Se trata de un estudio no experimental, transversal y de campo, enfocado en observar y describir el proceso de producción del FVH sin manipular variables. El diseño permitió analizar el rendimiento del forraje y su factibilidad de implementación bajo las condiciones locales de los pequeños productores.

### **Técnicas e instrumentos**

Se aplicaron observaciones sistemáticas del proceso de germinación y crecimiento del forraje durante un periodo de 12 a 14 días, registrando variables como humedad, temperatura, germinación y peso fresco. Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas con productores locales para identificar percepciones sobre la utilidad y sostenibilidad de la técnica.

El procesamiento de datos cuantitativos se llevó a cabo mediante análisis descriptivos (media, rango, frecuencia), mientras que los datos

cualitativos se interpretaron bajo un enfoque de análisis de contenido, permitiendo integrar las experiencias de los productores en la discusión de resultados.

### **Procedimiento experimental**

1. Selección de la semilla: se utilizó semilla de maíz criollo de alta germinación ( $\geq 90$  %), adaptada a las condiciones de la región.
2. Lavado y desinfección: las semillas se lavaron con agua limpia y se desinfectaron con hipoclorito de sodio (0.1 %) durante 30 min, enjuagándose posteriormente con agua potable.
3. Remojo y germinación: las semillas se dejaron en remojo durante 12 h y luego se colocaron en bandejas plásticas perforadas, distribuidas en capas uniformes.
4. Condiciones de cultivo: las bandejas se mantuvieron bajo sombra parcial, con riego manual dos veces al día usando agua limpia sin nutrientes químicos añadidos.
5. Monitoreo: se registraron datos de crecimiento, humedad y temperatura ambiental diaria.
6. Cosecha: el FVH se cosechó entre los días 12 y 14, cuando alcanzó una altura promedio de 25 cm.

### **Resultados**

Durante el proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH) en Escárcega, Campeche, se observaron resultados consistentes en términos de germinación, crecimiento y biomasa obtenida, aun bajo condiciones ambientales de temperatura elevada y limitada humedad relativa.

El porcentaje promedio de germinación fue del 91 %, lo que indica una alta viabilidad de la semilla seleccionada. El rendimiento promedio obtenido fue de 7.2 kg de FVH por kg en un periodo de 12 días, con un índice de conversión semilla-forraje de 1.7.2, es decir, por cada kilogramo de semilla utilizada se obtuvieron aproximadamente 7.2 kg de forraje fresco.

La altura promedio del forraje al momento de la cosecha fue de 20 a 25 cm, con un peso fresco promedio de 7.2 kg por bandeja de 0.25 m<sup>2</sup>.

La humedad del producto final fue del 82 %, lo que indica un contenido óptimo para el consumo directo del ganado sin necesidad de procesamiento adicional.

En cuanto al uso del agua, el sistema demostró una alta eficiencia: se requirieron en promedio 2-3 litros de agua por kilogramo de FVH producido, lo que representa un ahorro superior al 80 % en comparación con métodos de riego convencional en pasturas tradicionales.

Los productores participantes destacaron la disponibilidad continua del forraje durante todo el año y la reducción de costos en la compra de alimentos balanceados. Asimismo, señalaron mejoras visibles en la condición corporal del ganado y en la producción de leche, especialmente durante los meses más secos.

**Tabla 1**

*Resultados de la producción de forraje verde hidropónico (FVH) en condiciones locales de Escárcega, Campeche.*

<b>Variable</b>	<b>Valor promedio</b>	<b>Unidad</b>	<b>Observaciones</b>
Germinación	91	%	Alta viabilidad de la semilla
Altura del forraje	25–29	cm	Cosecha al día 12
Peso fresco	7.2	kg/bandeja	Bandejas de 0.25 m <sup>2</sup>
Rendimiento total	28.8	kg/m <sup>2</sup>	Periodo de 12 días
Consumo de agua	2–3	L/kg FVH	Alta eficiencia
Contenido de humedad	82	%	Forraje fresco
Conversión semilla–forraje	1:7	—	1 kg de semilla produce 7 kg de FVH

El análisis de la información cualitativa mostró que el 80 % de los productores consideró el sistema de FVH como una solución viable y sostenible, mientras que un 20 % expresó reservas sobre la necesidad de infraestructura inicial y capacitación técnica para su implementación óptima.

## Discusión

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica y práctica del forraje verde hidropónico como estrategia adaptativa frente a las sequías en el sur del estado de Campeche. Los valores de germinación y rendimiento coinciden con los reportados en estudios similares realizados en Hidalgo y Guerrero (Ismael Castellanos-Arellanes, 2024; Sagarpa, 2013), donde la producción de FVH alcanzó entre 8 y 10 kg/m<sup>2</sup> con eficiencias comparables en el uso del agua.

El ahorro hídrico observado (2-3 L/kg FVH) es particularmente relevante para zonas como Escárcega, donde la escasez de agua es la principal limitante para la ganadería extensiva. De acuerdo con Beltrano y Giménez (2015), los sistemas hidropónicos pueden reducir hasta en un 90 % el consumo de agua respecto al cultivo tradicional de pastos, lo cual coincide con los hallazgos de este estudio.

Desde una perspectiva productiva, la utilización del FVH permitió mantener la condición corporal del ganado y reducir las pérdidas por inanición, lo que contribuye directamente a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad de las unidades ganaderas familiares. Este beneficio también fue destacado por Morales (1987) y Bravo Ruiz (1988), quienes documentaron incrementos en la productividad animal y mejoras en la calidad del forraje mediante el uso de esta tecnología.

En el plano socioeconómico, la adopción del FVH representa una tecnología apropiada (Schumacher, 1973) para pequeños y medianos productores, ya que requiere inversiones moderadas y puede implementarse con materiales locales. Además, su manejo favorece la participación comunitaria y el intercambio de conocimientos técnicos, fortaleciendo el tejido social rural y la capacidad de autogestión frente a eventos climáticos extremos.

En términos de sostenibilidad ambiental, la técnica de FVH contribuye a reducir la presión sobre los recursos naturales, especialmente el suelo y el agua, al tiempo que minimiza la necesidad de fertilizantes y agroquímicos. Esto se alinea con los objetivos de mitigación del cambio climático establecidos por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2024) y refuerza las metas de producción limpia en el sector agropecuario.

Finalmente, los resultados demuestran que la producción de FVH puede integrarse en un modelo de economía social y solidaria, donde los productores comparten infraestructura, insumos y conocimientos, fortaleciendo así la resiliencia comunitaria ante la crisis climática. Este enfoque integral, que combina tecnología apropiada y cooperación local, resulta esencial para garantizar la continuidad de la ganadería en regiones semiáridas como el sur de Campeche.

## Conclusiones

Los resultados de esta investigación demuestran que la producción de forraje verde hidropónico (FVH) constituye una alternativa viable, sostenible y eficiente para enfrentar las sequías recurrentes que afectan la ganadería en el sur del estado de Campeche.

La técnica presenta ventajas agronómicas y ambientales notables:

- Requiere poco espacio y un bajo consumo de agua.
- Permite producir alimento verde durante todo el año.
- Reduce la dependencia de pastos naturales y concentrados comerciales.
- Aporta un producto nutritivo y fresco que mejora la condición corporal del ganado.

Además, el FVH promueve la autonomía productiva de los pequeños y medianos ganaderos, fortaleciendo la seguridad alimentaria y la resiliencia económica de las comunidades rurales. Su implementación bajo principios de economía social y solidaria potencia el trabajo colaborativo, la autogestión y el uso responsable de los recursos naturales.

## Referencias

- Alatríste Guarneros, M. F. (2018). *Contribución de la diversidad florística a la productividad ganadera en tres municipios de Campeche, México* [Tesis de licenciatura].
- Ardila Fernández, A. F. (2019). *Integración del recurso arbóreo en fincas ganaderas de Campeche, México, como estrategia de adaptación al cambio climático y conservación de la biodiversidad* [Tesis de maestría].
- Báez Barraza, K. A. (2012). *Estrategias innovadoras para la gestión del riesgo de sequía en sistemas ganaderos extensivos* [Tesis doctoral].
- Barraza, K. B., & Martínez, E. I. (2012). *Estrategias innovadoras para la gestión del riesgo de sequía en sistemas ganaderos extensivos*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). *Producción hidropónica de forraje verde: Fundamentos, aplicaciones y perspectivas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Borja, T. C., & Perlará, R. M. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Revista Bioetnia*, 6(2), 127–134.
- Bravo Ruiz, A. (1988). El forraje verde hidropónico como alternativa alimentaria para el ganado. *Revista Agropecuaria Mexicana*, 12(3), 45–52.
- Bustamante Piedrahita, D. R. (2023). *Métodos de conservación de forraje para la alimentación de ganado bovino en la época seca* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo].
- Castellanos-Arellanes, I. (2024). *Evaluación productiva del forraje verde hidropónico en condiciones de sequía* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].
- Córdoba Gómez, M. A. (2023). *Historia y variabilidad climática en el Altiplano de Pasto (Colombia), ambiente y sociedad de 1780 a 1870* [Tesis de maestría, FLACSO Ecuador].

- Cruz Magdaleno, L. Á. (2024). *Percepción y estrategias de adaptación al cambio climático que implementan los productores ganaderos* [Tesis de maestría, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Martínez Romero, A., & Leyva Galán, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el agroecosistema: Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11–20.
- Morales, C. (1987). El uso de forrajes hidropónicos en regiones áridas. *Revista Técnica Agropecuaria*, 4(2), 23–31.
- Palacio Hoyos, P. (2017). *Análisis de viabilidad para la implementación del sistema de pastoreo racional de Voisin en una empresa ganadera enfocada hacia la ceba de bovinos* [Tesis de licenciatura].
- Quintero Quintero, E. J. (2018). *El forraje verde hidropónico (FVH) de maíz (Zea mays) como estrategia didáctica mediadora en el desarrollo de la competencia indagar en los educandos de grado noveno* [Tesis doctoral].
- SADER. (2024). *Estrategia nacional de mitigación al cambio climático en el sector agropecuario*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- SAGARPA. (2013). *Manual de producción de forraje verde hidropónico*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Valencia Luna, A. N. (2023). *Esquilmos agrícolas como dieta alternativa de porcinos de engorde en la producción familiar y su evaluación de sustentabilidad* [Tesis de licenciatura].

# Capítulo 2

---

## Capacidad solubilizadora de fósforo de *paecilomyces sp in vitro*

*Carlos Eduardo Marron Pory*<sup>7</sup>  
*Jorge Luis Delgadillo Ángeles*<sup>8</sup>  
*Laura Dennisse Carrazco Peña*<sup>9</sup>  
*Imelda Virginia López Sanchez*<sup>10</sup>  
*José Guadalupe Pedro Méndez*<sup>11</sup>  
*Claudio Ríos Velasco*<sup>12</sup>  
*Salvador Ordaz Silva*<sup>13</sup>  
*Daniel Alonso Pérez Corral*<sup>14</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000206>



---

<sup>7</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

<sup>8</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

<sup>9</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

<sup>10</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

<sup>11</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

<sup>12</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Campus Cuauhtémoc, Chihuahua, México

<sup>13</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México, [salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx](mailto:salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx).

<sup>14</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México.

## Resumen

El propósito de la siguiente investigación fue demostrar la capacidad solubilizadora de fósforo de cepas del hongo *Paecilomyces* sp in vitro ya que un hongo que es capaz de realizar una aportación de un nutriente esencial para un cultivo te abre una vía sustentable opcional en la cual estás aportando dicho nutriente, creando de esta forma una relación simbiótica hongo-planta donde ambos se benefician abasteciendo sus necesidades y matando organismos patógenos que quieran inhibir el proceso físico químico de la planta para llegar a cosecha. Los materiales utilizados en la investigación fueron: cepas previamente aisladas de la rizósfera de suelo de plantas de pitaya (*Stenocereus gummosus*); se utilizó el medio de cultivo agar Pikovskaya para hacer la prueba de solubilización de fósforo. El procedimiento fue llevado a cabo en condiciones asépticas en la campana de flujo laminar para evitar cualquier tipo de contaminación externa y ésta consistió en transferir una porción del hongo *Paecilomyces* de una caja Petri a otra con el medio de cultivo agar Pikovskaya, posteriormente se incubaron a una temperatura de  $25\pm 2$  °C y una humedad relativa de  $60\pm 5$  % durante 6 días para posteriormente tomar notas de los diámetros de cada cepa, los diámetros registrados fueron de 5.7 cm, 4 cm, 3.4 cm, 5.1 cm y 4 cm, siendo 5.7 cm y 5.1 cm, donde las medidas mayores correspondieron a las cepas 14-1-1 y 14-1-3. Dichos resultados, comparados con otros autores, nos hacen concluir que *Paecilomyces* sp. tiene una muy buena capacidad de solubilización de fósforo y, por ende, se recomienda hacer pruebas en campo para tomar más datos sobre su reacción en un ambiente expuesto.

## Introducción

A lo largo de los años se han implementado diferentes métodos para el control de plagas y enfermedades, tales como culturales, físicos, biológicos y químicos, siendo estos últimos los que más perjudican al medio ambiente dado el abuso de los mismos, además de los efectos que causan en organismos no blanco y en el hombre mismo. A pesar de que los productos orgánicos suelen ser más caros y en algunos casos más lentos que los convencionales, son mayormente recomendados debido a que no contaminan el medio ambiente y el suelo con su uso. Los microorganismos juegan una parte fundamental en el cuidado del campo agrícola; en el suelo se pueden encontrar un sinnúmero de estos y se destacan principalmente por no ser percibidos a simple vista, tales como hongos, virus, protozoos y algas microscópicas (Gómez et al., 2013). El fósforo es uno de los macronutrientes para las plantas, es decir, que éstas lo requieren en altas cantidades; además, es un componente esencial de moléculas clave como lo son el ARN y EL ADN (Da Cunha Cruz et al., 2020; Heuer et al., 2017). El hongo *Paecilomyces* actúa como un agente biocontrolador de diversos organismos, entre los que destacan los hongos, bacterias, insectos, entre otros; posee además efectos positivos sobre las plantas cultivadas (Nesha and Siddiqui, 2017). Por tal motivo, la presente investigación tiene como objetivo el determinar la capacidad solubilizadora de fósforo de cinco cepas de *Paecilomyces* sp. en condiciones de laboratorio.

## Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín de la UABC, en donde se aislaron cepas de *Paecilomyces* sp de suelo proveniente de la rizósfera de plantas de pitayo agrio mediante diluciones. Se identificaron morfológicamente cinco cepas de este hongo por medio de las claves morfológicas de Barnet y Hunter (1998), las mismas que se activaron y purificaron en medio de cultivo Agar Dextrosa Papa (PDA) por sus siglas en inglés mediante la técnica de punta de hifa; posteriormente, se incubaron a  $25 \pm 2$  °C y una humedad relativa de  $60 \pm 5$  %.

Para la prueba de solubilización de fósforo se utilizó el medio de cultivo Pikovskaya-agar modificado (Nopparat et al., 2009), el cual consistió en una solución base:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (0.5 g), KCL (0.2 g),  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0.1 g),  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (0.004 g), NaCl (0.2 g), D-glucosa (10 g),  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0.002 g), extracto de levadura (0.5 g), agar (18 g) y agua destilada (900 mL). A esta mezcla se le agregó una solución de fosfato de calcio ( $\beta$ -fosfato de tricalcio,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , (0.5 g)) o hierro (fosfato férrico,  $\text{FePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (0.5 g)) y agua destilada (100 mL). La solución de fosfato se esterilizó en una autoclave durante 15-20 min a 121°C. Terminado este proceso, la solución se dejó reposar en el refrigerador para acelerar su solidificación.

La prueba *post hoc* de diferencia honestamente significativa de Tukey fue aplicada para examinar por pares las diferencias entre los tratamientos (1-5) en la prueba de solubilización de fósforo.

## Resultados y Discusión

Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en la mayoría de las comparaciones, a excepción del tratamiento 2 (17\_2\_1) y el tratamiento 5 (17-2-3), los cuales no difirieron significativamente ( $p = 0.794$ ) (Cuadro 1, Figura 1).

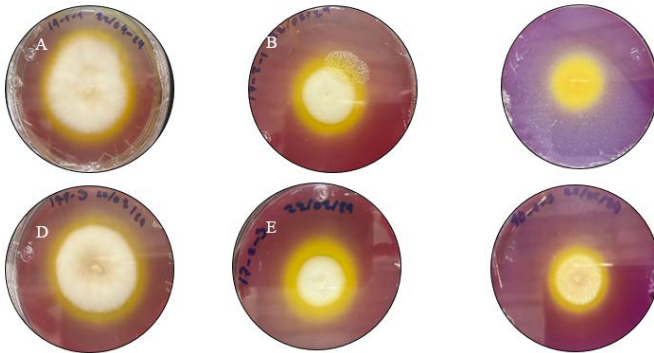
### Cuadro 1

Cepas y diámetro de *Paecilomyces sp* en medio *Pikovskaya*.

Cepa	Radio Centímetros
14-1-1	5.7 cm
17-2-1	4 cm
10-2	3.4 cm
14-1-3	5.1 cm
17-2-3	4 cm

### Figura 1

Cepas de *Paecilomyces sp* en medio de cultivo agar *Pikovskaya* después de siete días de sembrados. A) 14-1-1, B) 17-2-1, C) 10-2, D) 14-1-3, E) 17-2-3, F) 10-1-3.



**Cuadro 2**

Prueba de HSD Tukey.

Variable dependiente: Solubilización.

	(I) Trata- miento	(J) Trata- miento	Diferencia de medidas (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite
			Intervalo de con- fianza al 95%	Límite infe- rior		
1	2	1.60000*	.11926	.000	1.2075	1.9925
	3	2.20000*	.11926	.000	1.8075	2.5925
	4	.63333*	.11926	.002	.2408	1.0258
	5	1.46667*	.11926	.000	1.0742	1.8592
2	1	-1.60000*	.11926	.000	-1.9925	-1.2075
	3	.60000*	.11926	.004	.2075	.9925
	4	-.96667*	.11926	.000	-1.3592	-.5742
	5	-.13333	.11926	.794	-.5258	.2592
3	1	-2.20000*	.11926	.000	-2.5925	-1.8075
	2	-.60000*	.11926	.004	-.9925	-.2075
	4	-1.56667*	.11926	.000	-1.9592	-1.1742
	5	-.73333*	.11926	.001	-1.1258	-.3408
4	1	-.63333*	.11926	.002	-1.0258	-.2408
	2	.96667*	.11926	.000	.5742	1.3592
	3	1.56667*	.11926	.000	1.1742	1.9592
	5	.83333*	.11926	.000	.4408	1.2258
5	1	-1.46667*	.11926	.000	-1.8592	-1.0742
	2	.13333	.11926	.794	-.2592	.5258
	3	.73333*	.11926	.001	.3408	1.1258
	4	-.83333*	.11926	.000	-1.2258	-.4408

\*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05

Hernández et al. (2011) obtuvieron una respuesta positiva en cuanto a la prueba de solubilización de fósforo de *Paecilomyces lilacinus*, datos que confirman los resultados del presente trabajo y por lo cual podemos afirmar que las cepas utilizadas en esta investigación presentan un potencial positivo para la solubilización de este macronutriente en los cultivos.

## Conclusiones

Las pruebas realizadas nos indican que *Paecilomyces* sp. tiene un gran potencial como hongo solubilizador de fósforo; sin embargo, se sugiere seguir trabajando con el hongo para ver la reacción que tendría en un campo expuesto, por ejemplo, en donde los factores bióticos y abióticos no sean controlados como en esta investigación.

## Referencias

- Barnnet, H. L. and Barry B. Hunter. (1998). *Illustrated genera of Imperfect Fungi*. Fourth edition. APS Press The American Phytopatological Society St. Paul, Minnesota.
- Da Cunha Cruz, Y., Scarpa, A. L. M., Pereira, M. P., de Castro, E. M., & Pereira, F. J. (2020) Root anatomy and nutrient uptake of the cattail *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae) grown under drought condition. *Rhizosphere*, 16, 100253.
- Hernández-Leal T., Carrión G., Heredia G. (2011). *Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de Paecilomyces lilacinus (Thom) Samson*. Valoragregado.org
- Heuer, S., Gaxiola, R., Schilling, R., Herrera-Estrella, L., López-Arredondo, D., Wissuwa, M., ... Rouached, H. (2017), Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. *The Plant Journal*, 90(5), 868-885
- Gómez Ramírez H., Soberanis Ramírez W., Tenorio Cantoral M., Torres Del Aguila E. (2013). *Manual de producción y uso de hongos antagonistas*. SENASA: Perú.
- R. Nisha and Z. A. Siddiqui. (2017). Effects of *Paecilomyces lilacinus* and *Aspergillus niger* alone and in combination on the growth, chlorophyll contents and soft rot disease complex of carrot. *Scientia Horticulturae*, 218, pp. 258–264.



# Capítulo 3

---

## *Fusarium oxysporum* causante de la pudrición de raíces en *Fragaria x ananassa Duch* en el valle de Culiacán

Gilda Abigail Valenzuela Tirado<sup>15</sup>

María Alejandra Payán Arzapalo<sup>16</sup>

Guadalupe Alfonso López Urquídez<sup>17</sup>

Pedro Iván López Cuén<sup>18</sup>

Carlos Alfonso López Orona<sup>19</sup>

Lorena Molina Cárdenas<sup>20</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000213>



---

<sup>15</sup> Estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias, adscrita a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>16</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México, [mariapayan@uas.edu.mx](mailto:mariapayan@uas.edu.mx).

<sup>17</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>18</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>19</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>20</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

## Resumen

El cultivo de fresa es de importancia económica en México; no obstante, su productividad se ve limitada por distintas enfermedades que afectan el sistema radicular y provocan pérdidas en rendimiento. Entre estas enfermedades, destaca la pudrición de raíces y la marchitez vascular asociadas a especies del género *Fusarium*. A pesar del crecimiento reciente de la producción de fresa en el Valle de Culiacán, Sinaloa, la información sobre los agentes causales específicos de estas enfermedades en la región es escasa. El objetivo del estudio fue identificar y caracterizar a *Fusarium oxysporum* como agente causal de la pudrición de raíces en plantas de fresa en el Valle de Culiacán. Se recolectaron plantas de fresa de la variedad Camino Real que presentaban síntomas típicos de marchitez, retraso en el crecimiento y disminución de la producción, en cuatro lotes productivos.

Los aislamientos fúngicos se obtuvieron a partir de tejidos radiculares y se cultivaron en medio papa-dextrosa-agar (PDA). La identificación morfológica se realizó mediante la observación microscópica de estructuras reproductivas, incluyendo macroconidias, microconidias, clamidosporas y esporodoquios, conforme a claves taxonómicas. La identificación molecular se efectuó mediante la amplificación y secuenciación de la región TEF-1 $\alpha$ , comparando las secuencias obtenidas con las bases de datos GenBank y Fusarium ID. Adicionalmente, se construyó un árbol filogenético utilizando el método Neighbor-Joining con análisis de *bootstrap*.

Los resultados morfológicos y moleculares confirmaron la identidad de los aislamientos como *Fusarium oxysporum*, los cuales se agruparon estrechamente con secuencias de referencia de esta especie en el análisis filogenético. La prueba de patogenicidad, realizada en condiciones controladas de invernadero, reprodujo los síntomas característicos de la enfermedad y permitió el reisolamiento del patógeno, cumpliendo con los

postulados de Koch. Este estudio constituye el primer registro detallado de *F. oxysporum* asociado a la pudrición de raíces en fresa en la zona del centro de Sinaloa.

## Introducción

El cultivo de fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) representa una actividad agrícola de importancia económica y social a nivel mundial, debido a su alto valor comercial y generación de empleo. México se ha ubicado dentro de los cinco principales países productores de fresa a nivel mundial (SIAP, 2023), con un promedio de 624 000 toneladas, en tan solo el periodo de 2017 a 2022. Los mayores estados productores de fresa en México son Michoacán, Guanajuato y Baja California, que en conjunto aportan alrededor del 96 % de la producción nacional (SIAP, 2025). Por otro lado, aunque Sinaloa no aparece entre los estados con mayor producción a nivel nacional, en el valle de Culiacán existe una producción importante, especialmente enfocada para el uso de consumo en fresco y la industria de repostería.

En los últimos años, el cultivo de fresa ha ido en aumento tanto en Culiacán como en zonas centro-norte del estado, incorporando tecnologías que le permiten al productor obtener rendimientos de hasta 40 t ha<sup>-1</sup> en condiciones óptimas del cultivo. Sin embargo, este cultivo se enfrenta a limitantes que merman su producción, como enfermedades que afectan el sistema radical, las cuales provocan pérdidas significativas en rendimiento y calidad, así como la muerte prematura de plantas. Dentro de este complejo de enfermedades, la pudrición de raíces y la marchitez vascular asociadas a especies del género *Fusarium* destacan por su amplia distribución, persistencia en el suelo y dificultad de manejo (Juárez-García et al., 2021; Hassan y Chang, 2022; Zhang et al., 2025).

Diversos estudios realizados han señalado a *Fusarium oxysporum* como uno de los patógenos más frecuentes y agresivos asociados a estos síntomas, particularmente por su capacidad de colonizar los tejidos vasculares y radicales, interfiriendo con el transporte de agua y nutrientes (Mariscal-Amaro et al., 2017; Ceja-Torres et al., 2024; Payán-Arzapalo et al., 2024; Liu et al., 2025). A pesar de la relevancia del cultivo de

fresa en el Valle de Culiacán, la información científica disponible sobre los agentes causales específicos de la pudrición de raíces en esta región es limitada.

En particular, existe una necesidad de estudios que confirmen la participación de *Fusarium oxysporum* como agente causal predominante, mediante una correcta caracterización morfológica y molecular, ya que un diagnóstico preciso es fundamental para comprender la epidemiología de la enfermedad, así como para el diseño de estrategias de manejo integradas y sostenibles. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo identificar y caracterizar a *Fusarium oxysporum* como agente causal de la pudrición de raíces en plantas de fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, contribuyendo al conocimiento de la problemática fitosanitaria regional y proporcionando bases científicas que permitan el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes para este patógeno de importancia agrícola.

## Material y métodos

Se realizó la colecta de plantas de fresa en el ejido Bachigualato en Culiacán, de la variedad Camino real en cuatro lotes (media hectárea por lote) que presentaban síntomas típicos de marchitez, retraso en el crecimiento y disminución en la producción. Se tomaron plantas completas, incluyendo hojas, raíces y muestras de suelo. El material vegetal fue trasladado al Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía para su procesamiento y diagnóstico. Cada fragmento de los tallos y raíces fue aislado en cajas Petri que contenían medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). La identificación morfológica de los aislamientos se realizó mediante la observación microscópica de los cultivos puros, utilizando las claves taxonómicas de Leslie y Sumerel (2006). Mediante un microscopio óptico se observaron las microconidias, macroconidias ( $n = 50$ ), número de septos, forma, disposición de las células conidiógenas, así como la presencia o ausencia de esporodoquios y clamidosporas. Para la medición de las estructuras fúngicas ( $n = 50$ ), se utilizó un microscopio óptico equipado con una cámara acoplada al software DinoCapture versión 2.0. La identificación molecular de los aislamientos se efectuó

mediante la amplificación de la región de TEF1- $\alpha$  (Factor de Elongación de la Traducción 1-alfa) y TEF 1/2, las cuales permiten confirmar la pertenencia a las especies de *Fusarium* (O'Donnell et al., 1998).

El producto del PCR fue secuenciado y se comparó con las bases de datos GenBank del NCBI (National Center for Biotechnology Information) y BLAST de *Fusarium* ID para confirmar su identidad y buscar similitud. Para la construcción de un árbol filogenético se utilizó el programa MEGA con el método Neighbor-Joining, con distancias calculadas mediante el modelo de Jukes y Cantor y un soporte de 1000 réplicas de *bootstrap*. Asimismo, la prueba de patogenicidad se llevó a cabo con plantas de fresa de la variedad Camino Real producidas bajo sistema hidropónico, cultivadas en recipientes de plástico de un litro con vermiculita estéril. Se inocularon diez plantas ( $n = 10$ ) mediante la aplicación de 20 mL de una suspensión conidial de *Fusarium oxysporum* ajustada a una concentración de  $1 \times 10^5$  UFC mL<sup>-1</sup>, obtenida a partir de esporas recolectadas de los asilamientos cultivados anteriormente en PDA utilizando 10 mL de una solución salina isotónica, la cual se aplicó al sustrato. Un grupo adicional de diez plantas se mantuvo como control negativo sin inocular. Todas las plantas se conservaron durante un periodo de 60 días bajo condiciones controladas de invernadero. Al finalizar el experimento, se realizó el aislamiento del patógeno a partir de los tejidos sintomáticos, seguido de su identificación mediante criterios morfológicos y análisis molecular, confirmando la identidad del organismo inoculado y cumpliéndose así los postulados de Koch. El experimento se realizó por duplicado.

## Resultados y discusión

Se observaron colonias características del género *Fusarium*, con crecimiento algodonoso, pigmentaciones blanco-rosadas y tonalidades violáceas (Figura 1a-b). Tras la purificación mediante cultivo monospórico, se obtuvieron colonias homogéneas que permitieron continuar con la caracterización morfológica y molecular. Los aislados mostraron estructuras reproductivas compatibles con *Fusarium* spp. En agar hoja de clavel (CLA) se observaron: macroconidias falcadas, de 3 a 5 septos,

microconidias ovaladas o elípticas, generalmente sin septos (Figura 1c). Las variaciones morfológicas registradas fueron concordantes con diferentes especies dentro del género *Fusarium*, lo que sugirió la coexistencia de varias especies en las muestras analizadas. Las características morfológicas fueron similares a las reportadas por Leslie y Sumerell (2006).

La amplificación de la región TEF-1 $\alpha$  generó fragmentos del tamaño esperado para especies de *Fusarium*. Las secuencias obtenidas mostraron una alta similitud (100 %) al compararse con la base de datos GenBank mediante BLAST y la herramienta Fusarium ID. Con base en estos resultados, los aislados fueron identificados como *Fusarium oxysporum*. Las secuencias se registraron con los números de acceso OR878540.1 y OR878539.1. El árbol filogenético construido en MEGA (Figura 2) permitió observar un agrupamiento claro de los aislados dentro de clados correspondientes a las especies identificadas molecularmente. Los aislamientos se agruparon estrechamente con secuencias de referencia de *F. oxysporum* depositadas en GenBank. Los resultados obtenidos muestran la presencia de *F. oxysporum* asociado a síntomas de marchitez en la región centro de Sinaloa. *Fusarium oxysporum* es uno de los patógenos reportados con mayor frecuencia en fresa y destaca por su capacidad de persistir en el suelo mediante la formación de clamidosporas, lo que complica su manejo y favorece la recurrencia de la enfermedad (Kosmidis y Denning, 2017; Summerell, 2019).

Este patógeno ha sido ampliamente relacionado con síntomas que incluyen clorosis foliar, marchitez progresiva, reducción del sistema radical, necrosis de raíces y pudrición de la corona, lo que deriva en una disminución considerable de la productividad y, en casos severos, en la muerte total de la planta. La incidencia y severidad de la pudrición de raíces causada por *F. oxysporum* están estrechamente relacionadas con factores ambientales y de manejo agronómico, tales como la temperatura, la humedad del suelo, el régimen de riego, el tipo de suelo y la susceptibilidad varietal. Estudios previos han demostrado que condiciones de alta humedad, temperaturas moderadas a cálidas y suelos con pobre drenaje favorecen la infección y el desarrollo del patógeno. Asimismo, la expansión de áreas productivas bajo monocultivo continuo y el uso intensivo del suelo han contribuido a la acumulación del inóculo y al au-

mento de la presión de la enfermedad (Williamcon et al., 2012; Silvestro et al., 2013; Koike et al., 2013; Li et al., 2014; Todorović et al., 2023).

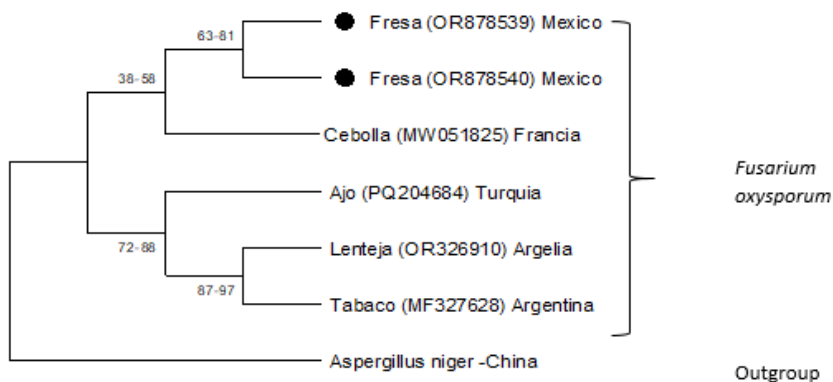
**Figura 1**

a-b) Crecimiento de la colonia de *Fusarium oxysporum* en PDA, c) Macroconidias ( $50\ \mu\text{m bar}$ ), d-e) pudrición de planta y raíz de fresa causado por *F. oxysporum*, f) planta de fresa sana (control negativo).



**Figura 2**

Árbol filogenético inferido por Neighbor Joining para secuencias parciales de EF-1 $\alpha$  de especies de *Fusarium oxysporum* obtenidos en este estudio (bolita negra), y secuencias de referencia de GenBank (cepa entre paréntesis) Los valores en los nodos representan el soporte de bootstrap basado en 1000 réplicas. Las secuencias OR878539 y OR878540 provienen de este estudio.



## Conclusiones

Se identificó morfológica, molecularmente y mediante análisis filogenético a *Fusarium oxysporum*, causante de la pudrición de raíces en fresa en el Valle de Culiacán. La combinación de métodos morfológicos, moleculares y filogenéticos permitió una identificación precisa y confiable de los aislados. Estos resultados representan el primer registro detallado para la zona centro de Sinaloa y constituyen la base científica para el desarrollo de estrategias de manejo y control dirigidas a disminuir el impacto de esta enfermedad en la producción de fresa.

## Referencias

Hassan, O. y Chang, T. (2022). Morphological and molecular characteristics of fungal species associated with crown rot of strawberry in South Korea. *Molecular Biology Reports*, 49(1), 51-62. DOI: 10.1007/s11033-021-06841-9

- Koike S. T., Gordon T. R., Daugovish O., Ajwa H., Bolda M. y Subbarao K. (2013). Recent developments on strawberry plant collapse problems in California caused by *Fusarium* and *Macrophomina*. *International Journal of Fruit Science*, 13(1-2), 76-83. DOI: 10.1080/15538362.2012.697000
- Kosmidis, C. y Denning D. W. (2017). Opportunistic and systemic fungi. In: *Infectious diseases*, Elsevier, pp. 1681-1709. DOI: 10.1016/B978-0-7020-6285-8.00189-1
- Leslie J. F. y Summerell B. A. (2006). *Manual de laboratorio de Fusarium*. John Wiley & Sons. 416 p. ISBN: 0470276460.
- Li Y., Mao L., Yan D., Ma T., Shen J., Guo M., Cao, A. (2014). Quantification of *Fusarium oxysporum* in fumigated soils by a newly developed real-time PCR assay to assess the efficacy of fumigants for *Fusarium* wilt disease in strawberry plants. *Pest management science*, 70(11), 1669-1675. DOI: 10.1002/ps.3700.
- Liu A., Jing Y., Li, X., Shi X., Mu W., Li B. y Liu F. (2025). Root rot of strawberry caused by *Fusarium citri* in China and use of *Streptomyces rhizosphaericus* as a biological control. *Biological Control*, 105872. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2025.105872
- Mariscal-Amaro L. A., Rivera-Yerena, A., Dávalos-González, P. A., y Ávila-Martínez, D. (2017). Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 51(6): 673-681.
- Payán-Arzapalo M. A., López-Cuén P. I., Vega-Gutiérrez T. A., Molina-Cárdenas L., López-Orona C. A., Valenzuela-Tirado, G. A. y Tirado-Ramírez M. A. (2024). First report of *Fusarium falciforme* causing root rot and wilt on strawberry in Sinaloa, Mexico. *Plant Disease*, 108(7), 2223. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0343-PDN ISSN:0191-2917
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). (2023). Panorama Agroalimentario 2023 Edición, 2023.
- Silvestro L. B., Stenglein S. A., Forján H., Dinolfo M. I., Arambarri A. M., Manso L. y Moreno M. V. (2013). Occurrence and distribution of soil *Fusarium* species under wheat crop in zero tillage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11. ISSN: 1695-971-X. DOI: 10.5424/2013111-3081.

- Summerell, B. A. (2019). Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. *Annu. Rev. Phytopathol.* 57, 323–339. DOI: 10.1146/annu-rev-phyto-082718-100204
- Todorović I., Moëgne-Loccoz Y., Raičević V., Jovičić-Petrović J. y Muller D. (2023). Microbial diversity in soils suppressive to *Fusarium* diseases. *Frontiers in plant science*, 14, 1228749. DOI: 10.3389/fpls.2023.1228749
- Williamson M., Fernández-Ortuño D. y Schnabel G. (2012). First report of *Fusarium* wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum* in South Carolina. *Plant Disease*, 96(6), 911-911. ISSN:0191-2917. DOI: 10.1094/PDIS-02-12-0164-PDN.
- Zhang Y., Song M., Zhu S. y Si Y. (2025). Comprehensive analysis of *Fusarium* spp. associated with red stele root rot of strawberry (*Fragaria ananassa*) in northern Zhejiang, China. *Biological Control*, 105876. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2025.105876

**Evaluación del biochar en suelos arenosos  
y su efecto en el cultivo semihidroponico  
de albahaca (*ocimum basilicum*)**

*Raúl Alejandro Ortiz Lizárraga*<sup>21</sup>

*Ricardo Salomón Torres*<sup>22</sup>

*Yohandri Ruisanchez Ortega*<sup>23</sup>

*Laura Samaniego Sandoval*<sup>24</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>25</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000220>



---

<sup>21</sup> Universidad Estatal de Sonora, Km. 6.5 Carretera San Luis Río Colorado - Sonoyta, [raulizarr@gmail.com](mailto:raulizarr@gmail.com).

<sup>22</sup> Universidad Estatal de Sonora, Km. 6.5 Carretera San Luis Río Colorado - Sonoyta.

<sup>23</sup> Universidad Estatal de Sonora, Km. 6.5 Carretera San Luis Río Colorado - Sonoyta.

<sup>24</sup> Universidad Estatal de Sonora, Km. 6.5 Carretera San Luis Río Colorado - Sonoyta.

<sup>25</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas UABC, Carretera a Delta Ejido Nuevo León, Baja California.

## Resumen

La incorporación de biochar (BC) en suelos áridos constituye una estrategia para optimizar propiedades físicas y químicas, favoreciendo la eficiencia en el uso del agua en ambientes desérticos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del BC sobre arena proveniente del desierto de Altar, mediante la caracterización de parámetros físicos (retención de agua, estabilidad de agregados, porosidad y tensión matricial) y químicos (CIC, CE y pH). Las determinaciones de retención de agua, estabilidad de agregados, porosidad y CIC se realizaron en un laboratorio especializado externo, mientras que las mediciones de CE y pH se efectuaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal de Sonora. Posteriormente, se aplicaron análisis estadísticos para cuantificar la variación inducida por el BC en los tratamientos: T0 = 0 t ha<sup>-1</sup>, T1 = 20 t ha<sup>-1</sup>, T2 = 40 t ha<sup>-1</sup> y T3 = 60 t ha<sup>-1</sup>. Adicionalmente, se analizó la correlación entre la incorporación de BC y la productividad vegetal. Para ello, se estableció un sistema hidropónico experimental con el fin de evaluar el impacto del suelo enriquecido con BC sobre el crecimiento y rendimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

## Introducción

El biochar (BC) es un material carbonoso obtenido a partir de residuos vegetales o animales sometidos a procesos de pirólisis, en los cuales la materia orgánica se descompone mediante calentamiento en condiciones anaerobias (Britannica, 2025). Las propiedades fisicoquímicas del BC dependen principalmente del tipo de biomasa utilizada y de las condiciones de producción (Han et al., 2013; Ronsse et al., 2013).

En agricultura, el BC se emplea como enmienda del suelo, ya que puede incrementar la disponibilidad de nutrientes y mejorar las condi-

ciones edáficas (Clough, 2010). La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad del biochar pulverizado de mezquite como mejorador de suelos arenosos en San Luis Río Colorado, Sonora. Se pretende determinar el grado de influencia y las proporciones óptimas de BC sobre las propiedades físicas del suelo, particularmente aquellas relacionadas con la capacidad de retención de agua.

Asimismo, se busca establecer la correlación entre las modificaciones edáficas inducidas por el BC y su efecto sobre el desarrollo de un cultivo, en este caso albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Cabe destacar que en la región agrícola donde se desarrolla este estudio no existen antecedentes que relacionen el uso de BC como mejorador de sustratos.

### **Antecedentes del uso de biochar como mejorador de suelos**

El interés por el BC como enmienda edáfica se intensificó tras el descubrimiento de suelos amazónicos con alto contenido de carbono de origen antropogénico, conocidos como terra preta de índio, los cuales presentan elevada fertilidad y productividad agrícola (Levy y Mamedov, 2002). Desde entonces, múltiples investigaciones han documentado los efectos del BC sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Entre los beneficios más relevantes se encuentra la mejora en la retención de agua, atribuida a dos mecanismos: efecto directo, relacionado con la alta superficie específica y la abundancia de poros residuales que favorecen la retención capilar; y efecto indirecto, asociado a la mejora en la agregación y estructura del suelo, lo que incrementa su capacidad de almacenamiento hídrico (Batista et al., 2018).

Debido a estas características, se han realizado numerosos estudios en suelos arenosos (arenosoles) para incrementar su eficiencia en la producción agrícola. Los resultados reportan incrementos significativos en el rendimiento de diversos cultivos: 150 % en maíz (Uzoma et al., 2011), 96 % en rábano (Chan et al., 2008) y 64 % en tomate cherry (Hossain et al., 2010).

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de los campos experimentales de la carrera de Ingeniería en Horticultura de la Universidad Estatal de Sonora (UES), Unidad Académica San Luis Río Colorado (32.458382764250175, -114.70443764071534). Las condiciones climáticas de la región corresponden a la clasificación BWh del sistema Köppen, lo que indica un clima desértico cálido, con temperatura media anual superior a 18 °C y precipitación anual menor a 250 mm.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y diez repeticiones, los cuales consistieron en: T0 = 0 t ha<sup>-1</sup>, T1 = 20 t ha<sup>-1</sup>, T2 = 40 t ha<sup>-1</sup> y T3 = 60 t ha<sup>-1</sup>. Las unidades experimentales se dispusieron en dos hileras lineales, cada una conformada por 20 bolsas de cultivo de 30 L. Cada bolsa representó una unidad experimental independiente. La asignación de los tratamientos se realizó en bloques de cinco bolsas consecutivas por tratamiento, garantizando una distribución homogénea y controlada dentro del invernadero. Sobre las bolsas se estableció el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*), variedad hoja ancha.

### Preparación de las bolsas

Se procedió inicialmente con la recolección de arena clasificada como Arenosol, acumulada en el muro ubicado en la esquina sureste de la Unidad Académica, donde, tras años sin perturbación ni contaminación, se formó una duna natural (coordenadas: 32.455759085815224, -114.70906992170373).

La arena recolectada se colocó en bolsas de cultivo elaboradas con fieltro de poliuretano, con el propósito de establecer la proporción de llenado adecuada y facilitar su traslado al invernadero. Una vez en el invernadero, el contenido de cada bolsa se vació en una carretilla, donde se incorporó la dosis correspondiente de biochar pulverizado equivalente a 20, 40 y 60 t ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, se mezcló cuidadosamente hasta obtener una textura homogénea. Finalmente, la mezcla preparada se devolvió a las bolsas de fieltro y se dispuso en su posición definitiva dentro del área experimental.

Una vez preparadas las bolsas con el sustrato, se procedió a la instalación del sistema de riego. Este consistió en dos líneas principales de manguera de poliuretano de 20 mm de diámetro, perforadas cada 60 cm para la colocación de goteros con capacidad de descarga de 8 L h<sup>-1</sup>. A cada gotero se acopló una manguera secundaria de poliuretano de 3 mm, en cuyo extremo se insertó un gotero tipo aguja. Dicho gotero se introdujo directamente en el sustrato de cada bolsa, permitiendo la irrigación localizada de las unidades experimentales.

### **Producción de la plántula**

Las plántulas se produjeron en charolas germinadoras utilizando un sustrato compuesto por peat moss, vermiculita y perlita en proporciones homogéneas. En cada cavidad de 22 mm × 22 mm se sembraron dos semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Una vez preparado el sustrato experimental y el sistema de riego, el 27 de noviembre de 2025 se realizó el trasplante, colocando una plántula en el centro de cada bolsa de cultivo. Cada unidad experimental se irrigó mediante un gotero individual, cuya posición se rotó semanalmente para garantizar una distribución uniforme del agua en el sustrato.

### **Indicadores de fertilidad del suelo**

El análisis de las características de fertilidad del suelo se realizó mediante la recolección de muestras únicas por tratamiento. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos del Centro de Capacitación, Investigación e Innovación Agropecuaria y Agroalimentaria (C.C.I.I.A.A.), donde se efectuó un estudio integral de fertilidad. El análisis incluyó la determinación de los siguientes parámetros: pH, contenido de materia orgánica, concentración de nitrógeno inorgánico, fósforo disponible, potasio asimilable y contenido de boro. El muestreo y análisis se realizaron cada cuatro meses, con el objetivo de generar una base de datos robusta que permitiera evaluar la evolución de las propiedades químicas del suelo a lo largo del tiempo.

## **Indicadores medidos sobre la bolsa semihidroponia**

Con el objetivo de monitorear los posibles cambios en las condiciones del sustrato, se realizaron mediciones diarias durante el periodo comprendido entre marzo y junio en la totalidad de las unidades experimentales (40 bolsas). Para ello se empleó una sonda multiparamétrica para suelos (marca Zunate), la cual permitió determinar los siguientes parámetros: pH, contenido de humedad (%) y conductividad eléctrica (CE) expresada en decisiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

Se realizó un monitoreo diario de la tensión matricial del sustrato mediante cuatro sondas WATERMARK (PN: 200SS) instaladas de forma permanente en unidades representativas de cada tratamiento. Las lecturas se obtuvieron utilizando un medidor digital WATERMARK, el cual reporta los valores en centibares (cb) y kilopascales (kPa). Los datos registrados se organizaron en tablas para su posterior análisis y representación gráfica, con el fin de evaluar de manera longitudinal los efectos del biochar sobre la dinámica hídrica del sustrato.

## **Resultados esperados**

Con base en la bibliografía consultada, se anticipan los siguientes resultados. De acuerdo con el estudio de Al-Mishyikh (2023), se espera que la incorporación de biochar incremente significativamente la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el sustrato, debido a su elevada capacidad para adsorber y retener nutrientes.

Asimismo, en concordancia con los hallazgos de Baiamonte et al. (2019), se prevé una mejora sustancial en las propiedades físicas del suelo, particularmente en la estabilidad de agregados, porosidad, retención de humedad y agua disponible para la planta.

En función de estos antecedentes, se considera que se cumplirá la hipótesis planteada en esta investigación, demostrando que la adición de biochar al suelo arenoso lo convierte en un sustrato más eficiente y viable para la producción de hortalizas.

## Referencias

- 1Al-Mishyikh, S. H., & Jarallah, A. K. (2023). Effect of Biochar and Bentonite Application in Availability and Uptake of N, P and K for Faba Bean in Desert Soil. *Iraqi Journal of Desert Studies*, 13(1).
- Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F., & De Pasquale, C. (2019). Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175, 294-303.
- Batista, E.M.C.C., Shultz, J., Matos, T.T.S. et al. (2018). Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome. *Sci Rep* 8, 10677. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28794-z>
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Han, Y., Boateng, A. A., Qi, P. X., Lima, I. M., & Chang, J. (2013). Heavy metal and phenol adsorptive properties of biochars from pyrolyzed switchgrass and woody biomass in correlation with surface properties. *Journal of Environmental Management*, 118, 196–204.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., & Nelson, P. F. (2010). Agromonic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78(9), 1167-1171.
- Levy, G. J., & Mamedov, A. I. (2002). High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. *Soil Science Society of America Journal*, 66(5), 1603-1609.
- 1Ronsse, F., van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Global Change Biology Bioenergy*, 5(2), 104–115.
- Clough, T. J., Condron, L. M. (2010). Biochar and the nitrogen cycle: introduction. *J. Environ. Qual.* 39, 1218–1223, <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0204>.
12. Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). *Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition*. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2884747>



# Capítulo 5

---

## Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc para aplicada agrícolas

*Alexahandra Judith Valenzuela Rubio*<sup>26</sup>

*Ricardo Torres Ramos*<sup>27</sup>

*Aurelia Mendoza Gómez*<sup>28</sup>

*Mary Triny Beleño Cabañas*<sup>29</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000237>



---

<sup>26</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México.

<sup>27</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México, [ricardo.torres26@uabc.edu.mx](mailto:ricardo.torres26@uabc.edu.mx).

<sup>28</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México.

<sup>29</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México.

## Resumen

La nanotecnología aplicada a la agricultura representa una estrategia prometedora para enfrentar el estrés abiótico, especialmente la salinidad, que limita el desarrollo y la productividad de los cultivos. En ese estudio se sintetizaron partículas de óxido de zinc (ZnO), mediante el método químico de precipitación, utilizando sulfato de zinc e hidróxido de sodio como precursores, seguido de procesos de secado y calcinación. La caracterización fisicoquímica se realizó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y microscopia electrónica de barrido (SEM). El análisis de FTR confirmó la formación de ZnO cristalino, evidenciado por la presencia de la banda característica del enlace Zn-O y la ausencia de señales asociadas a compuestos orgánicos residuales, lo que indica una alta pureza del material obtenido. La micrografía reveló una morfología granular e irregular con aglomeración micrométrica, formada por nanopartículas primarias y superficies porosas. Estas características se asocian a la elevada energía superficial del ZnO y a la ausencia de agentes estabilizantes durante la síntesis. En conjunto, los resultados sugieren que las Zn-NPs obtenidas representan propiedades adecuadas para su aplicación en sistemas agrícolas, particularmente la mitigación de los efectos del estrés salino en plantas.

## Introducción

En los últimos años, la incorporación de la nanotecnología en los sistemas agrícolas se ha posicionado como una estrategia innovadora para enfrentar problemas asociados al estrés abiótico, particularmente la salinidad, la cual limita de manera considerable el desarrollo y la productividad de numerosos cultivos. En este contexto, el uso de nanopartículas representa una alternativa emergente para fortalecer la sostenibilidad agrícola, ya que su aplicación permite mejorar la eficiencia nutrimental, aumentar

la tolerancia de las plantas frente a condiciones adversas y reducir la dependencia de agroquímicos convencionales que deterioran la calidad del suelo (Meng et al., 2025).

Entre las nanopartículas más estudiadas destacan las de óxido de zinc, cuyo desempeño ha sido ampliamente documentado debido a su capacidad para influir positivamente en diversos procesos fisiológicos de las plantas. De acuerdo con Dogan et al. (2025), las nanopartículas de óxido de zinc presentan elevada estabilidad, biodisponibilidad y comportamiento catalítico, lo que favorece rutas bioquímicas esenciales como la síntesis de fitohormonas, la activación de enzimas clave, la regulación del metabolismo del nitrógeno y la preservación de la integridad de las membranas celulares. Su reducido tamaño facilita, además, su ingreso a través de estomas y poros foliares, lo que mejora su movilidad interna y potencia funciones fisiológicas fundamentales, especialmente bajo condiciones de estrés salino.

La aplicación de nanopartículas de óxido de zinc en plantas sometidas a estrés salino ha mostrado efectos positivos relacionados con la mejora de la actividad antioxidante, la estabilidad de las membranas celulares y la eficiencia fotosintética. Estos beneficios se atribuyen a que el zinc, en su forma nanoestructurada, presenta una mayor disponibilidad, lo que favorece procesos metabólicos esenciales y la síntesis de proteínas asociadas a la respuesta frente a especies reactivas de oxígeno. Asimismo, las nanopartículas no solo actúan como una fuente eficiente de zinc, sino que también exhiben interacciones químicas directas con nutrientes clave, mejorando su retención, movilidad y aprovechamiento dentro de los sistemas agrícolas. Esto permite un suministro nutrimental más eficiente bajo condiciones adversas como la salinidad, apoyando la recuperación del crecimiento vegetal y reduciendo los daños fisiológicos asociados al exceso de sales (Li et al., 2025).

La presente investigación tiene como objetivo analizar el proceso de síntesis de nanopartículas de óxido de zinc mediante el método químico de precipitación y evaluar su potencial aplicación en sistemas agrícolas para la mitigación de los efectos del estrés salino (Li et al., 2025).

## Materiales

La síntesis de nanopartículas de óxido de zinc se llevó a cabo mediante el método de precipitación química, utilizando como precursor una solución de sulfato de zinc a una concentración de 0.5 M y como agente precipitante una solución de hidróxido de sodio a 1.0 M. Ambas soluciones se prepararon con agua destilada y se mantuvieron bajo agitación constante a temperatura ambiente. La solución de hidróxido de sodio se adicionó de manera gradual a la solución de sulfato de zinc hasta alcanzar un pH de 14, lo que favoreció la formación de un precipitado blanco correspondiente al hidróxido de zinc. El sistema se mantuvo en agitación durante cinco minutos adicionales con el fin de asegurar la completa reacción y la homogeneidad del precipitado. Posteriormente, el sólido obtenido se separó por decantación y se lavó sucesivamente con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. El material resultante se sometió a un proceso de secado en estufa a 80 °C durante 24 horas para eliminar la humedad residual. Una vez seco, el sólido fue calcinado en una mufla a 440 °C durante dos horas, promoviendo la transformación del hidróxido de zinc en óxido de zinc cristalino. Finalmente, las nanopartículas obtenidas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron en recipientes herméticos para su posterior caracterización fisicoquímica y evaluación.

La caracterización fisicoquímica incluye análisis FTIR para verificar los grupos funcionales o tipos de enlaces presentes en el precipitado. También, se realizó un análisis de microscopia utilizando un microscopio electrónico de barrido.

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, mostrados en la Figura 1, confirman la formación exitosa de nanopartículas de óxido de zinc sintetizadas mediante el método de precipitación química. La presencia de una banda característica alrededor de 510  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye a las vibraciones de estiramiento del enlace Zn–O, lo cual es indicativo de la formación del óxido metálico. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Chauhan y Bithel

(2025), quienes identificaron señales similares en el intervalo de 561-620  $\text{cm}^{-1}$  para nanopartículas de ZnO, independientemente de la ruta de síntesis empleada. Asimismo, diversos estudios previos sobre ZnO obtenido por métodos químicos de precipitación señalan que la aparición de bandas en la región de baja frecuencia del espectro infrarrojo constituye un indicador confiable de la cristalización del ZnO tras procesos adecuados de secado y calcinación controlada.

En contraste con los sistemas de síntesis verde reportados por Chauhan y Bithel (2025), en los que se observan bandas intensas en el rango de 3000-3500  $\text{cm}^{-1}$  asociadas a grupos hidroxilo, amidas y compuestos fenólicos provenientes de extractos vegetales, el espectro FT-IR obtenido en este estudio no presenta picos significativos en dicha región. Esta ausencia sugiere una eliminación eficiente de residuos orgánicos y agentes precipitantes durante las etapas de lavado, secado y calcinación. Lo anterior coincide con lo reportado por otros autores para nanopartículas de óxido de zinc obtenidas mediante métodos químicos de precipitación y calcinadas a temperaturas superiores a 400 °C, condiciones que favorecen la obtención de materiales con mayor pureza superficial y mínima interferencia orgánica (Qu. et al., 2025).

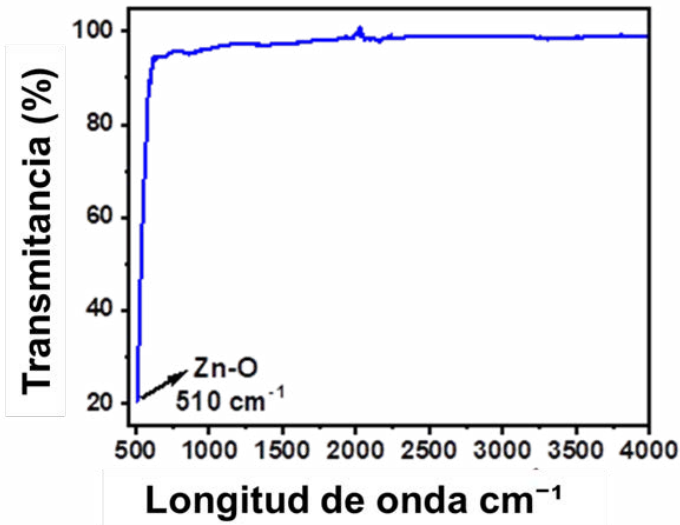
Desde un punto de vista comparativo, Mim et al. (2025) señalan que la presencia de grupos funcionales residuales en las nanopartículas de óxido de zinc sintetizadas mediante rutas verdes puede contribuir a su estabilización coloidal; sin embargo, también puede modificar la química superficial del material. En este sentido, los resultados del presente estudio indican que el método químico empleado favorece la obtención de nanopartículas de óxido de zinc con una superficie predominantemente inorgánica, característica que puede resultar ventajosa para aplicaciones agrícolas, donde se busca una liberación controlada de  $\text{Zn}^{2+}$  y una interacción directa con los tejidos vegetales sin interferencias de compuestos orgánicos externos.

En conjunto, la concordancia entre la banda característica Zn-O observada en el espectro FT-IR y la ausencia de señales orgánicas intensas respalda la efectividad del método de precipitación química y del tratamiento térmico aplicado para la obtención de nanopartículas de óxido de zinc con alta pureza estructural. Estos resultados se encuentran en

línea con lo reportado en estudios previos sobre ZnO-NPs destinadas a aplicaciones tecnológicas y agroambientales.

**Figura 1**

*Espectro FT-IR de NPs ZnO obtenidas por precipitación.*



La micrografía mostrada en la Figura 2 reveló una morfología granular e irregular, con partículas micrométricas formadas por la aglomeración de nanopartículas primarias y una distribución heterogénea de tamaños. Este comportamiento es característico de partículas de óxido de zinc sintetizadas mediante métodos de precipitación química y sometidas a procesos de secado y calcinación, donde la elevada energía superficial del ZnO favorece la atracción interparticular y la formación de agregados compactos. Resultados similares fueron reportados por Mohan y Renugadevi (2016), quienes observaron una marcada aglomeración en ZnO-NPs obtenidas sin el uso de agentes estabilizantes, atribuyendo este fenómeno a la acción de fuerzas físicas débiles y a la sinterización parcial inducida por el tratamiento térmico.

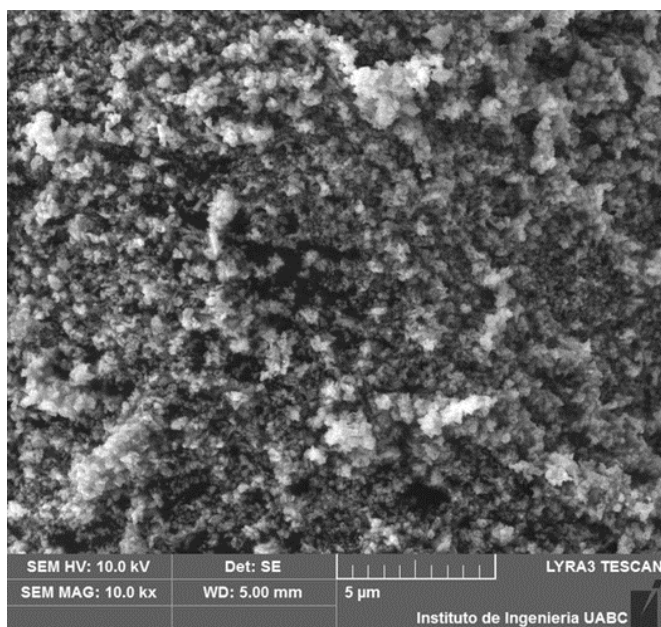
De manera comparable, Hussain et al. (2025) describieron morfologías irregulares, aglomeradas y superficies rugosas en ZnO-NPs sintetizadas

mediante rutas verdes, asociadas a la elevada energía superficial del material y a las interacciones interparticulares durante los procesos de nucleación y crecimiento. En este sentido, la ausencia de agentes estabilizantes durante la síntesis favorece la formación de agregados, sin que ello limite necesariamente su funcionalidad.

Desde una perspectiva aplicada, la presencia de superficies rugosas y agregados compactos puede considerarse favorable para aplicaciones agrícolas, ya que incrementa el área superficial efectiva y puede facilitar la liberación gradual de iones  $Zn^{2+}$ , así como una mayor interacción con los sistemas biológicos. Este comportamiento ha sido previamente señalado para ZnO-NPs con morfologías similares en estudios orientados a aplicaciones agroambientales.

### Figura 1

Imágenes SEM de nanopartículas de ZnO.



## Conclusión

La síntesis de las partículas de óxido de zinc por precipitación química permitió obtener un material con propiedades físico-químicas adecuadas para su potencial aplicación agrícola. La caracterización por FT-IR confirmó la formación de Zn o cristalino y una alta pureza del material, mientras que el análisis evidenció una morfología granular e irregular con aglomeraciones, micrométrica y superficies rugosas, atribuibles a la elevada energía superficial del ZnO y a la ausencia de agentes estabilizantes. En conjunto, estas características respaldan el potencial de las ZnO-NPs como una alternativa prometedora para la mitigación del estrés salino en plantas y para futuras evaluaciones biológicas en sistemas agrícolas.

## Referencias

- Meng, Y., Feng, Y., Bai, X., Yu, Q., Zhou, J., & Wang, J. (2025). Application of nanotechnology in agricultural sustainability: Absorption, translocation, and challenges of nanoparticles. *Current Plant Biology*, 100492.
- Dogan, Y., Alam, P., Sultan, H., Sharma, R., Soysal, S., Baran, M. F., & Faizan, M. (2025). Zinc oxide nanoparticles for sustainable agriculture: A tool to combat salinity stress in rice (*Oryza sativa*) by modulating the nutritional profile and redox homeostasis mechanisms. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101598.
- Li, M., Zhao, X., Cheng, Y., Wu, M., Dong, C., Xiang, H., ... & Yu, B. (2025). Zinc oxide nanoparticles coupled biochar-based slow-release fertilizer for enhanced nutrient efficiency and sustainable agriculture. *Industrial Crops and Products*, 232, 121265.
- Chauhan, C., & Bithel, N. (2025). Phytogenic Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Lepidium sativum* Leaf Extract: Evaluation of Antibacterial and Cytotoxic Properties. *Next Research*, 100860.
- Noei, H., Wöll, C., Muhler, M., & Wang, Y. (2011). The interaction of carbon monoxide with clean and surface-modified zinc oxide nanoparticles: A UHV-FTIRS study. *Applied Catalysis A: General*, 391(1-2), 31-35.

- Mim, J. J., Sarker, M. A. H., Rahman, S. M., Hasan, M. J., Alom, M. S., Islam, S., & Hossain, N. (2025). Green Synthesis, Characterization, and in Vitro Biomedical Applications of Diospyros blancoi Synthesized Copper and Zinc Oxide Nanoparticles. *Results in Surfaces and Interfaces*, 100656.
- Sharmila, S., Shandhiya, M., Riyas, Z. M., Saranya, A., Muthu, S. E., Muthusami, S., ... & Faiyazuddin, M. (2025). From waste to value through sustainable synthesis of zinc oxide and nickel oxide Nanoparticles using Selenicereus undatus Peel extract: Anticancer activity against pancreatic Cancer cell line (PANC-1). *Results in Chemistry*, 102900.
- Mohan, A. C., & Renjanadevi, B. J. P. T. (2016). Preparation of zinc oxide nanoparticles and its characterization using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). *Procedia Technology*, 24, 761-766.
- Mohammed, F. S., Uysal, I., Sevindik, E., & Sevindik, M. S. (2023). Genus ocimum in terms of mineral, nutrient, chemical contents and biological activity. *Journal Of Microbiology Biotechnology And Food Sciences*, e9781. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9781>
- Qu, B., Xiao, Z., & Luo, Y. (2025). Sustainable nanotechnology for food preservation: Synthesis, mechanisms, and applications of zinc oxide nanoparticles. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101743.



## **El pixoy (*guazuma ulmifolia lam.*) como suplemento en la alimentación de pollos para engorda (*gallus gallus domesticus*)**

Vicente Rafael Ascencio Huicab<sup>30</sup>

Edith González Lazo<sup>31</sup>

Judith Ruiz Hernández<sup>32</sup>

Adib Antonio Olvera Yabur

Benito Bernardo Dzib Castillo<sup>33</sup>

Maximiliano Vanoye Eligio<sup>34</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000244>



---

<sup>30</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

<sup>31</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México, [lazoedith02@gmail.com](mailto:lazoedith02@gmail.com).

<sup>32</sup> Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. Av. Ing. Humberto Lanz Cárdenas S/N Col. Ex-Hacienda Kalá. CP 24085, Campeche, México.

<sup>33</sup> Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche. Av. Ing. Humberto Lanz Cárdenas S/N Col. Ex-Hacienda Kalá. CP 24085, Campeche, México.

<sup>34</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

## Resumen

El árbol de pixoy (*Guazuma ulmifolia Lam*) tiene su origen en América tropical, incluido México, y algunas regiones tropicales de Sudamérica, de la cual se ha demostrado que su ingesta brinda efectos positivos en la digestibilidad y el balance de nitrógeno como suplemento alimenticio para el ganado. Por tal motivo, el presente estudio evaluó el uso de esta especie como suplemento alimenticio en pollos de engorda (*Gallus gallus domesticus*) como alternativa local para reducir los costos de alimentación en la avicultura en México. La investigación se realizó en el Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. El experimento se estableció con 64 pollos en un periodo de 56 días, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Se aplicaron cuatro tratamientos (10, 20 y 30 % de harina de hoja de pixoy) mezclada con alimento comercial, y un testigo (100 % de alimento comercial), teniendo como parámetros el registro semanal del peso corporal y el consumo de alimento, además de realizar análisis bromatológicos para determinar el contenido de fibra, grasa y proteína de las dietas. Los resultados indicaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0001$ ) en la ganancia de peso, siendo el tratamiento (control) con los valores más altos, aunque los tratamientos con pixoy no difirieron entre sí, se observó una reducción progresiva del crecimiento conforme al aumento de la inclusión, atribuida al mayor contenido de fibra y una menor digestibilidad de los nutrientes. En conclusión, el pixoy puede utilizarse como suplemento alternativo en pollos de engorda, siempre que se maneje con niveles de inclusión moderada.

## Introducción

En México, la avicultura ha consolidado un protagonismo indispensable, aportando en 2008 el 46.7 % de la carne en canal y superando los 2.5 millones de toneladas. Este auge responde a las preferencias

de la población por fuentes proteicas económicas y de valor nutricional (SIACON, 2024). A la par del crecimiento urbano y demográfico, la industria se ha tecnificado para satisfacer la creciente demanda de alimentos inocuos y de alta calidad (Dottavio y Di Masso, 2010; Luiselli-Fernández, 2020). De hecho, el consumo de carne ha aumentado drásticamente, pasando de 41.3 kg per cápita en 1993 a 65 kg en 2021, lo que ubica a México como el cuarto consumidor mundial de pollo, con una ingesta que en 2023 alcanzó casi 4.9 millones de toneladas (Salazar-Castillo, 2024).

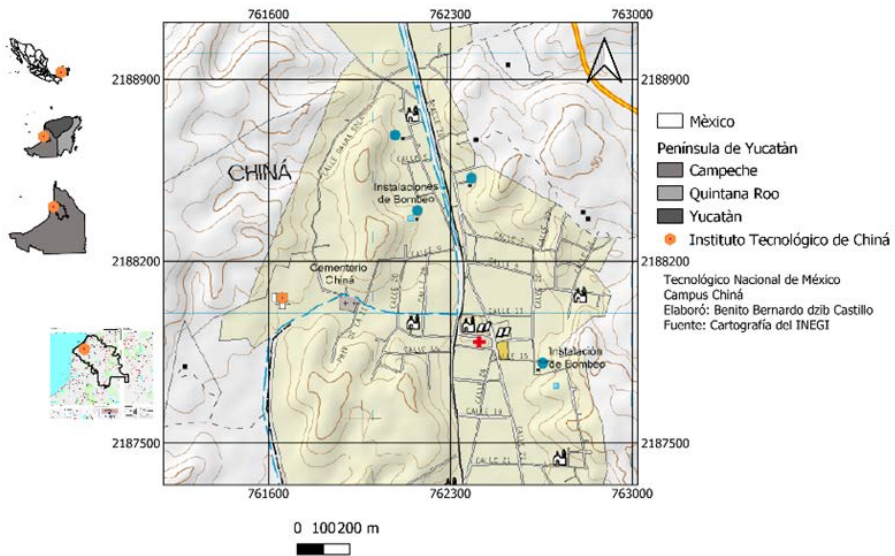
Sin embargo, la rentabilidad de esta actividad, especialmente para pequeños productores, se ve amenazada por los costos de alimentación, que representan cerca del 70 % del gasto total (Orozco-Campos et al., 2004). Los altos precios de los alimentos comerciales obligan a buscar alternativas locales para reducir la dependencia económica (Medina-Cardeña et al., 2012). Entre opciones como insectos o pastoreo (Moreno, 2021), destaca el uso de follajes ricos en proteínas como el pixoy (*G. ulmifolia*). Esta especie nativa resistente a sequías y adaptable a diversos suelos (Orwa et al., 2009) es valorada en sistemas silvopastoriles por sus propiedades alimenticias (Medina-Litardo et al., 2020) y su aporte de 13 a 17 % de proteína en sus hojas (Hernández-Morales et al., 2018). Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la molienda de hoja de pixoy, su aceptación y la ganancia de peso en pollos de engorde al utilizarla como sustituto de fuentes proteicas tradicionales.

## Materiales y métodos

### Localización

#### Figura 1

Ubicación del sitio de experimentación en el Tecnológico Nacional de México Campus Chiná, Campeche, Campeche, México.



El experimento se realizó en las áreas experimentales del Instituto Tecnológico de Chiná, perteneciente al Tecnológico Nacional de México (Figura 1).

### Diseño experimental

Durante un periodo experimental de 56 días, el estudio se llevó a cabo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con el fin de controlar las variables de los tratamientos. Se realizaron cuatro repeticiones y cada unidad experimental estuvo integrada por cuatro individuos, lo que resultó en 16 individuos por tratamiento y un número total de 64 ejemplares por todo el experimento (Cuadro 1). De igual manera, se emplearon 16 corrales de malla metálica (70 x 80 cm) como unidades

experimentales. Cada corral albergó a 4 individuos y contó con suministro de alimento y agua mediante un comedero y bebedero por unidad.

Los 64 ejemplares de pollos de engorda (*Gallus gallus domesticus*), con dos días de nacimiento, se alojaron para la etapa inicial en un corral con cama de viruta de madera. Se adaptaron en un periodo de siete días que consistió en proporcionarles bajas cantidades de molienda de hoja de pixoy en el alimento de los pollos. Pasado este tiempo, cada grupo se aleatorizó en cada uno de los cuatro tratamientos (Cuadro 1). Se llevaron a cabo dos fases de alimentación: la etapa inicial, que constó de 27 días, y la etapa de engorde, que constó de 29 días.

Las hojas de pixoy (*Guazuma ulmifolia*) fueron recolectadas en áreas previamente identificadas, las cuales fueron cortadas, separadas y deshidratadas en un invernadero con exposición solar durante 4 a 5 días. Posteriormente, se realizó una limpieza manual para eliminar impurezas y el material seco se procesó en un molino eléctrico pulverizador durante 2 minutos, obteniendo así una harina apta para ser mezclada en las proporciones establecidas (Cuadro 1).

### Cuadro 1

*Esquema de los diferentes tratamientos de alimentación aplicados a pollos de engorda (*Gallus gallus domesticus*).*

Tratamientos	Repeticiones	Individuos/ repetición	Individuos/ Tratamiento
T1 (10 % de molienda de pixoi + 90 % de alimento comercial)	4	4	16
T2 (20 % de molienda de pixoi + 80 % de alimento comercial)	4	4	16
T3 (30 % de molienda de pixoi + 70 % de alimento comercial)	4	4	16
T (100 % alimento comercial)	4	4	16

El monitoreo del crecimiento se realizó con una frecuencia semanal (cada 7 días). Las variables medidas fueron el peso de la totalidad de las aves de cada tratamiento para registrar la ganancia de peso acumulada a lo largo del periodo experimental. La ración alimenticia se ajustó tomando como referencia los estándares de consumo y peso establecidos en la

guía de manejo del Pollo de engorde ROSS 308/308 FF para mixtos. Diariamente se registró el peso del alimento ofrecido y el remanente (rechazo) por tratamiento, con el fin de determinar el consumo voluntario real. La ración se ajustó de acuerdo con los requerimientos de la etapa productiva. De manera simultánea, se realizó la limpieza y llenado de los bebederos para garantizar la disponibilidad de agua durante todo el periodo experimental.

### **Análisis bromatológicos de las hojas de pixoy**

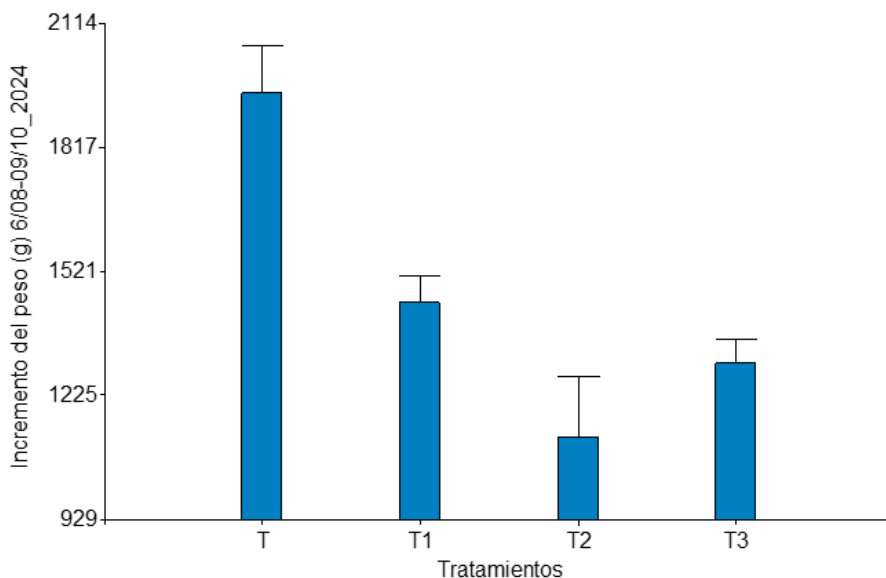
Los análisis bromatológicos fueron realizados en la Universidad Autónoma de Campeche (Cuadro 2).

## **Resultados y Discusión**

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza; los resultados muestran que sí existen diferencias estadísticas ( $p < 0.0001$ ) entre los diferentes tratamientos, donde el mayor incremento en el peso se presentó en el testigo (T) ( $1948.44 \pm 445.57$ ); sin embargo, entre los tratamientos T1, T2 y T3 no se observan diferencias estadísticas (Figura 2). Se observa claramente cómo el tratamiento testigo mantiene los valores más altos, seguido por los tratamientos con forraje. La tendencia descendente desde T hasta T2 muestra que la inclusión de *G. ulmifolia* tiene un efecto negativo proporcional en la ganancia de peso, lo que refuerza la interpretación cuantitativa.

**Figura 2**

Comportamiento del incremento en peso respecto a la alimentación de tres tratamientos de alimentación agregando hojas de (*Guazuma ulmifolia*) al alimento comercial con diferentes porcentajes, T(Control), T1(10 %), T2(20 %), T3(30 %).



Las hojas de *G. ulmifolia* presentan un alto contenido de fibra debido a su abundancia de celulosa y lignina. Aunque su incorporación al alimento comercial reduce la fibra total de la dieta, un incremento excesivo puede disminuir la digestibilidad energética, afectando la ganancia de peso en aves si no se ajusta la formulación (Mateos et al., 2012). Asimismo, las hojas usadas de forma individual muestran mayor contenido de grasa, influido por la zona de recolección, la madurez de la hoja y las condiciones del suelo, como señalan Cab-Jimenes et al. (2015). Al reducir el alimento comercial, también disminuyen la grasa total y la densidad energética de la ración, un aspecto clave en la nutrición avícola (Leeson y Summers, 2001). En cuanto a la proteína, las hojas aportan niveles moderados; sin embargo, su inclusión genera un efecto de dilución que reduce la proteína disponible y puede limitar el crecimiento de las aves si no se suplementa adecuadamente (Adeyemi y Sola-ojo, 2014; Eliwinger et al., 2016). Además, existen variaciones en la composición según

la localidad de recolección, lo que influye en el efecto zootécnico. Por ello, la inclusión de hojas de pixoy debe realizarse con precaución y evaluación constante (Cuadro 2).

### **Cuadro 2**

*Análisis bromatológicos de las hojas con inclusión alimentaria.*

<b>Muestra</b>	<b>Resultados en %</b>		
	Fibra Cruda	Grasa Cruda	Proteína
Pixoy 30% de alimento	15.06	15.06	1.90
Pixoy 20% de alimento	12.63	2.90	3.06
Pixoy 10% de alimento	14.5	2.87	0.85
Pixoy Chiná	23.67	5.72	8.46
Pixoy Carretera	24.98	12.71	5.27

## **Conclusiones**

Las hojas de pixoy (*G. ulmifolia*) representan una alternativa viable como suplemento alimenticio para pollos de engorda, debido a su disponibilidad local y aporte nutricional. Si bien su inclusión en niveles moderados permite complementar la dieta sin comprometer severamente el crecimiento de las aves, es fundamental considerar la variabilidad química que existe entre distintas zonas geográficas, ya que esto influye en los resultados productivos. Por tanto, se recomienda la realización de pruebas piloto para estandarizar la presentación del insumo y asegurar su máxima aceptación y eficiencia.

## **Referencias**

- Leeson, S., & Summers, J. D. (2001). *Nutrition of the Chicken* (4th ed.). University Book.
- Adeyemi, O. A., & Sola-Ojo, F. E. (2014). Alternative feed ingredients for poultry feed formulation in developing countries: Prospects and challenges. *Journal of Animal Science Advances*, 4(7), 865–873.
- Cab-Jiménez, F. E., Ortega-Cerrilla, M. E., Quero-Carrillo, A. R., Enríquez-Quiroz, J. F., Vaquera-Huerta, H., & Carranco-Jauregui, M. E. (2015). Composición química y digestibilidad de algunos árboles

- tropicales forrajeros de Campeche, México [Foliage composition and digestibility of some tropical forage trees of Campeche, Mexico]. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (11), 2199–2204.
- Del Servicio De Información Agroalimentaria Y Pesquera, D. G. (n.d.). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). gov.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Dottavio, A. M. y R. J. Di Masso (2010) “Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal” en *Journal of Basic and Applied Genetics*, 21(2). [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-62332010000200012&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-62332010000200012&script=sci_arttext)
- ELWINGER K, FISHER C, JEROCH H, SAUVEUR B, TILLER H, WHITEHEAD CC. Breve historia de la nutrición avícola en los últimos cien años. *Revista Mundial de Ciencias Avícolas*, 72(4), 701-720. doi:10.1017/S004393391600074X
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas- García, A. R., Reyes-Vázquez, I., & Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 105–120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
- Luiselli, C. (2020). *La pandemia del Covid-19: los sistemas y la seguridad alimentaria en América Latina*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7569711>
- Mateos, GG, Jiménez-Moreno, E., Serrano, MP y Lázaro, RP (2012). Respuesta de las aves de corral a altos niveles de fuentes de fibra dietética con características físicas y químicas variables. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(1), 156–174. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477>
- Medina-Cardena, J., Rejón Ávila, M., & Valencia Heredia, E. (2012). Análisis de rentabilidad de la producción y venta de pollo en canal en el municipio de Acanceh, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 5(XVI), 909–919 [redalyc.org/pdf/141/14123097012.pdf](http://redalyc.org/pdf/141/14123097012.pdf)
- Medina-Litardo, R., Cobos Mora, F., Lombeida Garcia, E., & Hasang Moran, E. (2020). Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión

- sostenible de los recursos naturales de la Hacienda. *Journal of Science and Research*, 5, 79–95. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4421986>
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G., & de Freitas, L. W. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. *Research, Society and Development*, 10(3), e25810313274-e25810313274.
- Orozco-Campos, R., Meleán Romero, R., & Rodríguez Medina, G. (2004). Costos de producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana de Gerencia*, 9(28), 1–27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29092806>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre, Kenya. Recuperado el 6 de abril de 2025, de <https://apps.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=944>
- Salazar Castillo, E. (2024). *Panorama anual del mercado cárnico de México 2023*. Consejo Mexicano de la carne. Recuperado de: <https://comecarne.org/panorama-anual-de-mercado-carnico-de-mexico-2023/>

# Capítulo 7

---

## Implementación de microtúneles en un cultivo de traspatio

*Carlos Daniel Pérez Flores*<sup>35</sup>

*Eliezer del Jesús Casado Ramírez*<sup>36</sup>

*Blanca del Rosario Martin Canche*<sup>37</sup>

*José Luis Guillen Taje*<sup>38</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000251>



---

<sup>35</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B, Colonia Unidad Esfuerzo y Trabajo. 24350 Escárcega, Campeche, México.

<sup>36</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B, Colonia Unidad Esfuerzo y Trabajo. 24350 Escárcega, Campeche, México, [ecasados@itsescarcega.edu.mx](mailto:ecasados@itsescarcega.edu.mx).

<sup>37</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B, Colonia Unidad Esfuerzo y Trabajo. 24350 Escárcega, Campeche, México.

<sup>38</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B, Colonia Unidad Esfuerzo y Trabajo. 24350 Escárcega, Campeche, México.

## Resumen

En Escárcega, Campeche, México, la producción de traspatio se realiza a campo abierto, provocando pérdidas parciales o totales en el rendimiento. El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de la producción de un cultivo de calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) bajo condiciones de microtúneles. El experimento de los cultivos se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, bajo condiciones de microtúneles con porcentajes de 5 %, 25 % y 70 % de sombras y de campo abierto; el cultivo de campo abierto fue considerado como un tratamiento testigo para su evaluación frente al de los microtúneles. El cultivo en microtúnel con un porcentaje de 25 % de sombra presentó un mayor rendimiento en kilogramos de calabaza en relación con los cultivos en microtúneles con un porcentaje de 5 %, 70 % de sombra y el cultivo a campo abierto.

## Introducción

En México, unas de las principales actividades es la agricultura, la misma que es diversa gracias a diferentes factores como son los climatológicos, geográficos, disponibilidad de las semillas, tecnológicos, humanos, etc. En Campeche, las principales hortalizas o frutos sembrados son: aguacate, arroz, calabacita, caña de azúcar, chile, copra, frijol, limón, maíz grano, mandarina, mango, naranja, papaya, piña, plátano, sandía, sorgo grano, soya, tomate y toronja (SIAP, 2023).

La agricultura de traspatio es una táctica que han empleado las familias para cultivar y cosechar su propio alimento y, en el mejor de los casos, comercializar el excedente. Esta agricultura con baja tecnología puede contribuir en gran medida a la autosuficiencia alimentaria (Montalvo et al. 2022). La agricultura de traspatio también puede contribuir al autoempleo, principalmente de personas mayores y mujeres en las comunidades rurales (Palma et al., 2022).

Por otro lado, los cultivos de hortalizas que se realizan a campo abierto no solo se ven afectados por falta de agua, sino también porque pueden ser propensos a daños causados por enfermedades, plagas y otros factores ambientales: altas o bajas temperaturas, precipitación pluvial excesiva, ráfagas de viento, entre otros (López et al., 2022).

Para salvaguardar a los cultivos de hortalizas de los factores antes mencionados, se debe emplear un sistema protegido de microtúneles, que son construcciones de mucha durabilidad, que permiten más de un ciclo de cultivo, reduciendo los costos de inversión y aumento de la producción y calidad de productos cultivados, ya que contra los factores climatológicos y ambientales que pueden afectar al cultivo (Abad et al., 2020).

En Escárcega, Campeche, los productores de traspatio realizan sus cultivos principalmente en temporadas de lluvia para garantizar su logro, siendo el maíz el cultivo predominante, dejando a un lado a cultivos como pepino, calabaza, sandía, entre otros, debido a que estos no soportan excesiva demanda de agua.

Como se considera importante contar con una gran variedad de cultivos de hortalizas durante temporadas de lluvias para que garantice una soberanía alimentaria diversa, por tal motivo esta investigación tiene como propósito evaluar el rendimiento de un cultivo de calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) en traspatio bajo microtúneles con diferentes tipos de sombra.

## Material y métodos

### Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el Tecnológico Nacional de México campus Escárcega ubicado en el municipio de Escárcega, que se ubica geográficamente entre los paralelos 18° 51' y 18° 09' de latitud Norte y los paralelos 90° 20' y 91° 33' de longitud Oeste. Tiene una altura de 60 metros sobre el nivel del mar y una extensión de 4 569.64 km<sup>2</sup>, que corresponde al 8.04 % de la superficie total de la entidad.

## Material vegetal

Para el establecimiento de los cuatro cultivos experimentales, se utilizaron semillas de calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) comerciales de la marca AgroGenial. De estos cultivos experimentales, tres cultivos estaban bajo condiciones de microtúneles cubiertos con plástico agrícola con porcentajes de 5 %, 25 % y 70 % de sombras y un cultivo a campo abierto que se empleó como cultivo testigo.

## Construcción de los microtúneles

Para la construcción de la estructura de los microtúneles se empleó tubos de PVC de 1 pulgada en forma de U invertida. Los microtúneles tenían 6 m de longitud por 2 m de anchura y 1.80 de altura en la parte central; para sostener el plástico agrícola, a estos se les colocó 5 tubos en horizontal. Para evitar que los tubos se movieran en sus extremos, se colocaron 50 cm de varilla de 3/8 para construcción y, en la parte central del microtúnel, una tira de madera (ver Figura 1).

### Figura 1

*Estructura del microtúnel.*



## Acondicionamiento del terreno de siembra del cultivo

Una vez construidos los microtúneles, se realizaron dos surcos con una profundidad de 15 cm y una separación de un metro entre surcos. Posteriormente los surcos fueron rellenados con una mezcla de tierra negra

y un abono orgánico esto con el fin de proporcionar los nutrientes necesarios al cultivo de calabaza.

### **Siembra de la semilla**

Una vez hechos y rellenados los surcos, se procedió a realizar la siembra de las calabazas italianas (*Cucurbita pepo* L.) comerciales de la marca AgroGenial. A lo largo del surco de 6 m se sembraron dos semillas a cada 50 cm y posteriormente se eliminó la planta más débil que haya germinado.

### **Evaluación del cultivo**

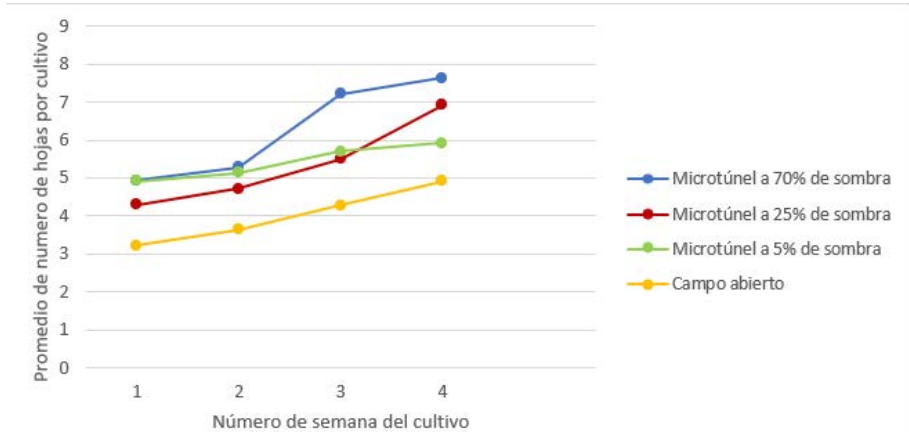
Para la evaluación del cultivo se tomaron como variables el número de hojas de las plantas, altura de las plantas y el rendimiento en kilogramos. La medición del número de hoja y altura de la planta se realizará durante las primeras 4 semanas del establecimiento del cultivo. Para medir el rendimiento del cultivo, se cortarán las calabazas cuando estas tengan 10 días de desarrollo.

## **Resultados y discusión**

Para medir el desarrollo de las plantas del cultivo de calabaza, se tomarán medidas del número de hojas y su altura durante las primeras 4 semanas. De las mediciones del número de hojas, el cultivo de microtúnel a 70 % de sombra tuvo el mayor promedio de número de hojas (ver Figura 2).

**Figura 2**

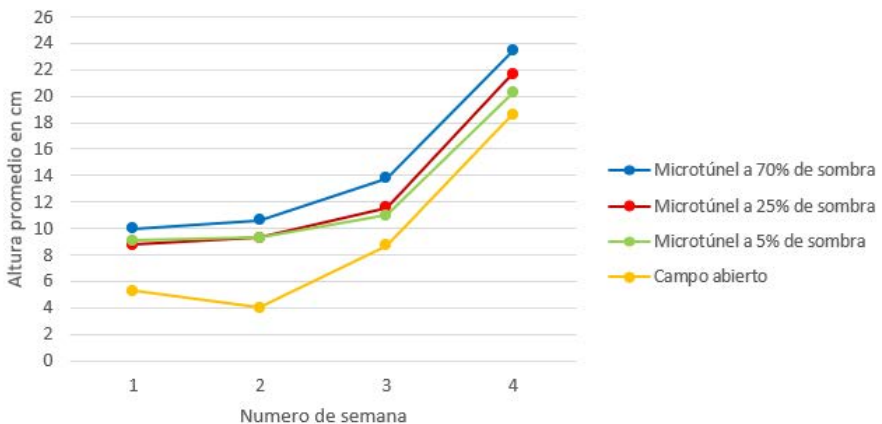
Numero de hojas en las plantas por cada tipo de cultivo.



El cultivo en microtúnel a 70 % de sombra: sus plantas tuvieron la mayor altura y, ligeramente por debajo, el cultivo de microtúnel a 25 % de sombra (ver Figura 3). Aunque el cultivo a 70 % de sombra tuvo el mayor número de hojas y mayor altura, este fue el que obtuvo el menor rendimiento (ver Figura 4).

**Figura 3**

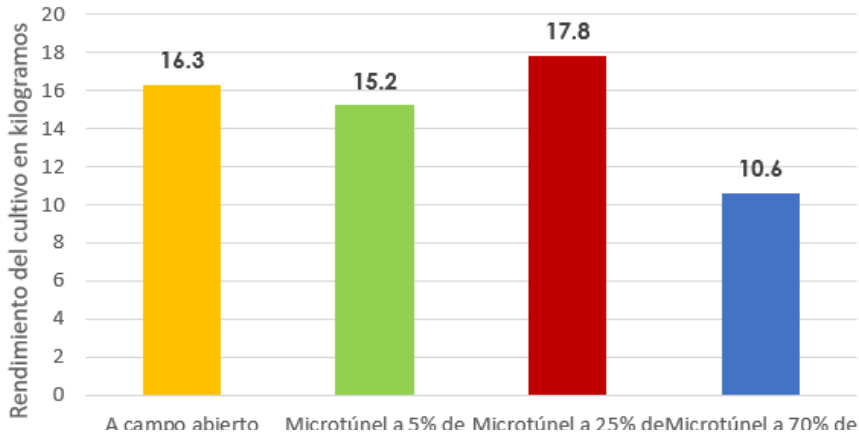
Altura de las plantas por diferente tipo de cultivo.



Respecto al rendimiento del cultivo, se tomaron todas las calabazas producidas cuando estas tenían 10 días de desarrollo, ya que en ese tiempo las calabazas tienen un buen tamaño y peso comercial. El cultivo que presentó mayor rendimiento fue el de microtúnel a 25 % de sombra; el segundo cultivo de mayor producción fue el de campo abierto (ver Figura 4). Cabe mencionar que el cultivo del campo abierto, al recibir tres lluvias intensas, empezó a presentar problemas de hongos en los frutos y, posteriormente, la pudrición de las plantas, lo que genera una desventaja con los cultivos de los microtúneles (ver Figura 5).

#### Figura 4

*Rendimiento de la producción de los cultivos de calabaza.*



**Figura 5**

*Plantas del cultivo a campo abierto con hongos y muertas después de haber recibido 3 lluvias intensas.*



El cultivo con microtúnel con sombra de 25 % tuvo un 18 % más de rendimiento en comparación al cultivo a campo abierto, estos resultados son similares a los encontrados por Abad et al (2020) y Velázquez et al (2014) en los cultivos de fresas y lechugas.

## **Conclusiones**

El cultivo de calabaza italiana en los microtúneles con plástico de 25 % de sombra tuvo el mayor rendimiento de 17.8 kg netos de frutos cosechados, siendo este rendimiento similar al de campo abierto.

El uso de microtúneles en la producción de calabaza italiana es una opción viable para los productores de traspatios, ya que garantizaría el logro del cultivo cuando se presenten condiciones climatológicas adversas que podrían perjudicarlo.

Aunque el costo de la inversión en la construcción del microtúnel es de aproximadamente \$1500, genera mayores beneficios, ya que mejora el rendimiento y manejo del cultivo. Igualmente, aseguran la sobrevivencia del cultivo en condiciones climatológicas adversas como la lluvia y temperaturas elevadas, que a su vez garantiza la seguridad alimentaria de los productores de traspatio.

## Referencias

- Abad, C., Jiménez, L., y Capa, E. (2020). Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) en el sector Cajanuma cantón Loja. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 131-141. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.10>
- López, G., Muños, G., Marín, E., Castillo, E., y Jiménez, J. (2022). Composta artesanal sola o con microtúnel sobre el crecimiento y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *AIA avances en investigación agropecuaria*, 26(1), 235-241. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.27>
- Montalvo, N., Montiel, A., Merino, A., y Tavares, J. (2022). Potencialidad de la agricultura traspatio de precisión como estrategia táctica en la reactivación: mujeres mexicanas. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 22(33). <https://doi.org/10.47189/rcct.v22i33.508>
- Palma, D., De los Ángeles Castillo, E., y Palma, D. (2022). ¿Podemos aprovechar nuestros patios para generar comida, plantas medicinales y dinero? *Revista de Divulgación Multidisciplinaria del Centro Universitario de la Costa*, 1(2), 28-34.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Urquía, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud pública de México*, 56(1), 92-98.
- Velázquez, P., Ruíz, H., Chávez, G., y Luna, C. (2014). Productividad de Lechuga *Latuca Sativa* en condiciones de Macrotúnel en suelo Vitric Haplustands. *Rev. Cienc. Agr.* 31(2): 93 - 105. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.34>



## Bioestimulación en el cultivo de maíz afectado por herbicida

*Joel Iván González Luna*<sup>39</sup>

*Eliel Esteban Sánchez Fajardo*<sup>40</sup>

*Andrés González Ruiz*<sup>41</sup>

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*<sup>42</sup>

*Raúl Enrique Valle Gough*<sup>43</sup>

*María Isabel Escobosa García*<sup>44</sup>

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*<sup>45</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>46</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000268>



<sup>39</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>40</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>41</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>42</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>43</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>44</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>45</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

<sup>46</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México, Autor para correspondencia: [fidel.nunez@uabc.edu.mx](mailto:fidel.nunez@uabc.edu.mx).

## Resumen

El crecimiento temprano del maíz (*Zea mays* L.) está estrechamente influenciado por el manejo agronómico, particularmente por el control de malezas y la disponibilidad de nutrimentos durante las primeras etapas de desarrollo. En este contexto, los bioestimulantes se han propuesto como herramientas complementarias para modular procesos fisiológicos y nutrimentales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del control químico y cultural de malezas y la aplicación de diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento vegetativo y el estado fisiológico del maíz. El experimento se estableció bajo un diseño de parcelas divididas completamente al azar, donde la parcela principal correspondió al tipo de control de malezas (químico y cultural) y la subparcela a la aplicación de bioestimulantes (testigo, Humiforte®, Ixchel® y RFZ®). Los resultados indicaron que el control cultural de malezas fue el principal factor que determinó el crecimiento vegetativo del maíz, promoviendo mayores valores de altura de planta, número de hojas, índice de clorofila y concentración de nitratos. La aplicación de bioestimulantes mostró respuestas diferenciadas, destacando RFZ por su efecto positivo sobre la altura de planta y la modulación del estado nutrimental. Asimismo, se observaron interacciones significativas entre el control de malezas y los bioestimulantes para las variables nutrimentales, lo que evidencia que la respuesta fisiológica del maíz depende del contexto de manejo.

## Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los sistemas agrícolas más importantes a nivel mundial, y su rendimiento está estrechamente relacionado con el manejo agronómico durante las etapas iniciales de desarrollo. Entre los factores que más influyen en el crecimiento temprano

del cultivo se encuentra el control de malezas, ya que la competencia por agua, nutrimentos y radiación puede reducir significativamente la acumulación de biomasa y la eficiencia fisiológica del maíz. Se ha documentado que una eliminación temprana y eficaz de malezas favorece la absorción de nutrimentos, el desarrollo foliar y la actividad fotosintética, particularmente durante las primeras fases fenológicas, cuando se establecen los componentes estructurales del rendimiento (Teasdale, 1996; Swanton et al., 2015).

En años recientes, el uso de bioestimulantes ha surgido como una herramienta complementaria al manejo agronómico convencional, debido a su capacidad para modular procesos fisiológicos y nutrimentales en las plantas. Estos productos, que incluyen extractos de algas marinas, sustancias húmicas y compuestos con actividad hormonal, han mostrado efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, la eficiencia en el uso de nutrimentos y el estado fisiológico de diversos cultivos (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015). No obstante, la respuesta del maíz a la aplicación de bioestimulantes puede depender del sistema de manejo agronómico, particularmente del tipo de control de malezas empleado. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del control químico y cultural de malezas y la aplicación de diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento y el estado fisiológico del maíz en condiciones de campo.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en un campo agrícola de un productor cooperante, ubicado en el ejido San Luis Potosí, municipio de Mexicali, Baja California, México (32°30'46.65" N, 115°06'45.36" O; 18 msnm). La siembra se efectuó el 11 de febrero de 2025, utilizando la variedad de maíz 2423 Asgrow. La parcela experimental se estableció con surcos separados a 1.0 m y una densidad de población de 48 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se aplicó una fertilización base de 250–22–0 (N–P–K) y se realizaron cinco riegos durante el ciclo del cultivo.

El control de la maleza correhuela (*Convolvulus arvensis* L.) se llevó a cabo el 20 de marzo de 2025. Para el control químico se aplicó el herbicida Pixxaro™, un herbicida selectivo postemergente para malezas

de hoja ancha en cereales. La aplicación se realizó de forma dirigida, utilizando la dosis comercial recomendada. El control cultural consistió en escardas manuales realizadas de manera oportuna. La aplicación de los bioestimulantes se efectuó 62 días después de la siembra. Al momento de la aplicación, las plantas presentaban diferencias en sus características de crecimiento en función del tipo de control de malezas (control químico de malezas: 55.02 cm de altura y 4.2 hojas; control manual de malezas: 75.05 cm de altura y 4.8 hojas). Los bioestimulantes evaluados y su composición se presentan en el Cuadro 1.

El diseño experimental fue de parcelas divididas, distribuidas completamente al azar. La parcela principal correspondió al tipo de control de malezas (químico y cultural), mientras que la subparcela correspondió a la aplicación de los bioestimulantes. Las variables evaluadas a los 45 días después de la aplicación fueron: altura de planta, número de hojas, tasa de crecimiento (altura final-altura inicial), índice de clorofila (SPAD), sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) y concentración de nitratos y potasio en el extracto celular del tallo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los factores y su interacción. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## Resultados y discusión

El control cultural promovió incrementos significativos en altura de planta, tasa de crecimiento, número de hojas e índice de clorofila, en comparación con el control químico ( $p < 0.001$ ). La aplicación de bioestimulantes mostró efectos diferenciados según la variable evaluada. El bioestimulante RFZ presentó la mayor altura de planta, lo que puede asociarse con su composición basada en ácidos fúlvicos y citocininas, compuestos que estimulan la elongación celular y la actividad metabólica, tal como ha sido documentado en cultivos extensivos (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015). En contraste, el número de hojas fue mayor en el tratamiento Control (sin aplicación de bioestimulantes), lo que indica que, bajo las condiciones de fertilización nitrogenada, la emisión foliar no dependió de la aplicación de bioestimulantes. De acuerdo con Muchow y

Sinclair (1994), la tasa de aparición de hojas en maíz está principalmente regulada por la temperatura, la disponibilidad de nitrógeno y el estado hídrico, factores que fueron homogéneos entre tratamientos y suficientes para expresar el desarrollo foliar sin insumos adicionales.

### Cuadro 1

*Características y dosis de los bioestimulantes aplicados.*

Nombre	Ingredientes	Dosis
Humiforte	Aminoácidos libres 2 %, N 6 %, P 3 % y K 5 %, citoquininas 2060 ppm, auxinas 284 ppm, giberelinas 124 ppm, vitaminas, betainas, enzimas, oligoelementos, microorganismos, ácidos fúlvicos y algas marinas.	200 mg L <sup>-1</sup>
Ixchel	Algas marinas ( <i>Ascophyllum nodosum</i> 45.38 % y <i>Macrocystis pyrifera</i> 25.21 %), potasio (K <sub>2</sub> O) 4.00 %, nitrógeno orgánico 3.00 %, materia orgánica 20.0 %, boro (B) 0.20 %, cobre (Cu) 0.10%, hierro (Fe) 1.09 %, manganeso (Mn) 0.50%, zinc (Zn) 0.21 %, molibdeno (Mo)0.02 %, y excipiente C.B.P. 0.26 %.	1 cm <sup>3</sup> /L
RFZ	Ácidos Fúlvicos 14 %, 9-β-Dextroribofuranosil zeatina (citocina) 1500 ppm, nitrógeno (N) 10 %, fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 3 %, potasio (K <sub>2</sub> O), 17 % y zinc (Zn) 0.11 %.	1 cm <sup>3</sup> /L

Los tratamientos con bioestimulantes presentaron un menor número de hojas, lo que sugiere un efecto regulador del crecimiento más orientado a la calidad fisiológica que a la cantidad de órganos emitidos. Este comportamiento ha sido reportado para bioestimulantes a base de extractos de algas marinas y compuestos hormonales (Khan et al., 2009; Roupheal y Colla, 2020). El índice de clorofila fue mayor en los tratamientos Control, Ixchel y RFZ, lo que coincide con reportes que indican que los extractos de algas marinas y los bioestimulantes ricos en citoquininas pueden estimular la síntesis de clorofila y retrasar la senescencia foliar, aun cuando no se incrementa el número de hojas (Khan et al., 2009; Bulgari et al., 2015).

**Cuadro 2**

*Crecimiento e índice de clorofila en el cultivo de maíz afectado por el control de malezas y la aplicación de bioestimulantes.*

Tratamiento	Altura (cm)	Tasa de crecimiento (cm)	Número de hojas	Índice de clorofila (IC)
Control de malezas				
Químico	104.35 a†	49.32 a	7.40 a	44.74 a
Cultural	164.90 b	89.85 b	9.10 b	54.60 b
Bioestimulante				
Control	133.90 b	71.35	9.05 a	49.71 a
Humiforte	129.25 b	65.40	7.40 b	46.87 b
Ixchel	134.10 b	70.30	8.25 b	50.18 a
RFZ	141.25 a	71.70	8.30 b	51.92 a
Significancia				
Control de malezas (CM)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Bioestimulante (B)	0.013	0.334	< 0.001	0.044
CM × B	0.624	0.604	0.169	0.257

†Medias seguidas por la misma letra, significa igualdad según la prueba de Tukey.

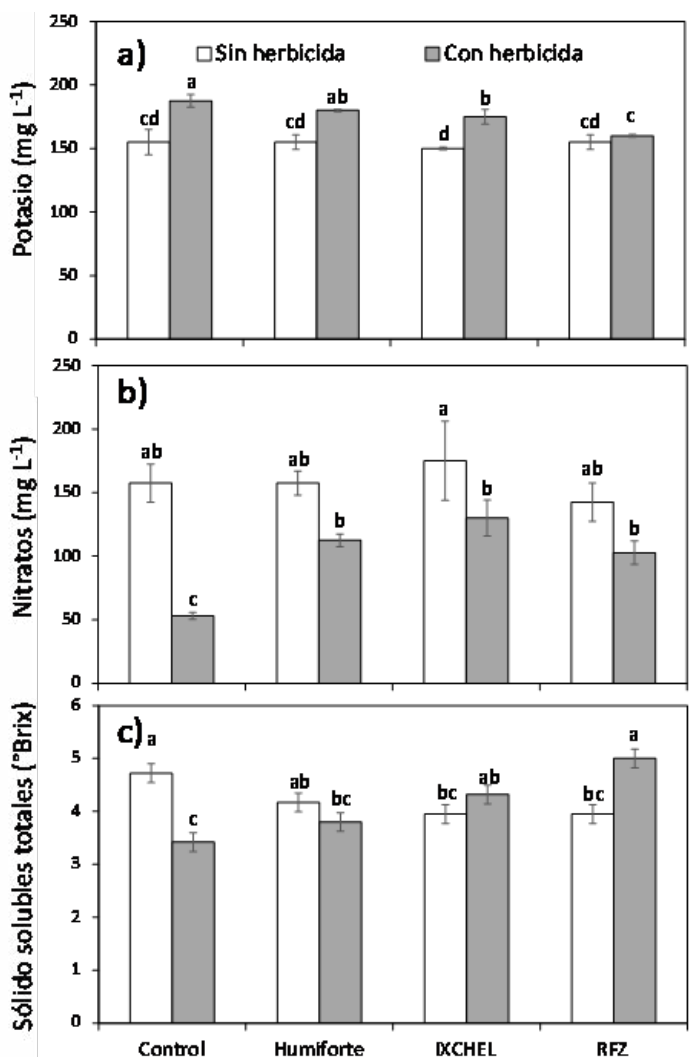
La concentración de nitratos fue significativamente mayor bajo control cultural de malezas que bajo control químico ( $p < 0.001$ ), lo que indica una mayor absorción y disponibilidad de nitrógeno cuando se reduce la competencia interespecífica. La aplicación de bioestimulantes también influyó en la concentración de nitratos, destacando Ixchel y Humiforte, que superaron al tratamiento Control. Respecto al potasio, el control químico de malezas presentó mayores concentraciones en el tallo que el control cultural ( $p < 0.001$ ), lo que puede explicarse por una menor demanda asociada a un crecimiento vegetativo más limitado, favoreciendo su acumulación en tejidos de reserva.

A nivel de bioestimulantes, el tratamiento Control presentó la mayor concentración de potasio, mientras que RFZ mostró los valores más bajos, lo que sugiere una mayor movilización interna del K en presencia de bioestimulantes. La interacción significativa entre el control de malezas y la aplicación de bioestimulantes para las variables nutrimentales con-

firma que la respuesta fisiológica del maíz depende de la combinación específica de ambos factores, lo que refuerza el enfoque del estudio y la necesidad de evaluar la bioestimulación dentro de un contexto de manejo agronómico integral, tal como se planteó desde la Introducción.

**Figura 1**

*Efecto interactivo del control químico de malezas y la aplicación de bioestimulantes en planta de maíz (CM×B), sobre la concentración de potasio (a), nitratos (b) y sólidos solubles (c) en el extracto celular del tallo.*



## Conclusión

Los resultados indican que el control cultural de malezas fue el principal factor que determinó el crecimiento vegetativo y el estado fisiológico del maíz en etapas tempranas, al favorecer una mayor altura de planta, emisión foliar, contenido de clorofila y disponibilidad de nitrógeno. La aplicación de bioestimulantes mostró efectos complementarios y dependientes del manejo de malezas, destacando RFZ por su influencia en la altura de planta y la modulación del estado nutricional. En conjunto, la biostimulación no sustituyó el manejo agronómico, pero contribuyó a optimizar la respuesta fisiológica del cultivo cuando se integró a un sistema adecuado de control de malezas.

## Referencias

- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Muchow, R. C., & Sinclair, T. R. (1994). Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Science*, 34(3), 721–727. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400030022x>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

- Swanton, C. J., Mahoney, K. J., Chandler, K., & Gulden, R. H. (2008). Integrated weed management: Knowledge-based weed management systems. *Weed Science*, 56(1), 168–172. <https://doi.org/10.1614/WS-07-126.1>
- Teasdale, J. R. (1996). Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture*, 9(4), 475–479. <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0475>.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.



# Capítulo 9

---

## Evaluación sensorial de cuatro fermentados de hidromiel con distintas concentraciones de frambuesa

*Axel Uriel Hernandez Trujillo*<sup>47</sup>

*Jorge Luis Delgadillo Ángeles*<sup>48</sup>

*Salvador Ordaz Silva*<sup>49</sup>

*Francisco Javier Espitia Orozco*<sup>50</sup>

*Octavio Tadeo Barrera Perales*<sup>51</sup>

*Laura Dennisse Carrasco Peña*<sup>52</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000275>



---

<sup>47</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín.

<sup>48</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, [jorge.delgadillo@uabc.edu.mx](mailto:jorge.delgadillo@uabc.edu.mx).

<sup>49</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín.

<sup>50</sup> Instituto de Tecnológico Nacional de México, Cuitzeo de los Naranjos, Los Naranjos, Abasolo, Gto.

<sup>51</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín.

<sup>52</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín.

## Resumen

El presente estudio evaluó la influencia de diferentes concentraciones de frambuesa en las propiedades sensoriales del hidromiel, con el objetivo de determinar la aceptación del consumidor y el tratamiento más adecuado. Se elaboraron cuatro formulaciones utilizando miel, levadura comercial y frambuesa destinada a procesos industriales, bajo un diseño experimental monofactorial. Se midieron parámetros iniciales y finales como grados Brix y pH, y se aplicó una prueba hedónica a 43 catadores no entrenados para evaluar apariencia, aroma y sabor. Los resultados mostraron calificaciones ligeramente positivas en todos los tratamientos, destacando T4 en apariencia y sabor, y T2 en aroma. El análisis estadístico (ANOVA y prueba HDS Tukey) indicó que no existen diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ). Se concluye que la inclusión de frambuesa es viable para diversificar la producción de hidromiel, aunque se requiere optimizar la formulación para mejorar la preferencia sensorial.

## Introducción

Dentro de México, se elaboran diferentes bebidas a base de la fermentación de distintos productos, para obtener cerveza, tequila, vino, vino de coyol, mezcal, bacanora, pulque, tejuino, tuba, pozol, tepache, hidromiel, entre otros (Cabanillas et al., 2022). La bebida de análisis para esta investigación es la hidromiel, una bebida que se produce por la fermentación de miel, agua y levaduras y que es poco conocida, aunque en la actualidad ha ido tomando importancia nuevamente (Jara y Natasha, 2023). Según estos autores, la hidromiel es una de las bebidas más antiguas de la humanidad, más que la cerveza y el vino; existen vestigios de la bebida en China en el año 7000 a. C., antes de la apicultura, mediante la colecta de miel silvestre, lo que la convertía en una bebida de lujo, posicionándola en la

Edad Media como una bebida de reyes. Además, es una bebida nutritiva, ya que durante su fermentación, los azúcares presentes en la sustancia se transforman en dióxido de carbono, alcohol y otros compuestos que aumentan el valor nutrimental de la bebida; incluso se ha comprobado que el consumo de hidromiel ayuda a tener una buena digestión debido a los probióticos que esta suele contener (Cabanillas et al., 2022).

Recientemente dicha bebida está volviendo en tendencia, su mayor consumo es principalmente en Europa, aunque ha ido popularizándose en América, además según la Asociación de Fabricantes de Hidromiel de América (Encargada de apoyar y promover el consumo de hidromiel y a sus fabricantes) registra 240 productores en América y 40 en otras partes del mundo. (Jara y Natasha, 2023).

El añadir frambuesa a la hidromiel, puede llegar a aportar al perfil sensorial de la bebida debido a que las frutas no tradicionales tienen facilidad para la transformación en productos de valor agregado, además que son de interés para el mercado de exportación (Paca, 2021).

Por otra parte, el análisis sensorial, es una disciplina en la se miden las reacciones que provocan las características de los alimentos y bebidas, a los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído), este es aplicado a un grupo de personas entrenadas, o que demuestran alguna característica de interés para la investigación (Gómez-Corona, 2019).

Las metodologías de cata (de vinos), muy similares a las de hidromiel, son muy diversas y en general, todas buscan la evaluación de todos los aspectos generales de la bebida, evaluando alguna propiedad antes que otra. Nicolas (2021), describe que, para realizar la cata de hidromiel, no es imprescindible ser experto en materia, en realidad cualquier persona, con cierta agudeza sensorial y aplicando una metodología ordenada puede ser capaz de catar un vino. Dada la importancia de este producto, el objetivo de esta investigación fue evaluar fermentados de hidromiel con diferentes concentraciones de frambuesa de manera sensorial.

## **Materiales y métodos**

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín. Se utilizó miel y levaduras comerciales para realizar 4 tratamientos distintos, uno de ellos sin incluir

frambuesa en la preparación del mosto, mientras que en los otros se fue incrementando gradualmente el contenido de la misma. En la Tabla 1, se muestra el diseño experimental utilizado.

**Tabla 1**

*Composición de los tratamientos.*

<b>Factor de Estudio</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Miel</b>	<b>Agua</b>	<b>Frambuesa</b>
Contenido de frambuesa	T1	848	2257	395
	T2	848	2059	593
	T3	848	1862	790
	T4	848	2652	-

Posteriormente, una vez terminados los mostos, previo a colocarlos en la incubadora para iniciar el proceso de fermentación, se tomaron las medidas de los parámetros como grados Brix y pH, tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Propiedades químicas iniciales de los tratamientos.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Grados Brix</b>	<b>pH (Potencial de Hidrógeno)</b>
T1	20.5	3.41
T2	21	3.33
T3	21.6	3.25
T4	19.6	3.98

Para la evaluación sensorial, se aplicó la prueba hedónica a 43 catadores no experimentados, de la Universidad Autónoma de Baja California, de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín. Los atributos analizados fueron la apariencia, el aroma y el sabor, además de pedirles que escriban una palabra para describir en general la muestra probada. Evaluado del 1 al 9 de acuerdo a su percepción, donde el 5 es el punto medio; lo inferior a 5 son evaluaciones consideradas negativas, mientras que lo superior a 5 son evaluaciones consideradas positivas. A continuación, en la Tabla 3 se muestran las preguntas realizadas por tratamiento.

**Tabla 3***Encuesta para la evaluación sensorial de los atributos de la bebida.*

<b>Categoría</b>	<b>Pregunta</b>
Fase Visual	¿Cuál es su opinión acerca de la apariencia de la bebida?
Fase olfativa	¿Cuál es su opinión acerca del olor de la muestra?
Fase Gustativa	¿Cuál es su opinión acerca del sabor de la muestra?
Asociación de palabras	Escriba una palabra para describir a la muestra en general

## Resultados y discusión

De los 43 participantes en la evaluación sensorial, un 56 % de los catadores fueron del género femenino, mientras que el 44 % restante pertenece al género masculino y en un rango de edades entre los 18 y 33 años aproximadamente, tal como se muestra en la Tabla 4:

**Tabla 4***Distribución de la población participante.*

<b>Género</b>	<b>Población</b>	<b>Edad</b>
Femenino	24	24.72 ± 6.57
Masculino	19	25.84 ± 8.24

Al realizar las evaluaciones sensoriales, se obtuvieron los siguientes parámetros físicos en la medición de la bebida terminada, representados en la Tabla 5.

**Tabla 5***Propiedades químicas finales de los tratamientos.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Grados Brix</b>	<b>(Potencial de Hidrógeno)</b>
T1	8.6	3.19
T2	8.0	3.12
T3	8.0	3.14
T4	7.3	3.30

Los datos obtenidos en la evaluación sensorial fueron procesados mediante Excel y el programa SPSS para su análisis estadístico. Los resultados obtenidos de esta evaluación sensorial se presentan en la Tabla 6, donde se muestra la media obtenida para cada sentido, así como su desviación estándar.

**Tabla 6**  
*Resultados promedios por atributo y tratamiento de la evaluación sensorial.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>
T1	6.98 ± 1.78	6.88 ± 1.83	6.12 ± 2.01
T2	7.04 ± 1.82	7.00 ± 1.90	6.19 ± 2.08
T3	7.19 ± 1.88	6.95 ± 2.02	6.08 ± 2.09
T4	7.25 ± 2.11	6.95 ± 2.21	6.39 ± 2.01

Se aplicó la prueba de HDS Tukey (Honestly Significant Difference), como se puede observar en la Tabla 7:

**Tabla 7**  
*Análisis estadístico de la evaluación sensorial.*

<b>Combinaciones</b>		<b>Significancia</b>
Apariencia	Entre grupos	0.462
	Dentro de grupos	
	Total	
Sabor	Entre grupos	0.317
	Dentro de grupos	
	Total	
Olor	Entre grupos	0.503
	Dentro de grupos	
	Total	

Los evaluadores relacionaron cada una de las muestras de los diferentes tratamientos con las palabras que se muestran en la Tabla 8:

**Tabla 8***Palabras más frecuentes utilizadas en la descripción general.*

<b>Muestra</b>	<b>Palabras</b>	<b>Conteo</b>
T1	Fuerte / Intenso	12
	Buena / Rico	11
	Amarga	5
	Suave / Ligero	3
T2	Buena / Rico	12
	Amarga	8
	Fuerte	3
	Suave	3
T3	Fuerte	8
	Buena / Agradable	7
	Acido / Agrio	5
	Seca	3
T4	Buena / Agradable	11
	Miel / Dulce	4
	Amargo	4
	Fuerte	4

Los resultados obtenidos muestran que la adición de frambuesa en diferentes concentraciones no generó diferencias estadísticamente significativas en las propiedades sensoriales de la hidromiel ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, se observaron tendencias interesantes: el tratamiento T4 fue mejor valorado en apariencia y sabor, mientras que el T2 destacó en aroma. Esto sugiere que la frambuesa puede aportar atributos sensoriales diferenciados, aunque la percepción del consumidor no fue lo suficientemente marcada para establecer una preferencia clara.

La ligera aceptación positiva en todos los tratamientos indica que los consumidores están abiertos a la incorporación de frutas en el hidromiel (Serra et al., 2023), lo cual coincide con estudios previos sobre la diversificación de bebidas fermentadas. No obstante, el uso de catadores no entrenados pudo haber limitado la sensibilidad para detectar diferencias más sutiles. Asimismo, factores como la concentración de frambuesa, la

interacción con la miel y las condiciones de fermentación podrían influir en la expresión de los atributos sensoriales.

En este sentido, se recomienda explorar ajustes en la formulación (Martínez et al., 2019), ya que si bien la frambuesa potencialmente puede aportar algunas características a la hidromiel, es necesario investigar respecto a variaciones en el tiempo de maceración, el tipo de levadura utilizada o la combinación con otras frutas con la finalidad de potenciar la complejidad aromática y mejorar la aceptación del consumidor.

La inclusión de frambuesa en la elaboración de hidromiel es viable y contribuye a diversificar la oferta de esta bebida. Aunque es necesario revisar la interacción de los demás ingredientes en el perfil sensorial.

## Referencias

- Cabanillas-Bojórquez L., Gutiérrez Grijalva E. y Heredia J., O. (2022, 10 marzo). *Bebidas fermentadas mexicanas: ¿benéficas para la salud?* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).
- Gómez-Corona, C., & Lelièvre-Desmas, M. (2019). Introducción al Análisis Sensorial y Estudios con Consumidores: Nuevas Perspectivas.
- Jara Gaibor, Karina Natasha. (2023). *Diseño de un proceso de producción industrial para la obtención de hidromiel de mora*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20359>
- Martínez, W. O., Arias, E., & Baez, C. A. (2019). *La Bebida de los Dioses: Hidromiel Del Bosque–Apiarios Del Bosque*.
- Nicolas. (2021, 28 julio). Apprendre à déguster le vin et à développer votre palais - Vin Oenologie. Vin Oenologie. <https://www.vin-oenologie.com/vin/apprendre-a-deguster-le-vin-et-a-developper-votre-palais/>
- Paca Aucancela, Tania Fernanda. (2021). *Frutas no tradicionales y su uso potencial en la agroindustria*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15531>
- Serra, I., Pascual, G., Salazar, H., & Campos, J. (2023, April). *Maqui (Aristotelia chilensis) and honey: an attempt to innovate mead production*. In *III International Symposium on Beverage Crops 1387* (pp. 297-302). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1387.41>

# Capítulo 10

---

## Crecimiento de plántulas de yaca (*artocarpus heterophyllus lam.*) bajo diferentes niveles de sombra en el sureste de México

José Rafael Tucuch Mora<sup>53</sup>

Benito Bernardo Dzib Castillo<sup>54</sup>

Edith González Lazo<sup>55</sup>

Jorge Enrique Ramírez Santamaría<sup>56</sup>

Willian Cetzal Ix<sup>57</sup>

Carlos Josué Herrera Guzmán<sup>58</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000282>



---

<sup>53</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería en Agronomía del Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24520.

<sup>54</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24520, [bernadzib@yahoo.es](mailto:bernadzib@yahoo.es).

<sup>55</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo, Escárcega, Camp., México.

<sup>56</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Campeche. Carretera Campeche-Escárcega km 9, Lerma, Campeche C.P. 24500, San Francisco de Campeche, Campeche.

<sup>57</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24520.

<sup>58</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus: Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24520.

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto de diferentes niveles de luminosidad sobre el crecimiento de plántulas de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) en condiciones de vivero debido a la importancia económica y farmacéutica que tiene este fruto a nivel mundial. En México se cuenta con condiciones ambientales favorables para el desarrollo de este cultivo, por lo que esta investigación busca generar información para entender mejor la posibilidad de cultivar esta especie en sistemas agroforestales que involucren la combinación con otras especies arbóreas. Para ello, se obtuvieron semillas de un fruto de yaca de la comunidad de Oxkutzcab, Yucatán, las cuales se sembraron en bolsas de polietileno para la reproducción y obtención de plántulas. La siembra de las semillas permitió obtener un total de 111 plantas, de las cuales se seleccionaron 40 para ser distribuidas en grupos de 10 dentro de cada nivel de sombra 0 %, 35 %, 50 % y 90 %. Posteriormente, se realizó la toma de datos cada siete días para identificar el crecimiento en diámetro de tallo, altura de plántulas y número de hojas; los datos obtenidos se analizaron mediante un ANAVA no paramétrico de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que el crecimiento de las plántulas de yaca (*A. heterophyllus*) tuvo una respuesta positiva en el incremento del número de hojas, altura y diámetro en los niveles de sombra de 35 % y 50 %. De lo anterior se concluye que esta especie crece mejor en condiciones de sombra en sus primeras etapas de vida.

## Introducción

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) pertenece a la familia de las moraceae. Es un fruto originario de Oriente, pues es uno de los cultivos con muy buena explotación en países de Asia como la India, Malasia y Bangladesh. Esto no es sorpresa, ya que el aprovechamiento se ve refle-

jado en el uso maderable, el forraje de sus hojas, y su fruto es consumido en diversas presentaciones, ya que es muy rico en vitaminas y minerales. En México, la yaca presenta un atractivo comercial en aumento, ya que podemos ubicar una superficie de 1,684 ha con una producción de 24 792 t. Por ello, actualmente, el estado con mayor producción es Nayarit, que cuenta con 1 555 ha de yaca (Velázquez, Gómez, Hernández et al., 2021).

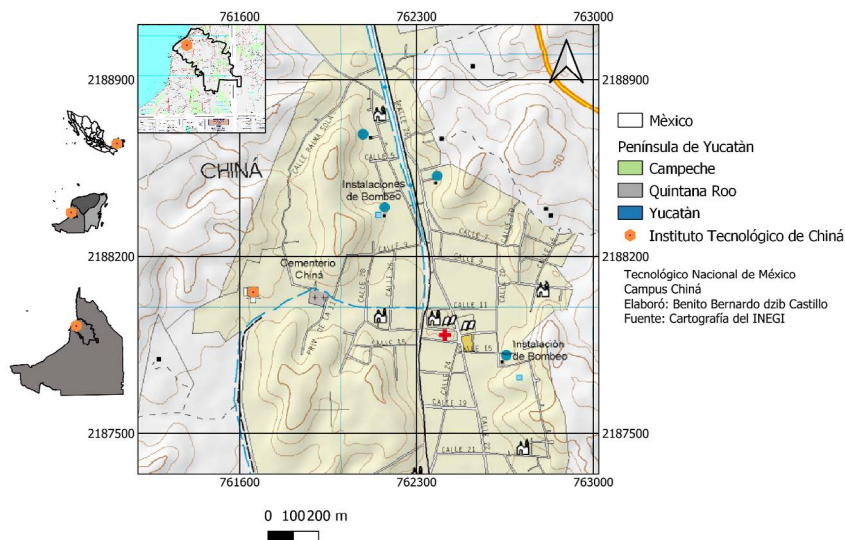
Puede tolerar altitudes más altas y el frío mejor que la fruta del pan. La jaca se puede cultivar en una variedad de suelos siempre que estén bien drenados, pero se desarrolla mejor en suelos aluviales profundos de textura abierta (Caicedo, 2022). La reproducción de esta especie en un vivero se puede realizar mediante semillas o esquejes; las semillas deben extraerse de frutas maduras, realizar un tratamiento a las semillas y plantarse en un sustrato bien drenado. Es importante mantener un cuidado adecuado del agua y proporcionar luz indirecta (Condori, 2024). Sin embargo, no se tiene mucha información sobre el efecto de la sombra sobre el crecimiento de esta especie, por lo cual el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de diferentes niveles de luminosidad sobre el crecimiento de plántulas de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) en condiciones de vivero.

## **Materiales y métodos**

Ubicación: El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chiná, ubicado en Chiná, Campeche, México (Figura 1), con las coordenadas 19.7642°N y 90.4136E.

**Figura 1**

Ubicación del sitio de experimentación en el Tecnológico Nacional de México Campus Chiná, Campeche, Campeche México.



## Métodología

**Extracción de semillas:** Para el proceso de producción de las plántulas de yaca (*A. heterophyllus*), se extrajeron un total de 111 semillas de yaca de un fruto, mediante cortes transversales y longitudinales el día 6 de agosto de 2025. Dicho fruto se obtuvo de la comunidad de Oxkutzcab, Yucatán, donde el fruto tuvo un peso de 8.85 kg, un largo de 33 cm y un diámetro de 75 cm. Posterior a la extracción, se dejaron secar por solo un lapso de 24 horas antes de la siembra, esto con la finalidad de que las semillas no pierdan viabilidad.

**Siembra y distribución:** La siembra se produjo en el vivero perteneciente al Laboratorio de Agroforestería y Fisiología Tropical (LAFT) dentro del Instituto Tecnológico de Chiná el día 7 de agosto de 2025. Esta siembra se realizó en bolsas de polietileno con medida de 15 cm x 20 cm a una profundidad de siembra de 5 cm aproximadamente (Figura 2).

**Figura 2**

Siembra de semilla de *Artocarpus heterophyllus* Lam.



Traspaso de plántulas: Una vez comenzado el proceso de emergencia de las plantas dentro del vivero el día 19 de agosto de 2025, se otorgó un plazo de un mes a las demás plantas para el proceso de emergencia, siendo el cierre el día 19 de septiembre del 2025, dando como resultado un total de 78 plántulas, de las cuales se seleccionaron un total de 40 plantas (Figura 3), las cuales en grupos de 10 en cada uno de los niveles de sombra.

**Figura 3**

*Plántula seleccionada para traspaso a sombra.*



Diseño experimental: Para el proyecto se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, donde los bloques fueron los diferentes niveles de sombra (0 %, 35 %, 50 % y 90 %), donde se colocaron 10 plantas (Figura 4).

**Figura 4**

*Distribución de plantas de yaca (Artocarpus heterophyllus.) en diferentes niveles de sombra en condiciones de vivero.*

Pleno sol			Mallasombra			Mallasombra			Mallasombra		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9
	10			10			10			10	

Respuesta de variable. Las variables que se midieron fueron el diámetro del tallo; este dato se tomó a dos centímetros desde el sustrato donde está arraigada la plántula utilizando un vernier marca Kreatonic®, la altura total de la plántula, la cual se tomó desde el sustrato hasta el ápice de la plántula con una regla graduada en centímetros, y como última variable se realizó un conteo de las hojas. Las mediciones iniciaron cuando las plántulas de yaca contaban con una media de 30 días de haber emergido, comenzando el día 23 de septiembre de 2025. Esta se realizó con cada una de las plantas de los distintos niveles de sombra cada 7 días durante 4 semanas y posteriormente cada 15 días por 5 semanas, siendo la última toma de datos el día 27 de noviembre de 2025, cuando la planta tenía 65 días de vida.

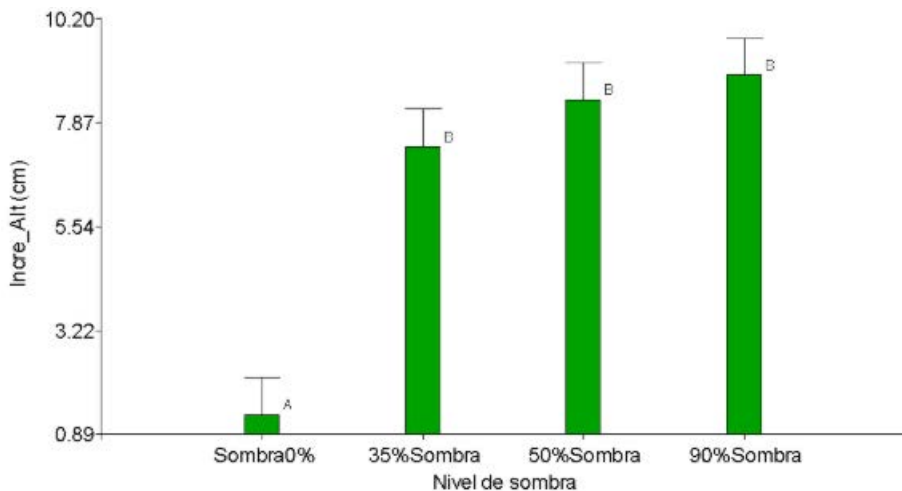
## Resultados

El análisis de varianza mostró que existe diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) en cuanto al incremento en altura entre niveles de sombra. Donde el nivel de sombra que obtuvo la menor altura fue a pleno sol, mientras que en los otros niveles de sombra (35 %, 50 % y 90 %), las alturas alcanzadas de las plántulas fueron iguales entre sí (Figura 5).

En el caso del diámetro del tallo, el análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ). Donde el nivel de sombra que obtuvo el menor diámetro fue a pleno sol, seguido por el nivel de sombra al 90 %, mientras que en los otros niveles de sombra (35 % y 50 %), los diámetros alcanzados en las plántulas fueron iguales entre sí (Figura 6).

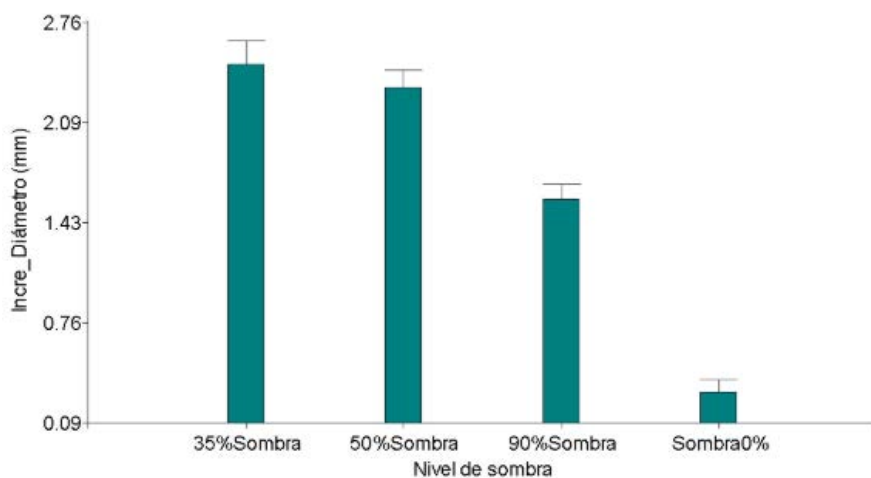
**Figura 5**

Incremento en altura de plántulas de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en diferentes niveles de sombra en Campeche, México.



**Figura 6**

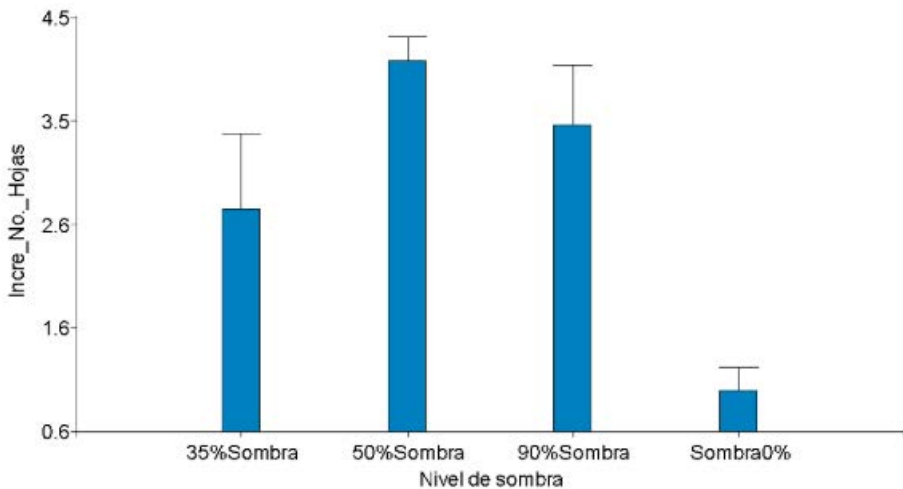
Incremento en diámetro de plántulas de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en diferentes niveles de sombra en Campeche, México.



En cuanto al número de hojas, el análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas ( $P < 0.0006$ ). Donde el nivel de sombra que obtuvo el menor incremento de hojas fue el de pleno sol, mientras que en los otros niveles de sombra (35 %, 50 % y 90%), los incrementos de hojas alcanzados en las plántulas fueron iguales entre sí. (Figura 7).

**Figura 7**

*Incremento en número de hojas de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en diferentes niveles de sombra en Campeche, México.*



## Conclusión

El efecto de la sombra sobre el crecimiento de plántulas de yaca (*A. heterophyllus*) tiene un efecto positivo en los niveles de sombra al 35 % y 50 %, en donde se observó un mayor incremento en altura y diámetro de tallo. El incremento en la altura fue favorecido por la sombra (35, 50 y 90 %), donde no se observaron diferencias. El diámetro de tallo obtuvo su mayor incremento en los niveles de sombra del 35 % y 50 %, mientras que los menores incrementos se presentaron en el mayor nivel de sombra y a pleno sol. Esto indica que el exceso de sombra o de sol limitan el incremento en diámetro de las plántulas.

## Referencias

- Caicedo, E.J (2022). *Manejo agronómico del cultivo de Jackfruit (Artocarpus heterophyllus)*(Trabajo de titulación. Universidad Técnica de Babahoyo). Consultado 30 de noviembre de 2025 en: <https://acortar.link/XkHspG>
- Condori, J (2024). *Efecto de guano de islas y humus de lombriz en las variables productivas de yaca (Artocarpus heterophyllus) en fase de vivero en caranav*. La paz Universidad Pública de El Alto). Consultado el 25 de noviembre de 2025 en: <https://acortar.link/1yevXQ>
- Medina, M.A (2018). *Etiología de la pudrición de inflorescencias y fruto de yaca (Artocarpus heterophyllus Lam.) y evaluación antagónica de tres especies de trichoderma*. (Universidad Autónoma de Nayarit) consultado el 27 de noviembre de 2025 en: <https://acortar.link/4OGmaP>
- Velázquez, Gómez, Hernández et al., (2021). *Prácticas agronómicas para el manejo sanitario de la yaca* (1.ª ed). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Consultado el 30 de noviembre de 2025 en: [https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/\\_Content?/=14379](https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=14379)

# Capítulo 11

---

## **Efecto de la aplicación de ácido glutámico en alfalfa (*medicago sativa l.*) cultivada en verano en el valle de Mexicali**

*Jesús Ángel López Quiñonez*<sup>59</sup>

*Yohandri Ruisanchez Ortega*<sup>60</sup>

*Ricardo Salomón Torres*<sup>61</sup>

*Laura Samaniego Sandoval*<sup>62</sup>

*Cándido Mendoza-Pérez*<sup>63</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>64</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000299>



---

<sup>59</sup> Departamento de Posgrado de la Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica, San Luis Rio Colorado Sonora, México.

<sup>60</sup> Departamento de Posgrado de la Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica, San Luis Rio Colorado Sonora, México.

<sup>61</sup> Departamento de Posgrado de la Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica, San Luis Rio Colorado Sonora, México.

<sup>62</sup> Departamento de Posgrado de la Universidad Estatal de Sonora Unidad Académica, San Luis Rio Colorado Sonora, México.

<sup>63</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México.

<sup>64</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México, [fidel.nunez@uabc.edu.mx](mailto:fidel.nunez@uabc.edu.mx).

## Resumen

La aplicación de aminoácidos como bioestimulantes vegetales puede mejorar procesos fisiológicos y productivos en cultivos. El ácido glutámico, involucrado en la síntesis de clorofila y la asimilación de nitrógeno, se evaluó en alfalfa (*Medicago sativa* L.) para determinar su efecto sobre crecimiento, estado nutrimental y rendimiento. El estudio se realizó en el ejido Monterrey, Valle de Mexicali, Baja California, México, durante el verano de 2025, empleando un diseño experimental de cuadro latino con cuatro dosis foliares de ácido glutámico (0, 50, 75 y 100 mg L<sup>-1</sup>). Se evaluaron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de clorofila (IC), sólidos solubles totales (SST), peso fresco y seco de biomasa y contenido relativo de agua (RWC). Los resultados indicaron que el NDVI disminuyó con el incremento en las dosis de ácido glutámico, mientras que los SST aumentaron con dosis intermedias. No se observaron diferencias significativas en el IC, el rendimiento ni en el RWC. Se concluyó que el ácido glutámico mostró efectos inestables según las variables evaluadas y no mejoró de manera consistente el rendimiento de alfalfa bajo las condiciones del estudio, sugiriendo la necesidad de optimizar dosis y frecuencia de aplicación.

## Introducción

La aplicación de aminoácidos como bioestimulantes vegetales ha emergido como una herramienta prometedora en la agricultura moderna para mejorar procesos fisiológicos y productivos en cultivos. El ácido glutámico, un aminoácido polar que actúa como precursor en rutas metabólicas clave (p. ej., síntesis de clorofila y asimilación de nitrógeno), ha sido reportado por su rol en la absorción de nutrientes, apertura estomática y metabolismo del N en plantas (Serna-Rodríguez et al., 2011). Estudios recientes han demostrado que la aplicación foliar de glutámico puede

aumentar los contenidos de clorofila y los parámetros de crecimiento en cultivos hortícolas, además de favorecer rendimiento y calidad de productos, debido a su participación en rutas metabólicas fundamentales para el desarrollo vegetal (Ramírez-Cruz et al., 2022; Serna-Rodríguez, 2011).

Sin embargo, la investigación sobre la respuesta específica de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a la aplicación foliar de ácido glutámico es aún incipiente, pese a su potencial impacto sobre el crecimiento, el estado nutrimental y el rendimiento del cultivo bajo condiciones de estrés abiótico características de regiones semiáridas. La literatura sugiere que aplicaciones foliares de aminoácidos individuales pueden modular procesos fisiológicos y mejorar parámetros productivos en diferentes especies, incluyendo aumentos en niveles de clorofila y rendimiento agronómico (Henderson et al., 2025; Turfan y Turan, 2023). Por ello, en el presente estudio se realizó la evaluación de cuatro dosis de ácido glutámico aplicadas en forma foliar al cultivo de alfalfa sobre el crecimiento, estado nutrimental y rendimiento.

## **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en el ejido Monterrey, ubicado en el valle de Mexicali, al noroeste de México, durante la temporada de verano de 2025. El cultivo evaluado fue alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad CUF 101, establecida con una edad aproximada de dos años al momento del experimento. El lote experimental se manejó bajo las prácticas agronómicas habituales de la región en cuanto a riego y fertilización, sin la aplicación previa de bioestimulantes. La aplicación de ácido glutámico se realizó de forma foliar el 27 de mayo de 2025 (justo después del corte y con plantas a una altura de 10-15 cm). Se evaluaron cuatro dosis: 0 (testigo), 50, 100 y 150 ppm de ácido glutámico. El experimento se estableció bajo un diseño experimental de cuadro latino, con el objetivo de reducir la variabilidad espacial del terreno (Steel et al., 1997). Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente dentro del diseño y cada dosis se aplicó una sola vez durante el periodo de evaluación.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) se midió a los 14, 18 y 20 días después de la aplicación

(dda) del ácido glutámico, utilizando un sensor óptico portátil, de acuerdo con la metodología propuesta por Rouse et al. (1974), la cual relaciona la reflectancia en el infrarrojo cercano y el rojo para estimar el vigor vegetal. El índice de clorofila se determinó mediante lecturas SPAD en hojas completamente expandidas a los 14, 18 y 24 dda, empleando un medidor portátil de clorofila, conforme a lo descrito por Markwell et al. (1995). La concentración de sólidos solubles totales se evaluó en el extracto celular del tallo el 14 de junio de 2025, utilizando un refractómetro digital y expresando los resultados en °Brix, siguiendo procedimientos estandarizados para tejidos vegetales (AOAC, 2016). El rendimiento se determinó mediante la cuantificación del peso fresco y peso seco de la biomasa aérea, expresados por metro cuadrado ( $m^2$ ). Para el peso seco, las muestras se deshidrataron en estufa de secado a temperatura constante hasta peso constante. El contenido relativo de agua (RWC) se calculó a partir de muestras foliares representativas, aplicando la metodología descrita por Barrs y Weatherley (1962), la cual es ampliamente utilizada para estimar el estado hídrico de los tejidos vegetales.

Para todas las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de identificar diferencias significativas entre tratamientos. Cuando se detectaron efectos significativos, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Adicionalmente, se realizaron análisis de regresión para describir la respuesta de las variables fisiológicas y productivas en función de las dosis de ácido glutámico.

## **Resultados y discusión**

El Cuadro 1 muestra el efecto de diferentes dosis de ácido glutámico sobre el NDVI en alfalfa bajo condiciones de verano en el valle de Mexicali. En términos generales, los valores de NDVI tendieron a disminuir conforme se incrementó la dosis de ácido glutámico en los tres momentos de evaluación. El tratamiento testigo ( $0 \text{ mg L}^{-1}$ ) presentó consistentemente los valores más altos de NDVI, mientras que la dosis de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  registró los valores más bajos. Aunque el efecto principal del ácido glutámico no fue estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ), se detectaron

respuestas significativas de tipo lineal en las tres fechas de muestreo, así como efectos cuadráticos a los 14 y 20 dda. Estos resultados sugieren una respuesta dependiente de la dosis, indicando que concentraciones crecientes de ácido glutámico pueden influir negativamente en el vigor vegetal reflejado por el NDVI.

### Cuadro 1

*Efecto del ácido glutámico sobre el NDVI en el cultivo de alfalfa en el valle de Mexicali, México.*

	14 dda†	18 dda	20 dda
Dosis (mg L <sup>-1</sup> )			
0	0.802	0.787	0.792
50	0.790	0.775	0.787
100	0.780	0.777	0.777
150	0.772	0.767	0.765
Significancia			
Ácido glutámico	0.131	0.184	0.085
L	0.014	0.036	0.014
Q	0.054	0.120	0.032

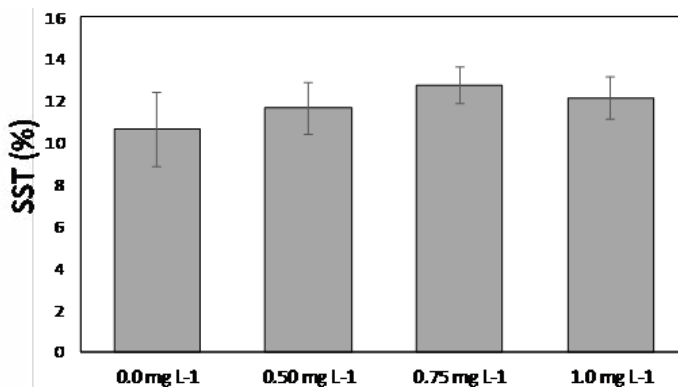
†dac: días después del corte.

<sup>z</sup> Valores dentro de la columna seguidos por diferente letra son estadística, entre diferentes (Tukey test).

La Figura 1 muestra el efecto de la aplicación foliar de ácido glutámico sobre la concentración de sólidos solubles totales (SST) en el cultivo de alfalfa. En general, se observó un incremento gradual en el contenido de SST conforme aumentó la dosis de ácido glutámico, respecto al tratamiento testigo (0.0 mg L<sup>-1</sup>). El valor más bajo de SST se registró en el testigo, mientras que las dosis intermedias y altas presentaron mayores concentraciones, destacando la dosis de 0.75 mg L<sup>-1</sup>, la cual mostró el valor promedio más alto. A partir de esta dosis, el contenido de SST tendió a estabilizarse o disminuir ligeramente en la dosis de 1.0 mg L<sup>-1</sup>. Estos resultados sugieren que la aplicación de ácido glutámico favorece la acumulación de solutos en el tejido vegetal, lo cual podría estar asociado a una mejora en la actividad metabólica y en el estado fisiológico del cultivo.

**Figura 1**

Efecto de la aplicación de ácido glutámico la concentración de sólidos solubles en el cultivo en alfalfa.



El Cuadro 2 presenta el efecto de la aplicación foliar de ácido glutámico sobre el índice de clorofila, medido con SPAD, en alfalfa a los 14, 18 y 24 dda, bajo condiciones del valle de Mexicali. En general, los valores de clorofila no mostraron una tendencia consistente asociada al incremento en la dosis de ácido glutámico en ninguno de los momentos de evaluación. A los 14 dda, el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> presentó el valor promedio más alto, mientras que a los 18 y 24 dda los valores fueron similares entre tratamientos. El análisis de varianza indicó que el efecto del ácido glutámico, así como las tendencias lineales y cuadráticas, no fueron estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) en ninguna de las fechas de muestreo. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones del estudio, la aplicación foliar de ácido glutámico no modificó de manera significativa el contenido de clorofila en el cultivo de alfalfa.

El Cuadro 3 muestra el efecto de la aplicación foliar de ácido glutámico sobre el rendimiento de alfalfa, expresado como peso fresco, peso seco y contenido relativo de agua (RWC), bajo condiciones del valle de Mexicali. En el peso fresco, el tratamiento con 50 mg L<sup>-1</sup> presentó el valor promedio más alto, mientras que la dosis de 100 mg L<sup>-1</sup> registró el menor rendimiento. Una tendencia similar se observó en el peso seco, donde la dosis de 50 mg L<sup>-1</sup> mostró el mayor valor, seguido del testigo, y las dosis más altas presentaron una reducción gradual. No

obstante, el análisis estadístico indicó que el efecto del ácido glutámico no fue significativo ( $p > 0.05$ ) para ninguna de las variables evaluadas. El contenido relativo de agua se mantuvo estable entre tratamientos, con valores cercanos al 27–29 %, lo que sugiere que la aplicación de ácido glutámico no modificó de manera apreciable el estado hídrico del cultivo.

### Cuadro 2

*Efecto de la aplicación de ácido glutámico, en el índice de clorofila en alfalfa. Mexicali, México.*

	14 dda†	18 dda	20 dda
Dosis (mg L <sup>-1</sup> )			
0	49.88	49.05	50.35
50	57.00	55.75	47.08
100	51.35	52.28	50.67
150	54.55	49.65	50.85
Significancia			
Ácido glutámico	0.617	0.557	0.802
L	0.536	0.869	0.829
Q	0.699	0.375	0.739

†dda: días después de la aplicación.

**Cuadro 3**

*Efecto de la aplicación de ácido glutámico, en el índice de clorofila en alfalfa. Mexicali, México.*

	<b>Peso fresco (kg m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso seco (kg m<sup>2</sup>)</b>	<b>CRA</b>
<b>Dosis (mg L<sup>-1</sup>)</b>			
0	1672	497	29
50	1904	517	27
100	1636	465	28
150	1477	425	28
<b>Significancia</b>			
Ácido glutámico	0.083	0.125	0.679
L	0.282	0.074	0.625
Q	0.079	0.060	0.538

†ddc: días después del corte. CRA: Contenido relativo de agua.

## Conclusión

La aplicación foliar de ácido glutámico en el cultivo de alfalfa bajo condiciones de verano en el valle de Mexicali mostró efectos diferenciados según la variable evaluada. El NDVI presentó una disminución conforme aumentó la dosis de ácido glutámico, lo que sugiere una posible afectación del vigor vegetal a concentraciones elevadas. En contraste, la concentración de sólidos solubles totales aumentó con dosis intermedias, indicando una estimulación del metabolismo vegetal. Sin embargo, el contenido de clorofila, el rendimiento (peso fresco y seco) y el contenido relativo de agua no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados indican que el ácido glutámico no mejora de manera consistente la productividad de la alfalfa bajo las condiciones evaluadas.

## Referencias

- AOAC. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20th ed.). AOAC International.
- Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413–428. <https://doi.org/10.1071/B19620413>
- Henderson, B.C.R., Sanderson, J.M. & Fowles, A. A review of the foliar application of individual amino acids as biostimulants in plants. *Discov Agric* 3, 69 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00222-7>
- Markwell, J., Osterman, J. C., & Mitchell, J. L. (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46(3), 467–472. <https://doi.org/10.1007/BF00032301>
- Ramírez-Cruz, M. Á., Bautista-Cruz, A., Báez-Pérez, A., Aquino-Bolaños, T., Morales, I., & García-Sánchez, E. (2022). La aplicación foliar de ácido glutámico mejora el rendimiento y algunos parámetros físico-químicos de la calidad del fruto de tomate. *Interciencia*, 47(1-2), 31-38.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 309–317.
- Serna-Rodríguez, José Reynaldo, Castro-Brindis, Rogelio, Colinas-León, María Teresa, Sahagún-Castellanos, Jaime, & Rodríguez-Pérez, Juan Enrique. (2011). Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 9-13.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Turfan, N. & Turan, B. (2023). Effects of glutamic acid applications on the yield and growth parameters in garlic (*Allium sativum* L.) cultivation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(1): 1-14. DOI:10.29050/harranziraat.1176239



# Capítulo 12

---

## **Efecto del gradiente de sombra sobre variables morfológicas en plántulas de cacao (*theobroma cacao l.*) en un clima cálido seco**

*Jaime Esteban Haas Tzuc*<sup>65</sup>

*Frida Idaly Bautista Alegría*<sup>66</sup>

*Edith González Lazo*<sup>67</sup>

*Benito Bernardo Dzib Castillo*<sup>68</sup>

*Rodolfo Ángel Uc Dzib*<sup>69</sup>

*Gustavo Enrique Mendoza Arroyo*<sup>70</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000305>



---

<sup>65</sup> Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, [jaime.ht@china.tecnm.mx](mailto:jaime.ht@china.tecnm.mx).

<sup>66</sup> Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

<sup>67</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

<sup>68</sup> Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, [bernadzib@ahoo.es](mailto:bernadzib@ahoo.es).

<sup>69</sup> Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

<sup>70</sup> Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

## Resumen

El presente estudio determinó el efecto de cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 %, 90 %) sobre el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. variedad Guayaquil) durante 45 días en condiciones de vivero en Campeche, México. Se midieron altura, diámetro del tallo y número de hojas cada dos semanas, calculándose posteriormente las tasas de crecimiento. Los datos se analizaron mediante Kruskal-Wallis seguido de prueba de Dunn debido a los tamaños muestrales desiguales. Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en altura y diámetro finales, siendo el 90 % de sombra el tratamiento que produjo plantas más altas ( $24.1 \pm 1.0$  cm) y el 35 % el que generó mayor diámetro ( $4.4 \pm 0.2$  mm). El análisis de tasas de crecimiento encontró que, mientras las tasas de altura fueron similares entre tratamientos ( $p = 0.743$ ), las tasas de diámetro presentaron diferencias significativas ( $p = 0.0227$ ), siendo el tratamiento de 35 % sombra el de mayor velocidad de engrosamiento ( $0.025$  mm/día). Se concluye que la variedad Guayaquil ajusta su patrón de crecimiento de manera diferenciada frente a gradientes lumínicos, asignando prioridad al crecimiento en altura bajo sombra alta y al engrosamiento del tallo bajo sombra moderada. Se recomienda 35-50 % de sombra para la producción de plantas robustas en vivero.

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), especie umbrófila de gran relevancia económica y sociocultural, presenta adaptaciones fenotípicas que le permiten aclimatarse a gradientes de luz, manifestadas en ajustes morfofisiológicos para la captura y uso eficiente de la radiación (Almeida y Valle, 2007; Daymond et al., 2011; Lahive et al., 2019).

En vivero, el manejo de la sombra es crucial para la calidad de las plántulas (Lahive et al., 2019). Tanto la sombra insuficiente como el

exceso pueden provocar estrés o crecimiento desbalanceado, afectando la aclimatación post-trasplante (Niether et al., 2020). Sin embargo, determinar el nivel óptimo es complejo, ya que muchos estudios se basan en medidas finales estáticas, las cuales pueden ocultar las dinámicas de crecimiento diario (Poorter y Garnier, 2007). El análisis de tasas de crecimiento ofrece una visión más precisa de las estrategias de adaptación bajo distintas condiciones lumínicas (Garnier, 1991).

Este estudio evaluó el efecto de cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 % y 90 %) sobre el crecimiento de plántulas de cacao ‘Guayaquil’ en vivero. Se compararon tanto los valores finales (altura, diámetro, número de hojas) como sus tasas de crecimiento, con el objetivo de identificar el nivel de sombra que optimice la producción de plantas robustas.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Chiná, en Campeche, México, ubicado a 20 msnm (19°45' N, 90°29' O). El clima de la zona se clasifica como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 26 °C y precipitación entre 1100 y 2000 mm anuales concentrada entre junio y octubre (García, 2004). Se utilizaron semillas de cacao de la variedad “Guayaquil” procedentes de Chiapas, sembradas en bolsas de polietileno negro con tierra de monte como sustrato. En el experimento se evaluaron cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 % y 90 %) empleando mallas raschel. Las estructuras de sombra, de 1.5 m de altura, cubrían parcelas individuales, en donde se estableció un diseño experimental completamente al azar con un número desigual de repeticiones por tratamiento debido a variaciones en la germinación: 0 % (n=3), 35 % (n=9), 50 % (n=16) y 90 % (n=14). Cada plántula constituyó una unidad experimental.

Las variables evaluadas fueron altura (cm), diámetro del tallo (mm) y número de hojas expandidas. Las mediciones se realizaron cada 14 días durante 45 días. A partir de estos datos se calculó la tasa de crecimiento absoluta (TCA) mediante la fórmula:  $TCA = (\text{Valor final} - \text{Valor inicial}) / 45 \text{ días}$ . Debido al reducido tamaño muestral en algunos tratamientos y

la naturaleza de las variables, se utilizaron pruebas no paramétricas. La comparación entre tratamientos se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis y, cuando fue significativa ( $p < 0.01$ ), se aplicó la prueba post-hoc de Dunn. Los análisis se llevaron a cabo en R (versión 4.3.1) y los resultados se expresaron como media  $\pm$  error estándar.

## Resultados y discusión

La respuesta morfométrica al gradiente de sombra reveló estrategias de crecimiento contrastantes (Cuadro 1). Se confirmaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en altura y diámetro, pero no en el número de hojas, lo que muestra la capacidad del cacao para modificar su forma en respuesta a la luz (Almeida y Valle, 2007).

La mayor altura final se obtuvo bajo 90 % de sombra, siendo superior a 35 % y 50 % (Figura 1), lo que coincide con la estrategia de escape a la sombra mediante elongación del tallo (Poorter y Garnier, 2007). Sin embargo, la tasa de crecimiento en altura fue similar entre tratamientos ( $\sim 0.13$  cm/día; Figura 2). Esto indica que las plantas crecieron al mismo ritmo durante el estudio, por lo que las diferencias observadas en la altura final probablemente se deban a variaciones en la altura inicial al momento de comenzar las mediciones.

Por el contrario, los mayores diámetros se registraron en sombra moderada (35-50 %), siendo significativamente superiores a 90 % de sombra (Figura 3). Este patrón se respaldó por la tasa de crecimiento en diámetro (TCD), que fue mayor en 35 % de sombra (0.025 mm/día) y triplicó la tasa bajo 90 % (0.008 mm/día; Figura 2). Esta respuesta indica una estrategia de aclimatación que favorece el engrosamiento del tallo bajo luz moderada, mejorando la robustez y preparación para el trasplante (Daymond et al., 2011; Niether et al., 2020).

La altura y el grosor del tallo respondieron de manera distinta a la sombra en esta variedad: mientras la altura dependió principalmente del tiempo de crecimiento bajo sombra, el grosor del tallo varió directamente con la cantidad de luz disponible, creciendo más rápido o más lento según la luminosidad. Este análisis de tasas de crecimiento demostró ser una herramienta más informativa que la comparación de valores finales,

ya que permitió identificar con precisión las estrategias de aclimatación (Garnier, 1991), optimizando así el manejo agronómico en vivero.

## Cuadros y figuras

### Cuadro 1

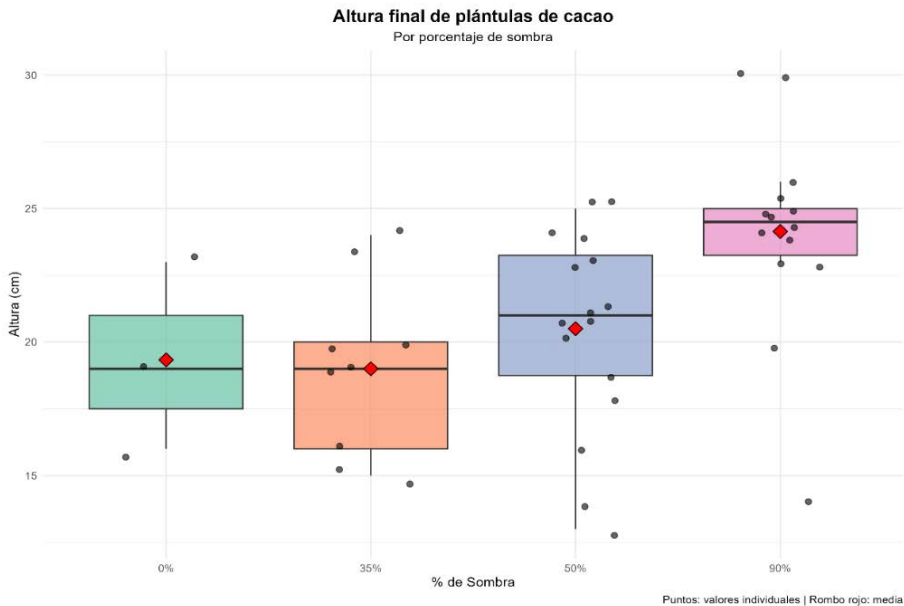
Valores finales de crecimiento (media  $\pm$  error estándar) de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. *Guayaquil*) bajo diferentes niveles de sombra artificial.

Tratamiento (% Sombra)	*n*	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Hojas (*n*)
0 %	3	19.3 $\pm$ 2.0	3.7 $\pm$ 0.1	7.7 $\pm$ 0.9
35 %	9	19.0 $\pm$ 1.1	4.4 $\pm$ 0.2	6.4 $\pm$ 0.4
50 %	16	20.5 $\pm$ 0.9	4.2 $\pm$ 0.2	7.1 $\pm$ 0.4
90 %	14	24.1 $\pm$ 1.0	3.5 $\pm$ 0.1	6.3 $\pm$ 0.5

Nota: Valores en negrita indican el máximo para cada variable. Diferencias estadísticas detalladas en el texto.

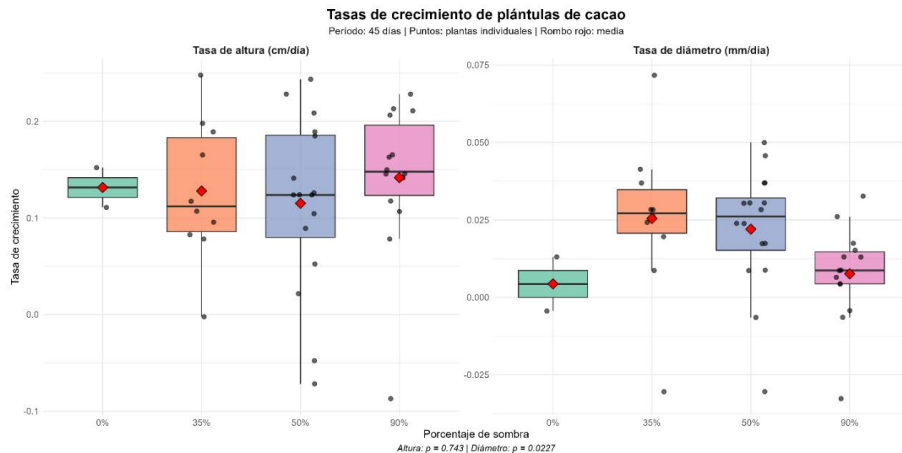
### Figura 1

Altura final de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. *Guayaquil*) bajo diferentes porcentajes de sombra.



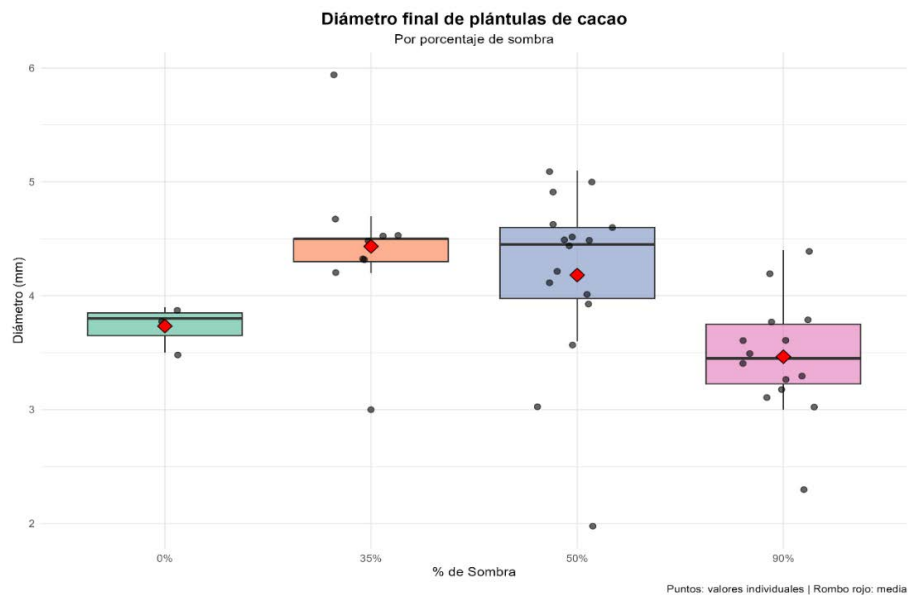
**Figura 2**

Tasas de crecimiento en altura y diámetro de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. Guayaquil) bajo diferentes porcentajes de sombra.



**Figura 3**

Diámetro final de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. Guayaquil) bajo diferentes porcentajes de sombra.



## Conclusiones

El presente estudio demuestra que la variedad ‘Guayaquil’ de cacao ajusta su forma de crecer de manera distinta frente a un gradiente de sombra en vivero. Mientras que la sombra alta (90 %) promueve plantas de mayor altura final, la sombra moderada (35-50 %) favorece el engrosamiento del tallo, tanto en su valor final como en su tasa de crecimiento. El análisis de tasas reveló que ambas variables responden de manera distinta: la altura dependió del tiempo de crecimiento bajo sombra, mientras que el grosor del tallo varió directamente con la cantidad de luz disponible. Para la producción de plantas robustas y estructuralmente competentes, se recomienda un rango de 35-50 % de sombra artificial. Estos hallazgos subrayan la utilidad del análisis de tasas de crecimiento como una herramienta diagnóstica más fina para el manejo agronómico en vivero.

## Referencias

- Almeida, A.-A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Daymond, A. J., Tricker, P. J., & Hadley, P. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum*, 55(1), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0013-y>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. <https://publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251>
- Garnier, E. (1991). Resource capture, biomass allocation and growth in herbaceous plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(4), 126–131. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90091-B](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90091-B)
- Lahive, F., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0>

- Niether, W., Glawe, A., Pfohl, K., & Gerold, G. (2020). The effect of short-term vs. long-term soil moisture stress on the physiological response of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 92(3), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00638-9>
- Poorter, H., & Garnier, E. (2007). Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. En F. I. Pugnaire & F. Valladares (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2nd ed., pp. 67–100). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420007626>

# Capítulo 13

---

## Estado actual del cultivo de maíz en la región agrícola del delta del río Colorado

*Jareth Ávalos Magaña*<sup>71</sup>

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*<sup>72</sup>

*Raúl Enrique Valle Gough*<sup>73</sup>

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*<sup>74</sup>

*María Isabel Escobosa García*<sup>75</sup>

*Jesús del Rosario Ruelas Islas*<sup>76</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>77</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000312>



---

<sup>71</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

<sup>72</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

<sup>73</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

<sup>74</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

<sup>75</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

<sup>76</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del valle del Fuerte, Juan José Ríos, Sinaloa, México.

<sup>77</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México, [fidel.nunez@uabc.edu.mx](mailto:fidel.nunez@uabc.edu.mx).

## Resumen

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es un componente clave del sistema agrícola del noroeste de México, particularmente en la región del delta del río Colorado, donde la productividad está condicionada por factores ambientales, genéticos y de manejo. El objetivo de este estudio fue evaluar el estado actual del cultivo de maíz en los valles de Mexicali, Baja California, y San Luis Río Colorado, Sonora, mediante la comparación del rendimiento en función del lugar de producción, la variedad sembrada y el año agrícola. El análisis se basó en registros de rendimiento correspondientes a siembras comerciales establecidas durante los años 2016-2020 y 2024, en distintos ejidos y colonias de la región. Se evaluaron cuatro variedades comerciales: DK 1050, Garañón, RX 717 y RX 860. El rendimiento de grano, expresado en toneladas por hectárea, se analizó mediante diseños completamente al azar con repeticiones desiguales para las comparaciones por lugar y variedad, utilizando análisis de varianza y la prueba de Tukey. La evolución temporal del rendimiento se evaluó mediante modelos de regresión cuadrática. Los resultados evidenciaron una amplia variabilidad espacial del rendimiento, con valores entre 7.6 y 15.3 t ha<sup>-1</sup>. A nivel varietal, RX 860 y RX 717 presentaron los mayores rendimientos. Asimismo, se observó una tendencia general de incremento del rendimiento a lo largo del periodo de estudio, aunque con marcada variabilidad interanual, confirmando la influencia conjunta del ambiente, el genotipo y el año.

## Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) constituye un pilar agroalimentario y socioeconómico en muchas regiones del mundo, incluida la porción norte del delta del río Colorado, donde la agricultura intensiva enfrenta limitantes ambientales y de manejo que condicionan la productividad (Shiferaw, Prasanna, Hellin y Bänziger, 2011). La variación espacial en suelo,

disponibilidad de agua y prácticas de manejo genera diferencias notables en rendimiento entre localidades; por ello, los estudios regionales que describen el comportamiento del cultivo a escala de ejido y colonia son fundamentales para identificar brechas de rendimiento y orientar intervenciones tecnológicas (Van Ittersum et al., 2013). Además, la interacción entre manejo agronómico y condiciones locales determina la expresión productiva y la estabilidad del rendimiento a lo largo del tiempo.

La respuesta del maíz es igualmente dependiente del material genético empleado: las interacciones genotipo  $\times$  ambiente ( $G \times E$ ) explican gran parte de la variabilidad observada entre años y sitios, y justifican la evaluación comparativa de variedades adaptadas a condiciones marginales o estresantes (Ceccarelli, 1994; Bänziger, Edmeades, Beck y Bellon, 2000). En regiones áridas y con riego limitado, la selección de híbridos con tolerancia a estrés hídrico y eficiencia en el uso de nutrientes resulta crítica para reducir la brecha productiva (Bänziger et al., 2000). En este contexto, el objetivo de este documento es evaluar el estado actual del cultivo de maíz en el delta del río Colorado mediante la comparación de rendimientos por lugar, variedad y año, e identificar patrones espacio-temporales relevantes para la toma de decisiones agronómicas.

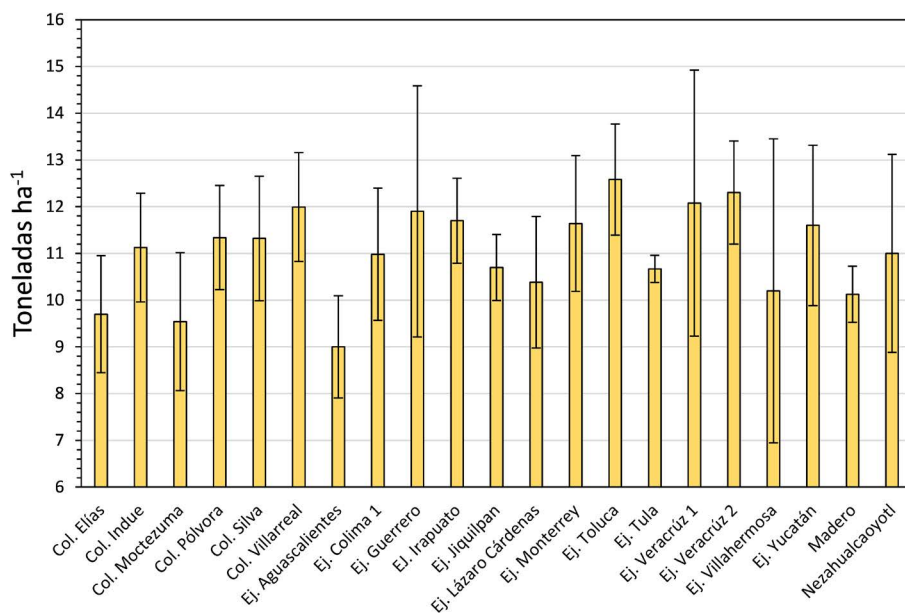
## **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en diferentes ejidos y colonias agrícolas localizados en los valles de Mexicali, Baja California, y San Luis Río Colorado, Sonora, en la región noroeste de México, correspondiente al delta del río Colorado. Esta región se caracteriza por un sistema de producción agrícola intensivo bajo condiciones de clima árido, con predominio del cultivo de maíz durante el ciclo primavera-verano. Durante el periodo de estudio se registraron rendimientos de maíz correspondientes a siembras comerciales establecidas en los años 2016 a 2020 y 2024. Se evaluaron cuatro variedades comerciales ampliamente utilizadas en la región: DK 1050, Garañón, RX 717 y RX 860. Las características agronómicas y productivas de cada variedad, incluyendo su adaptación regional y potencial de rendimiento, corresponden a las especificaciones técnicas proporcionadas por las casas comerciales y se encuentran disponibles en los enlaces oficiales de cada material.

La variable de respuesta considerada en el estudio fue el rendimiento de grano, expresado en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ). Para el análisis del rendimiento por lugar, independientemente del año y la variedad sembrada, así como para el análisis del rendimiento por variedad, sin considerar el año ni el sitio de producción, se utilizó un diseño completamente al azar con un número de repeticiones no igual entre tratamientos, debido a la naturaleza observacional y multianual de los datos. En estos casos, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y, cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para evaluar el comportamiento del rendimiento a lo largo del tiempo, se realizaron análisis de regresión cuadrática considerando el año de siembra como variable independiente, con el fin de identificar tendencias temporales en la productividad del cultivo en la región de estudio. Todos los análisis estadísticos se realizaron conforme a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

**Figura 1**

*Rendimiento del cultivo de maíz en los ejidos y colonias de los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado Sonora (delta del río Colorado).*

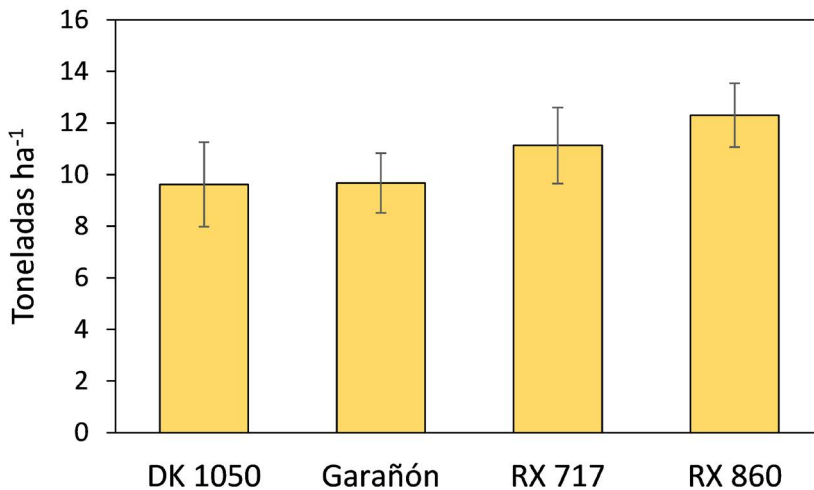


La Figura 1 muestra la variación del rendimiento del cultivo de maíz expresado en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) en diferentes ejidos y colonias de los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado durante el periodo de estudio. En términos generales, los rendimientos oscilaron entre aproximadamente 7.6 y 15.3  $t\ ha^{-1}$ , lo que evidencia una marcada heterogeneidad productiva entre localidades. Colonias como Indue, Silva, Villarreal y Pólvora, así como ejidos como Colima 1, Irapuato, Toluca y Veracruz, presentaron rendimientos promedio relativamente altos, con valores frecuentes por encima de 12  $t\ ha^{-1}$ . En contraste, localidades como Aguascalientes, Baja California, Moctezuma y algunas observaciones en Veracruz y Villahermosa mostraron rendimientos más bajos y mayor variabilidad.

La dispersión de los datos dentro de cada localidad, reflejada en el rango de valores observados, indica que el rendimiento del maíz en la región no solo depende del sitio de producción, sino también de factores asociados al manejo agronómico, las condiciones edafoclimáticas y la respuesta varietal a lo largo del tiempo. En conjunto, la figura pone de manifiesto que el delta del río Colorado presenta un amplio potencial productivo para el cultivo de maíz, aunque con diferencias espaciales importantes que deben considerarse para la toma de decisiones y la planeación agrícola regional.

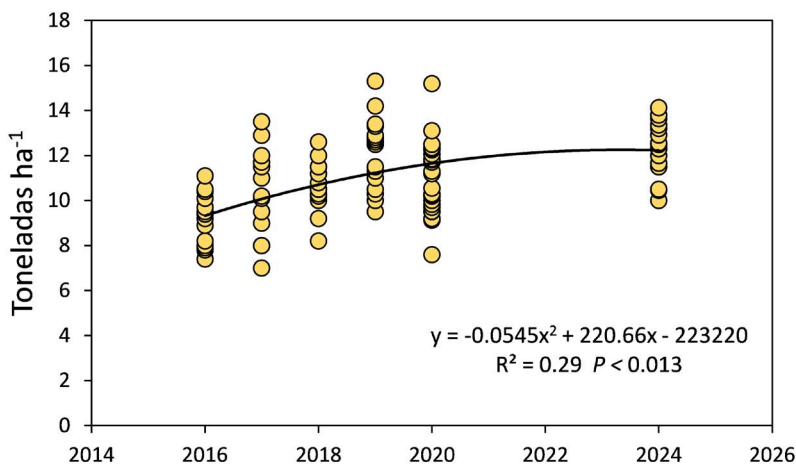
**Figura 2**

Rendimiento de cuatro variedades de maíz en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado Sonora (delta del río Colorado).



**Figura 3**

Evolución de la producción del cultivo de maíz en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado Sonora (delta del río Colorado), durante los años 2016 al 2024.



La Figura 2 presenta el rendimiento promedio del cultivo de maíz, expresado en toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), correspondiente a cuatro va-

riedades comerciales evaluadas en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado. En términos generales, se observan diferencias en el desempeño productivo entre los materiales genéticos evaluados. La variedad RX 860 mostró el mayor rendimiento, con valores cercanos a 12 t ha<sup>-1</sup>, seguida por RX 717, que presentó rendimientos alrededor de 11 t ha<sup>-1</sup>. En contraste, las variedades DK 1050 y Garañón registraron rendimientos promedio inferiores, cercanos a 10 t ha<sup>-1</sup>. Las barras de error indican la variabilidad asociada a cada variedad, reflejando la influencia de las condiciones ambientales y de manejo presentes en los distintos sitios y años de evaluación. En conjunto, la figura evidencia una respuesta diferencial de las variedades de maíz en la región del Delta del Río Colorado, lo que resalta la importancia de la selección varietal para optimizar el rendimiento del cultivo bajo las condiciones productivas locales.

La Figura 3 muestra la evolución temporal del rendimiento del cultivo de maíz, expresado en toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado durante el periodo 2016-2024. Los puntos representan los valores de rendimiento registrados en diferentes localidades y variedades para cada año de evaluación, mientras que la línea corresponde a un modelo de regresión cuadrática ajustado a los datos. En general, se observa una tendencia de incremento gradual del rendimiento a lo largo del periodo de estudio, con valores promedio cercanos a 9-10 t ha<sup>-1</sup> en los primeros años y superiores a 12 t ha<sup>-1</sup> en los años más recientes. El modelo cuadrático presentó un ajuste significativo ( $R^2 = 0.29$ ;  $p < 0.013$ ), lo que indica que una proporción relevante de la variación del rendimiento puede explicarse por el efecto del año. No obstante, la dispersión de los datos dentro de cada año evidencia una alta variabilidad interanual, asociada a diferencias ambientales, de manejo y de respuesta varietal. En conjunto, la figura sugiere una mejora progresiva en la productividad del maíz en la región del delta del río Colorado durante el periodo analizado.

## Conclusión

El análisis multianual del rendimiento del maíz en los valles de Mexicali y San Luis Río Colorado evidencia que la productividad del cultivo

está fuertemente condicionada por la localidad, la variedad y el año de siembra. La amplia variabilidad espacial observada confirma la influencia de factores ambientales y de manejo, mientras que las diferencias entre variedades resaltan la importancia de la selección genética para maximizar el rendimiento regional. Asimismo, la tendencia temporal positiva registrada entre 2016 y 2024 sugiere avances en prácticas productivas y adaptación del cultivo. En conjunto, estos resultados aportan una base técnica para orientar decisiones agronómicas y estrategias de mejora productiva en el delta del río Colorado.

## Referencias

- Bänziger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., & Bellon, M. (2000). *Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice*. CIMMYT.
- Ceccarelli, S. (1994). Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica*, 77(3), 205–219. <https://doi.org/10.1007/BF02262633>
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3(3), 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance — A review. *Field Crops Research*, 143, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>

# Capítulo 14

---

## Efecto de recubrimientos comestibles en aspectos de calidad de dátil mejhoul en almacenamiento

*Julio César Palacios Arreguín*<sup>78</sup>

*Ricardo Romero Figueroa*<sup>79</sup>

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*<sup>80</sup>

*Raúl Enrique Valle Gough*<sup>81</sup>

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*<sup>82</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>83</sup>

*María A. Payán Arzapalo*<sup>84</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000329>



---

<sup>78</sup> Estudiantes del programa de Ingeniería en Agronomía de la Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>79</sup> Estudiantes del programa de Ingeniería en Agronomía de la Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>80</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705, [samaniego.blancka@uabc.edu.mx](mailto:samaniego.blancka@uabc.edu.mx).

<sup>81</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>82</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>83</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>84</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80000. Sinaloa, México. C. P. 80000.

## Resumen

El cultivo de palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.) es uno de los principales cultivos en países árabes. En América, México es el principal país productor de dátiles, con producción de Baja California y Sonora. Sin embargo, existen pérdidas de calidad en poscosecha, por el limitado conocimiento de estas técnicas al ser consideradas ventajas competitivas. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar los efectos de la aplicación de recubrimiento comestible en la calidad poscosecha en dátiles Mejhoul en almacenamiento. Se colectaron frutos en etapa Routab y Tamar, en el Valle de Mexicali, en el ciclo 2024, los cuales fueron procesados y clasificados de acuerdo con la norma NMX-FF-117-SCFI-2012. Se evaluaron los tratamientos de recubrimiento comestible (RC) al 50 % y 25 % y manejo convencional (MC). Se evaluó peso, tamaño, contenido de sólidos solubles totales, firmeza y humedad, a los 0, 10 y 20 días después del establecimiento, en un diseño completamente al azar. Las tecnologías poscosecha utilizadas modificaron las características de calidad del dátil, concluyendo que el MC ayuda a acelerar la pérdida de peso y tamaño, provocando el aumento de azúcares y la firmeza. El uso del RC provoca una menor pérdida de agua, que ralentiza la pérdida de peso y tamaño, causando un aumento más lento en los azúcares y contenido de sólidos solubles totales.

## Introducción

Actualmente, a nivel mundial, el cultivo de palma datilera se lleva a cabo en regiones áridas que poseen las condiciones edafoclimáticas para su cultivo a nivel comercial, siendo los principales países con la mayor superficie sembrada Irak, Argelia, Arabia Saudita, Irán y Pakistán. Particularmente, la variedad Mejhoul durante 2020 tuvo una producción mundial de 108 498 toneladas de dátil (Zaid y Oihabi 2022).

En México, la principal zona productora de palma datilera se ubica en las regiones del Valle de San Luis Río Colorado y Valle de Mexicali, en donde se encuentran alrededor de 165 productores que enfrentan algunos desafíos en las etapas de pre y poscosecha de dátil, alcanzando pérdidas del 20 al 30 % por daños al fruto y hasta 50 % en frutos que requieren de algún procesamiento para mejorar su estado (Valle et al., 2025; Blando, 2019).

Las técnicas poscosecha, para frutas de consumo fresco, como el dátil, se fundamentan en la manipulación del ambiente que rodea al producto: temperatura, humedad, luz y atmósfera (Rodríguez et al., 2021). Los recubrimientos comestibles son compuestos que se aplican directamente sobre el producto que se pretende proteger; se aplican en forma líquida sobre el alimento por inmersión en una solución de sustancias formadoras de una matriz estructural (carbohidratos, proteínas, lípidos o mezclas de estos). Por lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de recubrimientos comestibles en aspectos de calidad de dátil Mejhoul en almacenamiento.

## **Materiales y métodos**

Se realizó la colecta de dátiles de la variedad Mejhoul en etapa Routab y Tamar, en un sitio de plantación del Valle de Mexicali, en palmas de 18 a 20 años, durante el ciclo de producción 2024. Los frutos fueron colocados en bolsas de plástico, etiquetados, mantenidos a 10 °C y trasladados al Laboratorio de Fisiología y Manejo Poscosecha y Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC) para su procesamiento. Los dátiles colectados fueron clasificados de acuerdo con la Norma de productos alimenticios para el consumo humano —dátiles— especificaciones (NMX-FF-117-SCFI-2012).

Se evaluó el efecto de un recubrimiento comercial comestible (Clarity Vegshine) al 50 % (T2) y 25 % (T3), donde el recubrimiento se diluyó en una solución acuosa de Tween-80 (1 % v/v). Finalmente, se realizaron análisis no destructivos (peso y tamaño) y destructivos (firmeza, contenido de sólidos solubles totales (SST expresados en ° Brix) y contenido de

humedad) para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados (Ghafoor et al., 2022; Kader y Pelayo, 2011; AOAC, 1980) con diferentes tiempos de almacenamiento (0, 10 y 20 d). Se estableció un testigo absoluto (T0) y un testigo con caja de plástico sin recubrimiento (T1).

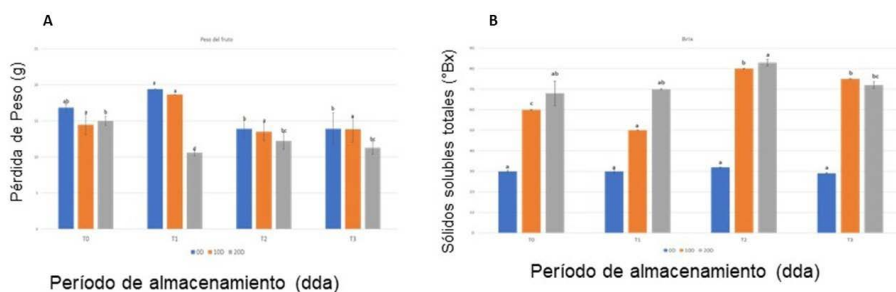
Se utilizó un diseño completamente al azar, donde la unidad experimental fueron 4 dátiles por tratamiento con triplicados técnicos, con un total de 48 frutos evaluados. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por Tukey con  $p \leq 0.05$ . Los datos fueron analizados en el programa estadístico IBM SPSS versión 17.

## Resultados y discusión

Se observó una tendencia a la disminución de peso de frutos conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Fig. 1 A). La mayor variación entre los tratamientos se observó a los 20 días de almacenamiento, donde el T1 fue el que mostró una pérdida significativa de peso. Así mismo, se pudo observar que los dátiles del T2 mostraron una mayor cantidad de SST al compararse con T3 (Fig. 1 B).

### Figura 1

Efecto de recubrimientos comestibles en frutos de dátil con diferentes tiempos de almacenamiento. A) Pérdida de peso, B) Contenido de sólidos solubles totales.



Los frutos tratados con recubrimiento (T2, T3) mostraron una menor pérdida de peso al compararlos con frutos empacados y sin recubrimiento (T1), lo cual coincide con reportes previos donde, al aumentar el tiempo de almacenaje, los frutos pierden humedad por acción de la tasa

transpiratoria propia del fruto, y es el uso de recubrimientos comestibles lo que permite disminuir la pérdida de humedad al proveer una barrera física que disminuye la pérdida de humedad (Ghafoor et al., 2022). Un comportamiento similar se observó con el contenido de SST, donde, al disminuir el peso fresco, los solutos presentes en fruto (azúcares, ácidos orgánicos) aumentan, donde los frutos con recubrimiento mostraron una mayor cantidad de SST, lo cual sugiere un aumento en la actividad de enzimas hidrolíticas y una mayor actividad metabólica debido a un mayor contenido de agua en fruto.

## Conclusiones

En conclusión, se puede observar que los efectos del recubrimiento comestible mostraron un mejoramiento en la conservación de calidad de los dátiles Mejhoul. El empaque de una caja de plástico (MC) causó un efecto de mayor pérdida de humedad que disminuye el peso y tamaño de los dátiles, e incrementó el azúcar y firmeza de los frutos. Se aplicó recubrimiento comercial en dos dosis, 25% y 50%, las cuales mostraron un efecto de disminución en pérdida de humedad, causando una menor pérdida de peso y tamaño, así como un menor incremento en azúcares y firmeza de los frutos; la dosis que, según los datos obtenidos, es mejor, podría ser la de 25%, que mostró un efecto similar al de la del 50%, por lo que no sería necesario un mayor uso de recubrimiento para conservar la calidad del fruto.

## Referencias

- Zaid, A., & Oihabi, A. (2022). *Mejhoul variety, the jewel of dates: Origin, distribution and international markets*. Khalifa International Award for Date Palm and Agricultural Innovation. KIADPAI.
- Valle, K. L., Ramírez, J. A. G., Rosas, V. Q., Pérez, M. D. J. L., & Suni, C. S. A. (2025). Desafíos de los productores de dátil en Mexicali: Análisis de la problemática y estrategias en el contexto del modelo NODESS del ITM. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 8(3), 1–19.

- Blando Briceño, L. F. (2019). *Determinación de parámetros para procesos poscosecha de dátil Mejhoul*. Tesis de licenciatura, CETYS Universidad. Repositorio CETYS. <https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1217>](<https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1217>)
- Rodríguez, L. B. D., & de Hernández, R. M. A. (2021). Tecnologías poscosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(1).
- AOAC. (1980). Official methods of analysis (13th ed.). *Association of Official Analytical Chemists*.
- Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., Sarker, M. Z. I., & Ahmed, I. A. M. (2022). Effects of functional edible coatings and storage on bioactive compounds, antioxidant properties and sugars in Barhi dates. *Horticulturae*, 8(12), 1185.
- Kader, A. A., & Pelayo-Zaldívar, C. (2011). *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas*. UCANR Publications.

# Capítulo 15

---

## **Bioprospección de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en sustratos lignocelulósicos para hortalizas de viveros comunitario**

*Kelly Alison Damián de la Cruz*<sup>85</sup>

*Blanca del Rosario Martín Canché*<sup>86</sup>

*Eliezer del Jesús Casado Ramírez*<sup>87</sup>

*José Luis Guillén Taje*<sup>88</sup>

*Guillermina Velasco Viveros*<sup>89</sup>

*Maximiliano Vanoye Eligio*<sup>90</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000336>



---

<sup>85</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche.

<sup>86</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche, [blanca.mc@escarcega.tecnm.mx](mailto:blanca.mc@escarcega.tecnm.mx).

<sup>87</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche.

<sup>88</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche.

<sup>89</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche.

<sup>90</sup> Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n esq.10-B, Col. Unidad Esfuerzo y Trabajo I, CP 24350, Escárcega, Campeche.

## Resumen

La bioprospección microbiana representa una estrategia innovadora para la identificación y aprovechamiento de microorganismos benéficos a partir de residuos agrícolas, particularmente de materiales lignocelulósicos. En Escárcega, Campeche, los viveros comunitarios enfrentan limitaciones productivas asociadas a la degradación del suelo, el alto costo de insumos químicos y la falta de alternativas sustentables, lo que hace necesaria la búsqueda de soluciones basadas en recursos locales. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV), aislados de productos lignocelulósicos, para mejorar el desarrollo y la productividad de hortalizas en viveros comunitarios. La investigación se desarrolló bajo condiciones controladas en el Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, mediante técnicas microbiológicas para el aislamiento de microorganismos nativos, así como ensayos *ex vitro* con un diseño experimental completamente al azar. Se analizaron variables de crecimiento vegetal, como la altura del tallo y el número de hojas, además de pruebas relacionadas con mecanismos de defensa vegetal. Los resultados evidenciaron que los tratamientos con consorcios microbianos presentaron un mejor desempeño en comparación con el testigo, mostrando incrementos significativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se concluye que los MPCV aislados de sustratos lignocelulósicos contribuyen a mejorar la nutrición vegetal, fortalecer las defensas de las plantas y optimizar la estructura del suelo, constituyendo una alternativa sustentable para incrementar la producción agrícola en viveros comunitarios.

## Introducción

La bioprospección es un enfoque orientado a la identificación y aprovechamiento de compuestos, genes y organismos presentes en los recursos biológicos con potencial para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones (Sali, 2014). En el ámbito agrícola, los viveros comunitarios desempeñan un papel fundamental en la producción de hortalizas destinadas al autoconsumo y al fortalecimiento de la economía local; no obstante, su productividad se ve limitada por la baja fertilidad de los suelos, el acceso limitado a insumos agrícolas y la dependencia de fertilizantes químicos de alto costo y con impactos negativos al ambiente (Rodríguez, 2024)

Ante esta situación, los Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (MPCV) surgen como una alternativa sustentable al uso de fertilizantes sintéticos, al favorecer el desarrollo vegetal y mejorar el rendimiento de los cultivos en sistemas productivos locales (Reyes et al., 2024). En este contexto, los productos lignocelulósicos, al ser residuos agrícolas ricos en materia orgánica, constituyen un reservorio natural de microorganismos benéficos con potencial aplicación agrícola (Tanya y Leiva-Mora, 2019).

En las zonas cercanas a Escárcega, especialmente en el ejido Kilómetro 36, la jícama es un cultivo importante tanto para la agricultura como para la economía local. En esta área se destinan alrededor de 150 hectáreas al programa Sembrando Vida, donde la producción agrícola principalmente es en jícama y maíz (Esparza, 2024). A pesar de su demanda local y su importancia económica, la jícama enfrenta limitaciones asociadas a la dependencia de las lluvias por la falta de sistemas de riego, así como a la incidencia de plagas como pulgones, chinches y tejones, que generan pérdidas significativas (Valles-Salas et al., 2025).

Por ello, se realizaron ensayos *ex vitro* bajo condiciones controladas en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, con el fin de estudiar y aplicar microorganismos nativos aislados de productos lignocelulósicos como una estrategia para mejorar el desarrollo del cultivo y reducir la dependencia de insumos convencionales.

## **Materiales y métodos**

El estudio se desarrolló en el kilómetro 36 del municipio de Escárcega, Campeche, una zona agrícola donde el cultivo de jícama es una actividad representativa, razón por la cual se utilizaron semillas de esta especie para la evaluación en condiciones *ex vitro*. Como residuo lignocelulósico se empleó cascarilla de arroz, obtenida de una arrocería local, la cual se utilizó como sustrato para el aislamiento de los microorganismos evaluados. El material fue lavado y secado a temperatura ambiente; posteriormente, se realizó el estudio en muestras no esterilizadas y esterilizadas en autoclave.

Ambas fracciones de cascarilla de arroz se sembraron en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) bajo condiciones asépticas e incubadas a 26-28 °C para favorecer el desarrollo microbiano. Las colonias obtenidas se aislaron y conservaron en medio líquido estéril para su posterior uso. Las cepas aisladas se utilizaron para preparar suspensiones acuosas en una proporción 4:1 (agua destilada: inóculo), en las cuales las semillas de jícama se sumergieron durante una hora antes de la siembra.

La aplicación de los consorcios microbianos se realizó en vivero bajo condiciones *ex vitro*, utilizando un diseño experimental completamente al azar y un periodo de evaluación de un mes. Los tratamientos incluyeron consorcios derivados de cascarilla de arroz esterilizada y no esterilizada, así como un testigo sin inoculación. Durante el ensayo se evaluaron variables de crecimiento vegetal, tales como altura del tallo, número de hojas y peso fresco, y se realizaron pruebas cualitativas de alcaloides en raíz y tallo mediante los reactivos de Dragendorff y Hager. Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y el uso de gráficas comparativas para identificar diferencias entre los tratamientos.

## **Resultados y discusión**

Los consorcios microbianos nativos asociados a residuos lignocelulósicos han sido ampliamente reconocidos por su capacidad para estimular el crecimiento vegetal y mejorar el vigor de las plantas (Steven, 2020; Echeverri et al., 2023). En el presente estudio, la identificación microscópica de los microorganismos aislados de la cascarilla de arroz evidenció la

presencia de levaduras del género *Saccharomyces*, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, así como bacterias bacilares Gram positivas del género *Bacillus*, destacando *Bacillus subtilis* (Figura 1). Ambos grupos han sido reportados como microorganismos promotores del crecimiento vegetal debido a su participación en la solubilización de nutrientes, producción de fitohormonas y síntesis de metabolitos que favorecen el desarrollo radicular y aéreo de las plantas.

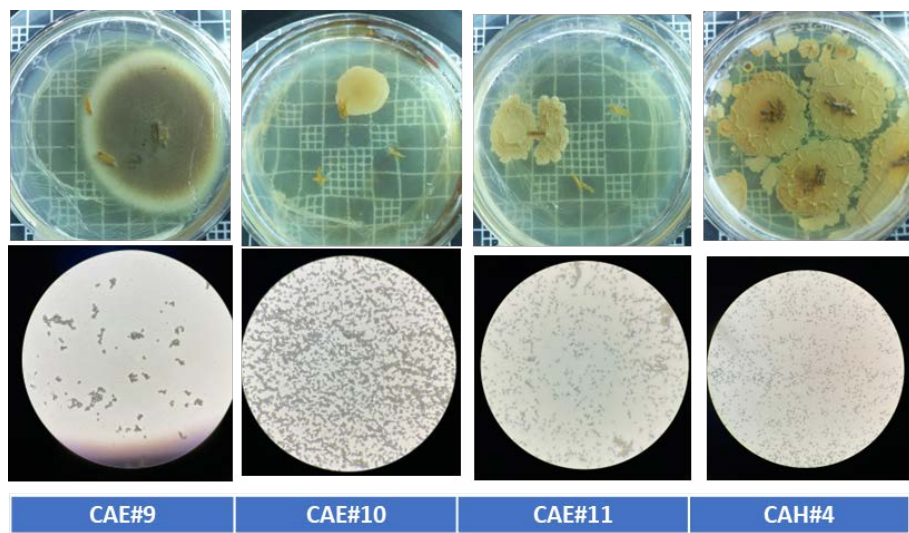
Las levaduras asociadas a ambientes ricos en materia orgánica contribuyen a la disponibilidad de nutrientes y a la producción de compuestos bioactivos que favorecen la germinación y el establecimiento inicial de las plántulas de jícama. Por su parte, las bacterias del género *Bacillus* se caracterizan por su capacidad para degradar materia orgánica, formar biofilms protectores en la rizosfera y producir sustancias promotoras del crecimiento, como auxinas y otros reguladores vegetales, lo que resulta particularmente beneficioso en cultivos de jícama durante las etapas tempranas de desarrollo. La interacción y coexistencia de estos grupos microbianos favorece una mayor asociación planta–microorganismo, lo que se traduce en un mejor desempeño fisiológico y un desarrollo vegetativo superior, reflejado en incrementos significativos en la altura del tallo y el número de hojas (Gráficas 1 y 2), en concordancia con lo reportado por Pedraza et al. (2010) y Saltos Zambrano (2022).

Asimismo, las pruebas de alcaloides mostraron diferencias en la respuesta bioquímica de las plantas en función del tratamiento aplicado. El testigo presentó una reacción moderada con el reactivo de Dragendorff y ausencia de respuesta con Hager, mientras que las plantas inoculadas con consorcios microbianos exhibieron reacciones positivas con ambos reactivos, con variaciones en la intensidad. En particular, algunos consorcios derivados de cascarilla de arroz esterilizada mostraron respuestas más marcadas, lo que sugiere una mayor acumulación de compuestos alcaloides (Cuadro 1). Esta respuesta bioquímica indica que la inoculación microbiana puede inducir modificaciones en el metabolismo secundario de la jícama, posiblemente relacionadas con mecanismos de defensa, adaptación y fortalecimiento fisiológico de las plantas (Eastman et al., 2022).

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que las bioformulaciones microbianas elaboradas a partir de microorganismos nativos

aislados de la cascarilla de arroz ejercen un efecto positivo sobre el crecimiento y desarrollo de la jícama, particularmente durante las etapas iniciales del cultivo. Dicho efecto se refleja en un mayor desarrollo del tallo y en el incremento del número de hojas en comparación con el tratamiento testigo. Resultados concordantes han sido reportados en la aplicación de bioformulaciones microbianas en diversos cultivos de importancia económica, como chile habanero (Reyes-Ramírez et al., 2014; Castillo-Nole, 2024), tomate (Hernández-Valladares et al., 2021) y maíz (Quintal-Vargas, 2024), entre otros (De Salamone, 2012). La respuesta fisiológica y bioquímica observada en este estudio respalda el potencial de estas bioformulaciones como bioinsumos agrícolas sustentables, capaces de mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de jícama en viveros comunitarios y en sistemas productivos locales.

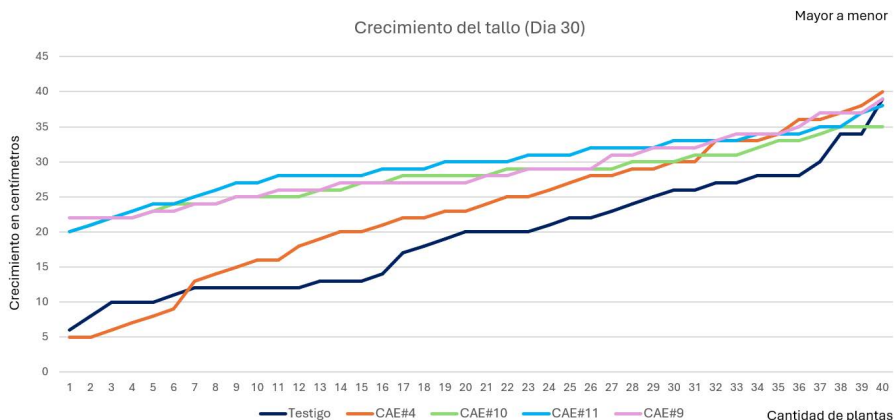
**Figura 1**  
*microorganismos presentes en productos lignocelulósicos.*



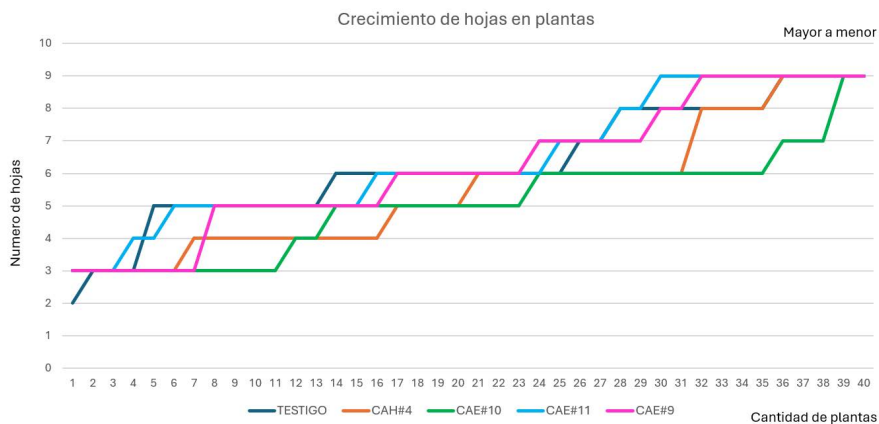
**Cuadro 1***Resultados de pruebas de alcaloides.*

<b>ID</b>	<b>Testigo (sin reactivos)</b>	<b>Drangendorff</b>	<b>Hager</b>
Testigo (extracto)	Sin presencia (-)	Presencia moderada (++) , Coloración naranja intensa, sin residuos	Sin presencia de cristales (-)
CAE#9	Presencia leve (+), tiene un color coral claro, sin residuos	Presencia moderada (++) , Coloración naranja un tono más claro y libre de residuos	(++) Presencia moderada, con una transparencia opaca
CAE#10	Presencia leve (+), coloración coral clara transparente, sin residuos	Presencia moderada (++) , Coloración naranja, sin residuo, sin variación de coloración	Con una leve presencia de cristales (+)
<b>ID</b>	<b>Testigo (sin reactivos)</b>	<b>Drangendorff</b>	<b>Hager</b>
CAE#11	Sin presencia (-)	Presencia moderada (++) , Coloración naranja, sin residuos	Presencia muy marcada, con mayor opacidad (+++)
CAH#4	Presencia leve (+), coloración amarillo claro transparente, sin residuos	Presencia muy marcada (+++), Coloración naranja un tono más oscuro, sin residuos	Presencia leve, con opacos y transparencia (+)

**Gráfica 1**  
Crecimiento del tallo de jícama.



**Gráfica 2**  
Crecimiento de hojas de jícama.



## Conclusiones

Los consorcios microbianos nativos obtenidos de la cascarilla de arroz mostraron un efecto positivo en el desarrollo de la jícama en viveros comunitarios, evidenciado por un mayor crecimiento del tallo y un incremento en el número de hojas respecto al tratamiento testigo. La presencia de levaduras del género *Saccharomyces* y bacterias del género *Bacillus*

explica el mejor desempeño vegetativo observado, ya que estos microorganismos favorecen la disponibilidad de nutrientes y el vigor de las plantas. En conjunto, los resultados respaldan el uso de microorganismos asociados a residuos lignocelulósicos como una alternativa sustentable y viable para promover el crecimiento vegetal y reducir la dependencia de insumos agrícolas convencionales.

## Referencias

- Castillo-Nole, M. J., Vega-Ronquillo, M., Pechu-Santisteban, J. M., & Campos-Albornoz, M. E. (2024). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. como promotores de crecimiento y producción del tomate en un biohuerto urbano. *Revista Investigación Agraria*, 6(3), 13-23.
- De Salamone, I. E. G. (2012). Microorganismos promotores del crecimiento vegetal. *Informaciones Agronómicas*, 12.
- Eastman, I., Alonso, V., Armand Ugón, V., Rondoni, M., Ferreira, V., Rodríguez, C., ... & Platero, R. (2022). *Capacidad de promoción del crecimiento vegetal de beta-rizobios simbiotes de leguminosas nativas*.
- Echeverri, V. M. O., López, M. M., García, J. J. O., & Duque, E. X. C. (2023). Producción de celulasas con cultivos puros y mixtos de *Trichoderma reesei* y *Aspergillus fumigatus* usando cascarilla de arroz como sustrato. *Revista EIA*, 20(40), 8.
- Esparza, L. (2024). *Estudio Técnico para el Programa de Ordenamiento Ecológico Participativo Local (POEL) del territorio del municipio de Escárcega, Campeche*.
- Hernández-Valladares, N. L., Palemón-Alberto, F., Damián-Nava, A., Cruz-Lagunas, B., Herrera-Castro, N. D., Ortega-Acosta, S. Á., ... & Reyes-García, G. (2021). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y su efecto en ecotipos de tomate. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(4), 581-589.
- Pedraza, R. O., Teixeira, K. R., Scavino, A. F., de Salamone, I. G., Baca, B. E., Azcón, R., & Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164.

- Quintal-Vargas, Y. Y., López-Hernández, M. B., & Vargas-Díaz, A. A. Rizobacterias aisladas en cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con potencial biofertilizante. (2024). *Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca*, 8(8).
- Reyes, P., Oliveros, J., Racedo, C., & Giraldo, A. B. (2024). Uso de la biodiversidad para mejorar la agricultura: tendencias en la investigación y el mercado en biofertilizantes en Colombia. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, (10).
- Reyes-Ramírez, A., López-Arcos, M., Ruiz-Sánchez, E., Latournerie-Moreno, L., Pérez-Gutiérrez, A., Lozano-Contreras, M. G., & Zavala-León, M. J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48(3), 285-294.
- Rodríguez, D. T. G. (2024). La producción de alimentos para autoconsumo. *Revista multidisciplinaria Voces de América y el Caribe*, 1(1), 52-79.
- Sali, H. L. H. S. A. (2014). Bioprocessing of Agricultural Residuals for the Optimum Production of Extracellular Xylanase by *Aspergillus brasiliensis* in Solid State Fermentation (SsF). *Journal Of Biodiversity Bioprospecting And Development*, 01(02).
- Saltos Zambrano, J. E. (2022). *Uso de microorganismos efectivos, en el manejo agronómico de hortalizas* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Steven, M. C. C. (2020). *Influencia De Los Residuos De La Cascarilla Del Arroz Mas Inoculantes Biologicos enLa Produccion De Pepino (Cucumis Sativus)* (Doctoral Dissertation, Universidad Agraria Del Ecuador).
- Tanya Morocho, M., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, 46(2), 93-103.
- Valles-Salas, G., Avila-Galván, A. M., Manzanares-Meza, O. A., García-Ríos, B., Carmona-Luna, M. C., & Morales-Castro, J. (2025). De residuos a la innovación: revalorización de subproductos agroindustriales Mexicanos como estrategia de desarrollo sostenible. *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, 4(1), 173-179.

# Capítulo 16

---

## Cuantificación de plantas mediante el uso de imágenes aéreas e inteligencia artificial

*Samuel Uriel Samaniego Gamez*<sup>91</sup>

*Moisés Gilberto Yáñez Juárez*<sup>92</sup>

*Fidel Núñez Ramírez*<sup>93</sup>

*María Alejandra Payán Arzapalo*<sup>94</sup>

*Raúl Enrique Valle Gough*<sup>95</sup>

*Blancka Y. Samaniego Gamez*<sup>96</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000343>



---

<sup>91</sup> Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80000.

<sup>92</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80000.

<sup>93</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705, [fidel.nunez@uabc.edu.mx](mailto:fidel.nunez@uabc.edu.mx).

<sup>94</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Campus Culiacán. Carretera Culiacán-El Dorado km. 17.5 Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 80000.

<sup>95</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

<sup>96</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. C. P. 21705.

## Resumen

A nivel mundial, la creciente demanda de productos agropecuarios responde a las necesidades alimentarias y nutricionales de una población cada vez mayor. En este contexto, mantener inventarios actualizados del número de plantas en los sistemas de producción agrícola es una práctica habitual que coadyuva a la mejor toma de decisiones. La cuantificación de plantas mediante imágenes aéreas e inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta que permite el seguimiento exhaustivo de las plantaciones. Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la confiabilidad de la cuantificación de plantas mediante el uso de imágenes aéreas e inteligencia artificial, a través de un estudio de caso enfocado en la detección multitemporal de plantas cultivadas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). La detección de plantas se evaluó bajo un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en camas de cultivo sin acolchado (suelo desnudo) y con acolchado plástico de color gris, transparente, blanco y negro. Se realizaron misiones de vuelo para la detección de plantas en ortomosaicos a los 12, 20, 32 y 47 días después del trasplante (DDT). En las cuatro fechas de monitoreo se obtuvo relación positiva entre el conteo manual y la detección automatizada, presentando el máximo valor de coeficiente de determinación ( $R^2=0.978$ ) en la detección realizada a los 32 DDT. La detección en suelo desnudo presentó la mejor precisión de estimación ( $P_s=1.02$ ), indicando interferencia causada por los acolchados plásticos durante el proceso de detección de plantas. Se concluye que el momento y color del acolchado del suelo influyen en la confiabilidad de la detección automatizada de plantas a partir de fotografías aéreas.

## Introducción

A nivel mundial, la creciente demanda de productos agropecuarios responde a las necesidades alimentarias y nutricionales de una población cada vez mayor (Ahmad et al., 2024). En este contexto, mantener inventarios actualizados del número de plantas en los sistemas de producción agrícola es una práctica habitual que coadyuva a la mejor toma de decisiones y al uso eficiente de recursos, lo que permite avanzar hacia la sostenibilidad (Chamara et al., 2023; Farjon et al., 2023). La teledetección emplea diversas fuentes de información que, al ser analizadas y procesadas mediante sistemas de información geográfica e inteligencia artificial, se han consolidado como herramientas en la gestión agrícola (Khanal et al., 2020), ya que permiten visualizar los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como la cuantificación del número de plantas (Gupta et al., 2024; Pathak et al., 2022).

La cuantificación de plantas mediante imágenes aéreas e inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta que permite el seguimiento exhaustivo de las plantaciones (Lu et al., 2023). Esto brinda la posibilidad de intervenir de forma oportuna para evitar problemas potenciales en la productividad (Khanal et al., 2020). Sin embargo, existen diferentes factores del sistema de producción agrícola que pueden disminuir la precisión de la detección de plantas en imágenes aéreas. Destacando la presencia de malezas, el porcentaje de cobertura foliar e interferencias por la utilización de diferentes acolchados del suelo (Maurya et al., 2024). Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la confiabilidad de la cuantificación de plantas mediante el uso de imágenes aéreas e inteligencia artificial, a través de un estudio de caso enfocado en la detección multitemporal de plantas cultivadas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*).

## Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), ubicado en las coordenadas 32.405105° de latitud norte

y  $-115.200136^\circ$  de longitud oeste. La plantación cultivada fue brócoli, híbrido Rijk Zwaan [Tahoe RZ F1 (25-962)]. La detección de plantas se evaluó bajo un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en camas de cultivo sin acolchado (suelo desnudo) y con acolchado plástico de color gris, transparente, blanco y negro, lo que dio como resultado un total de 20 unidades experimentales. Cada una con superficie de  $21 \text{ m}^2$ , orientadas de norte a sur, con 6.0 m de longitud, 3.5 m de separación y 0.2 m de altura. Las plantas fueron trasplantadas en sistema triangular tresbolillo, con 0.4 m de separación entre plantas y 0.5 m entre hileras.

Las plantas fueron contabilizadas de forma exhaustiva, marcando cada una de forma manual en el ortomosaico de referencia utilizando el software QGIS v. 3.22.10 (QGIS, 2023). Esto mediante un vector de punto perteneciente a un archivo tipo shape. Así mismo, se realizaron cuatro misiones de vuelo, para obtener ortomosaicos de la plantación a los 12, 20, 32 y 47 días después del trasplante. Para ello se utilizó un RPAS Phantom 4 multispectral [© DJI] (DJI, 2019). El procesamiento de las imágenes aéreas para obtener los ortomosaicos se realizó con el software bajo licencia académica PIX4DFields (Pix4D, 2024). Los ortomosaicos generados tuvieron una distancia de muestreo terrestre de 0.04 m y fueron corregidos geográficamente con siete puntos de control terrestre de alta precisión (GPS-RTK) (SOUTH, 2024).

La detección mediante inteligencia artificial se realizó en la plataforma agrícola Agremo (Agremo, 2024). Por medio del algoritmo “row plant algorithm”, que se encuentra en la herramienta “conjunto logrado”, la cual generó un archivo vectorial de puntos correspondientes a las plantas estimadas en cada ortomosaico (Agremo, s. f. Finalmente, la cantidad estimada de plantas detectadas en cada misión fue contrastada con el conteo manual exhaustivo de referencia. Para lo cual se utilizaron el coeficiente de determinación obtenido por regresión lineal ( $R^2$ ) y la precisión en la estimación ( $P_s$ ) (Ecuación 1). Posteriormente, se evaluaron diferencias entre tratamientos mediante ANOVA de una vía con prueba post-hoc de Tukey ( $\alpha = .05$ ) (García et al., 2020; Li et al., 2023; Lu et al., 2023).

$Es = (\text{Plantas estimadas} - \text{Plantas contadas}) / (\text{Plantas contadas})$  Ecuación 1

## Resultados y discusión

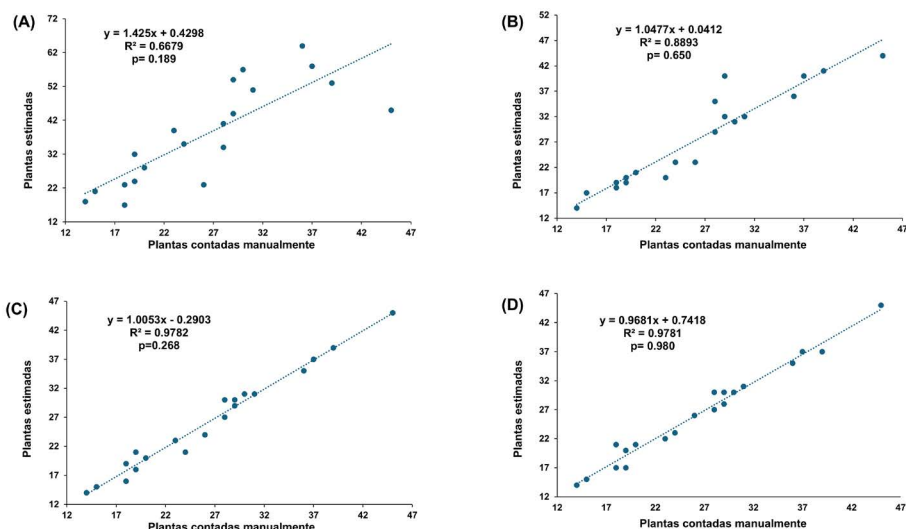
En las cuatro fechas de monitoreo se observó una relación positiva entre el conteo manual y la detección automatizada (Figura 1). Sin embargo, dicha relación no fue homogénea a lo largo del ciclo de cultivo. En la primera evaluación se registró mayor dispersión de los datos y una tendencia a la sobreestimación del número de plantas. En las evaluaciones posteriores, el coeficiente de determinación se incrementó, alcanzando su máximo valor a los 32 DDT. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Lee et al. (2023), quienes señalan que la detección individual de plantas en etapas tempranas se ve limitada por su reducida cobertura foliar.

### Figura 1

Regresión lineal de las distintas misiones de vuelo en cultivo de brócoli: Misión 1 (DDT=12) (A); Misión 2 (DDT=20) (B); Misión 3 (DDT=32) (C); Misión 4 (DDT=47) (D).

DDT= Días después del trasplante

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

En el ANOVA realizado para cada tratamiento, se identificó que la Ps no fue uniforme a lo largo del tiempo para cada tipo de acolchado plástico utilizado (Cuadro 1). En suelo desnudo y en el acolchado con plástico

gris, la precisión no presentó diferencias significativas entre las fechas de evaluación. En contraste, los acolchados de plástico transparente, blanco y negro sí presentaron diferencias significativas, ya que durante la primera evaluación registraron valores de precisión bajos o lejanos de la unidad. Sin embargo, a partir de la segunda fecha de monitoreo se observó incremento en la precisión, con ligeras subestimaciones en los tratamientos con plástico transparente y negro. Este comportamiento puede atribuirse al incremento de la cobertura foliar, que favorece la detección de plantas al aumentar la superficie expuesta al sensor (García et al., 2020). Asimismo, Li et al. (2024) señalan que la alta reflectancia de los acolchados plásticos blancos puede reducir la precisión en la identificación de plantas, debido a que los valores de reflectancia de la vegetación son menores en comparación con superficies blancas.

### **Cuadro 1**

*ANOVA de un factor por cada tratamiento a través del tiempo.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Ps DDT=12</b>	<b>Ps DDT=20</b>	<b>Ps DDT=32</b>	<b>Ps DDT=47</b>
Suelo desnudo	1.13	0.98	0.98	0.99
Plástico gris	1.41	1.06	1.04	1.01
Plástico transparente	1.51 <sup>A</sup>	1.10 <sup>B</sup>	0.98 <sup>B</sup>	1.01 <sup>B</sup>
Plástico blanco	1.58 <sup>A</sup>	1.06 <sup>B</sup>	1.01 <sup>B</sup>	1.00 <sup>B</sup>
Plástico negro	1.52 <sup>A</sup>	1.00 <sup>B</sup>	0.97 <sup>B</sup>	0.97 <sup>B</sup>

Letras distintas entre filas indican diferencias significativas de precisión en la estimación (Ps) realizada a los diferentes días después del trasplante (DDT) para cada acolchado plástico del suelo. (Ps=1.0 → mejor Ps), ( $\alpha=.05$ ). (factor: DDT, post-hoc Tukey  $\geq 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia.

## **Conclusiones**

El uso de imágenes aéreas e inteligencia artificial permitió cuantificar de forma confiable las plantas de brócoli, mediante la utilización de ortomosaicos obtenidos a partir de los 20 DDT, presentando la mayor Ps a los 32 DDT. La detección en suelo desnudo presentó la mejor Ps, indicando interferencia causada por los acolchados plásticos durante el proceso de detección de plantas. De los acolchados plásticos, el color

negro presentó la mejor Ps; en contraste, el acolchado color blanco tuvo mayores niveles de error en la estimación. Se concluye que el momento y color del acolchado del suelo influyen en la confiabilidad de la detección automatizada de plantas a partir de fotografías aéreas.

## Agradecimiento

Se agradece infinitamente el apoyo a AGREMO por el apoyo recibido para la realización del presente documento (Agremo Ltd., Djordja Stanojevica 14, 11070 Belgrade, Serbia) (<https://www.agremo.com/usecases/>).

## Referencias

- Agremo. (2024). *Agremo Analyses - Plant Count & Health Monitoring*. <https://www.agremo.com/documentation/agremo-analyses/>
- Agremo. (s. f.). *Agremo Analyses - Plant Count & Health Monitoring*. <https://www.agremo.com/documentation/agremo-analyses/>
- Ahmad, A., Liew, A. X. W., Venturini, F., Kalogeras, A., Candiani, A., Di Benedetto, G., Ajibola, S., Cartujo, P., Romero, P., Lykoudi, A., De Grandis, M. M., Xouris, C., Lo Bianco, R., Doddy, I., Elegbede, I., D'Urso Labate, G. F., García del Moral, L. F., & Martos, V. (2024). AI can empower agriculture for global food security: challenges and prospects in developing nations. *Frontiers in Artificial Intelligence*, (7). <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1328530>
- Chamara, N., Bai, G., & Ge, Y. (2023). AICropCAM: Deploying classification, segmentation, detection, and counting deep-learning models for crop monitoring on the edge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108420>
- DJI. (2019). P4 Multispectral. <https://www.dji.com/mx/p4-multispectral>
- Farjon, G., Huijun, L., & Edan, Y. (2023). Deep-learning-based counting methods, datasets, and applications in agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 24(5), 1683-1711. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10034-8>
- García, H., Flores, H., Khalil, A., Ascencio, R., Tijerina, L., Vázquez, M., & Mancilla, O. (2020). Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (*Zea mays*) mediante imágenes digitales

- tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 399-409. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.399>
- Gupta, A., Ruan, J., & Jaiswal, S. (2024). The potential of geographic information systems as a tool to achieve sustainable development goals. In *sustainable development and geospatial technology: Foundations and innovations*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-65683-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-65683-5_10)
- Khanal, S., Kushal, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture-accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12223783>
- Lee, C. J., Yang, M. Der, Tseng, H. H., Hsu, Y. C., Sung, Y., & Chen, W. L. (2023). Single-plant broccoli growth monitoring using deep learning with UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107739>
- Li, J., Li, Y., Qiao, J., Li, L., Wang, X., Yao, J., & Liao, G. (2023). Automatic counting of rapeseed inflorescences using deep learning method and UAV RGB imagery. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1101143>
- Li, T., Wang, H., Song, J., Cui, J., Wang, W., Li, W., Jiang, M., Shi, X., Wang, J., Zhang, L., & Lu, X. (2024). Improving the accuracy of cotton seedling emergence rate estimation by fusing UAV-based multispectral vegetation indices. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1333089>
- Lu, D., Ye, J., Wang, Y., & Yu, Z. (2023). Plant detection and counting: enhancing precision agriculture in UAV and general scenes. *IEEE Access*, 11, 116196–116205. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3325747>
- Maurya, D. K., Maurya, S. K., Kumar, M., Chaubey, C., Gupta, D., Patel, K. K., Mehta, A. K., & Yadav, R. (2024). A review on precision agriculture: An evolution and prospect for the future. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(5), 363–374. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i54534>
- Pathak, H., Igathinathane, C., Zhang, Z., Archer, D., & Hendrickson, J. (2022). A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops. *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 198). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107064>

Pix4D. (2024). PIX4Dfields. <https://www.pix4d.com/es/producto/pix-4dfields/>

Qgis. (2023). QGIS. <https://download.qgis.org/downloads/>

SOUTH. (2024). *Galaxy G7*. Guangzhou SOUTH Surveying & Mapping Technology Co., Ltd. [https://www.southinstrument.com/product/details/pro\\_tid/3/id/210.html](https://www.southinstrument.com/product/details/pro_tid/3/id/210.html)



# Capítulo 17

---

## Estudio de la calidad del agua residual tratada mediante sistemas biológicos para el uso en cultivos forrajeros

*Dahir Alberto Andrade Damián*

*Ricardo Torres Ramos<sup>97</sup>*

*Aurelia Mendoza Gómez<sup>98</sup>*

*Mary Triny Beleño Cabañas<sup>99</sup>*

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000350>



---

<sup>97</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México.

<sup>98</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México.

<sup>99</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. Nuevo León 21705, Baja California, México, [mary.beleno@uabc.edu.mx](mailto:mary.beleno@uabc.edu.mx).

## Resumen

El reúso de aguas residuales tratadas en la agricultura constituye una alternativa viable para enfrentar la escasez hídrica en regiones áridas y semiáridas, siempre que se garantice su calidad conforme a criterios técnicos y normativos. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad fisicoquímica, microbiológica y de metales pesados del agua residual tratada generada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, y analizar su aptitud para el riego de cultivos forrajeros en el Valle de Mexicali. Se analizaron parámetros como pH, temperatura, grasas y aceites, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), *Escherichia coli*, nitrógeno y fósforo totales, así como metales pesados (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu y Zn), comparando los valores obtenidos con los límites establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros evaluados cumplieron con los límites permisibles, destacando los bajos valores de *E. coli* y metales pesados, lo que indica un bajo riesgo sanitario y ambiental. La DQO y los SST evidenciaron una adecuada remoción de materia orgánica y sólidos. El fósforo total se mantuvo dentro de los rangos normativos, mientras que el nitrógeno total presentó una ligera superación del límite establecido, lo que sugiere la necesidad de un manejo agronómico adecuado. En conjunto, los resultados indican que el agua residual tratada evaluada es apta para su reúso agrícola bajo condiciones controladas y con monitoreo continuo.

## Introducción

El agua es un recurso esencial para la producción agrícola, especialmente en regiones donde la disponibilidad hídrica es limitada. A nivel mun-

dial, la agricultura consume aproximadamente el 70 % del agua dulce disponible, lo que ha llevado a una presión creciente sobre los recursos hídricos [1]. Por otra parte, el cambio climático ha prolongado el ciclo de sequías en varias zonas del mundo, agudizando la problemática alrededor del agua.

El Valle de Mexicali representa una de las principales zonas agrícolas del noroeste del país, siendo caracterizada por un clima árido extremo y una fuerte dependencia del riego para la producción de cultivos forrajeros. Bajo este contexto, la reutilización de aguas residuales tratadas surge como una estrategia clave para reducir la sobreexplotación de agua dulce y promover el uso eficiente del recurso hídrico [2].

Diversos estudios han señalado que el uso de agua residual tratada en la agricultura puede aportar nutrientes al suelo, como nitrógeno y fósforo, contribuyendo al crecimiento de los cultivos y reduciendo la necesidad de fertilización con estructura química [3]. No obstante, su utilización conlleva riesgos potenciales asociados a la salinidad, la presencia de microorganismos dañinos y compuestos potencialmente tóxicos, por lo que resulta indispensable evaluar su calidad conforme a criterios técnicos y normativos, de tal forma que agua pueda ser usada de manera segura en la agricultura.

En México, la regulación del uso de agua residual en riego agrícola se rige de acuerdo con la NOM-003 SEMARNAT-1997 [4]. Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas y el reúso de aguas residuales, incluyendo parámetros físico-químicos y microbiológicos clave para la protección del ambiente y la salud pública. En este estudio, se evalúa la calidad del agua residual tratada generada en la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la universidad autónoma de Baja California. Además, se analiza su uso potencial en el riego de cultivos forrajeros en el Valle de Mexicali.

## Metodología

Se analizaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados de un efluente de aguas residuales tratadas. Los valores promedio se compararon con los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-001-SEMARNAT-2021 [4][5]. Los parámetros evaluados incluyeron: pH, temperatura, grasas y aceites, *Escherichia coli*, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total, fósforo total y una batería de metales pesados (As, Cd, CN<sup>-</sup>, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn).

## Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua residual de la PTAR, comparado con los valores permisibles de acuerdo con la NOM 003.

### Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

El pH promedio de 7.3 se encuentra dentro de los rangos recomendados tanto por la NOM-003 como por estudios internacionales para riego agrícola, los cuales sugieren generalmente rangos moderados que no afecten negativamente la disponibilidad de nutrientes en suelos agrícolas (pH ~6.5–8.4) y favorezcan la retención de macronutrientes en procesos de infiltración [6]. La temperatura media de 33.6 °C también está por debajo del límite permisible, lo cual es importante para preservar la calidad biológica del suelo y evitar estrés térmico en cultivos en zonas tropicales y subtropicales.

En cuanto a la contaminación microbiológica, el muy bajo recuento de *E. coli* (3.78 NMP/100 mL) indica un tratamiento muy eficiente en comparación con otros casos reales de reúso, donde recuentos elevados de coliformes han sido reportados como limitantes para riego agrícola y pueden representar un riesgo a la salud pública cuando superan estándares permisibles [7].

**Tabla 1**

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual tratada.

Parámetro	Unidad	Promedio	Valor permisible NOM 003
Ph	UpH	7.3	6-9
Temperatura (°C)	°C	33.6250	35.0
Grasas y aceites	mg/L	5.0	15.0
Escherichia coli	NMP/100 mL	3.78	250.0
Dqo	mg/l	113.0	150.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	31.05	60.0
Nitrógeno total (sumatoria)	mg/L	27.51	25.00
Fósforo total	mg/L	11.10	15.00
Arsénico	mg/L	0.0100	0.20
Cadmio	mg/L	0.0020	0.20
Cianuros	mg/L	0.0050	1.00
Cobre	mg/L	0.0054	4.00
Cromo	mg/L	0.0050	1.00
Mercurio	mg/L	0.0005	0.01
Níquel	mg/L	0.0015	2.00
Plomo	mg/L	0.0050	0.20
Zinc	mg/L	0.0260	10.00

### Materia orgánica y sólidos

La DQO promedio (113 mg/L) y los SST (31.05 mg/L) se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos, lo que indica que el agua tiene una carga orgánica residual moderada y una correcta remoción de materias en suspensión. Esto concuerda con experiencias exitosas de sistemas biológicos y humedales construidos reportados en la literatura, que muestran eficiencias elevadas en la remoción de contaminantes organolépticos y sólidos cuando se implementan etapas adicionales de tratamiento [8].

## **Nutrientes: nitrógeno y fósforo**

El fósforo total (11.10 mg/L) es menor que los límites permisibles y se encuentra dentro de los rangos típicos observados en aguas residuales tratadas domésticamente (6–20 mg/L), lo que puede beneficiar la fertilidad del suelo sin causar problemas de eutrofización significativa [9]. Sin embargo, el nitrógeno total (27.51 mg/L) excede ligeramente el valor permisible de la NOM-003 (25 mg/L). A nivel internacional, la literatura indica que las aguas residuales suelen contener entre 20 y 85 mg/L de nitrógeno total y que niveles elevados pueden representar un riesgo de lixiviación de nitratos y contaminación de aguas subterráneas si no se gestionan adecuadamente [6]. Este excedente sugiere que se deben fortalecer prácticas de manejo agronómico o considerar etapas adicionales de tratamiento de nitrógeno si se busca minimizar riesgos ambientales a largo plazo.

## **Metales pesados**

Los metales pesados estudiados (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn) se encontraron ampliamente por debajo de los límites establecidos por la NOM, con niveles comparables o menores que los reportados en experiencias previas de reúso agrícola exitoso y sin riesgo aparente de acumulación tóxica en los suelos. Esto concuerda con reportes internacionales que destacan que, aunque los metales pesados pueden representarse en aguas residuales, en muchos casos las concentraciones finales tras tratamiento avanzado son lo suficientemente bajas como para no presentar riesgos agudos [10].

## Conclusiones

Los análisis realizados demuestran que el agua residual tratada cumple con la mayoría de los criterios establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 para reúso agrícola, con parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de toxicidad de metales dentro de rangos permisibles. El nitrógeno total excedente sugiere la necesidad de un enfoque agronómico o técnico adicional para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En comparación con la literatura científica, los resultados reflejan tendencias consistentes con estudios exitosos de reúso agrícola en diferentes regiones del mundo y refuerzan la importancia de mantener programas de monitoreo continuo para proteger la salud humana y ambiental.

## Referencias

- [1] ONU-Agua. (2023). *World Water Development Report 2023*. UNESCO.
- [2] FAO. (2018). *Crop water requirements: Forage crops*. Food and Agriculture Organization.
- [3] Mishra, S. et al. (2023). *Use of treated wastewater as irrigation water: A review*.
- [4] SEMARNAT. (1997). Norma oficial mexicana Nom-003-ecol-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público índice.
- [5] SEMARNAT. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.
- [6] Omer, A. M. (2019). Assessment of recycled treated wastewater for sustainable tomato crop production: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 827, 154362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.154362>
- [7] Radwan, M. A. (2014). Quality of wastewater reuse in agricultural irrigation and its impact on public health. *Journal of Environmental and Public Health*, 2014, 1-10. PubMed PMID: 25085428

- [8] Castañeda-Villanueva, A. A., López-Cerpa, A. N., & Huerta-Orozco, R. (2025). Reducción de contaminantes en sistemas para tratamiento y reúso de aguas residuales mediante humedales construidos. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 21(1), 22-29.
- [9] Pérez, C. F., Madera-Parra, C. A., Echeverri-Sánchez, A. F., & Urrutia-Cobo, N. (2015). Reúso de aguas residuales: impacto en los atributos químicos y macronutricionales en un suelo inceptisol irrigado con aguas residuales domésticas tratadas. *Ingeniería y Competitividad*, 17(2), 19-28. Recuperado de
- [10] Christou, A., Beretsou, V.G., Iakovides, I.C. et al. Sustainable wastewater reuse for agriculture. *Nat Rev Earth Environ* 5, 504–521 (2024). <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00560-y>

# Capítulo 18

---

## Obtención de alcohol a partir de fruto de la papaya (*carica papaya L.*)

*Diego Candelario Pérez Pérez*<sup>100</sup>

*Jesús Manuel Mateo Morales*<sup>101</sup>

*Edith González Lazo*<sup>102</sup>

*Benito Bernardo Dzib Castillo*<sup>103</sup>

*Maximiliano Vanoye Eligio*<sup>104</sup>

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000367>



---

<sup>100</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería en Industrias alimentarias del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

<sup>101</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería en Industrias alimentarias del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

<sup>102</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México, [lazoedith02@gmail.com](mailto:lazoedith02@gmail.com).

<sup>103</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24520.

<sup>104</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

## Resumen

La papaya (*Carica papaya* L.) es un fruto tropical con alto contenido de azúcares fermentables y compuestos bioactivos; su disponibilidad durante todo el año, elevada productividad y susceptibilidad al deterioro poscosecha ha llevado a implementar alternativas para su transformación e innovación de nuevos productos y así darle un valor agregado al fruto. Una de las alternativas es la fermentación alcohólica para la conversión de azúcares simples en alcohol etanol mediante la acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* por su eficiencia metabólica en medios frutales. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento fermentativo de la pulpa de *C. papaya* bajo diferentes concentraciones de sólidos solubles para la generación de alcohol. Se emplearon dos concentraciones de sólidos solubles iniciales (23° y 29° Brix), preparados a partir de la pulpa homogenizada e inoculadas con *S. cerevisiae* previamente activada; la fermentación se desarrolló durante cuatro días a 23-25°C sin agitación, con monitoreo de pH, grados Brix, liberación de CO<sub>2</sub> y rendimiento alcohólico mediante destilación; para conocer la eficiencia de recuperación del etanol en función de la concentración inicial de sólidos solubles. El análisis espectrofotométrico UV-Vis mostró una intensidad de color de 1.906 y una tonalidad de 1.084, indicando predominio de cromaticidad amarilla asociada a compuestos carotenoides; presentando diferencia en la respuesta espectral entre tratamientos. El fermentado a 23° Brix presentó un ajuste lineal entre absorbancia y longitud de onda ( $R^2 = 0.9491$ ), sugiriendo estabilidad óptica y predecibilidad del comportamiento espectral; en contraste, el fermentado a 29° Brix mostró un ajuste polinómico con menor capacidad explicativa ( $R^2 = 0.5005$ ), evidenciando mayor dispersión y variabilidad estructural en los compuestos presentes; comprobando que la papaya se puede utilizar como sustrato para la producción de etanol.

## Introducción

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta herbácea tropical, semileñosa de rápido crecimiento y gran importancia agronómica en zonas tropicales y subtropicales (Koul et al., 2022; Reddy et al., 2021; Chávez y Nuñez, 2016), teniendo un alto valor nutritivo, alta productividad y disponibilidad durante todo el año (Reddy et al., 2021), siendo de gran aceptación a nivel nacional e internacional (Alarcón et al., 2022). En México, las poblaciones nativas de *C. papaya* se han adaptado a condiciones edafo-climáticas diversas (Hernández et al., 2019).

Es un fruto valorado por sus características sensoriales, alto contenido de azúcares fermentables y su riqueza en compuestos bioactivos como vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos y enzimas proteolíticas, principalmente papaína (Dotto, 2021; Akanda et al., 2025); la composición química muestra que la pulpa de papaya puede contener cantidades notables de azúcares reductores y sólidos solubles totales que son adecuados como sustrato para procesos fermentativos, facilitando la fermentación alcohólica; el perfil de compuestos volátiles contribuye al aroma característico de la fruta, lo que podría influir en productos fermentados derivados (Singh et al., 2023). Las pérdidas poscosecha de la papaya pueden alcanzar un 30% debido a que su maduración ocurre rápidamente después de la cosecha, dada la naturaleza altamente perecedera del fruto (Almeida et al., 2011); siendo una alternativa para la producción de bebidas fermentadas o bioetanol como una opción de valor agregado y mitigación de pérdidas poscosecha.

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la generación de alcohol mediante la fermentación de la pulpa de *C. papaya*, considerando las características fisicoquímicas del sustrato y el proceso fermentativo.

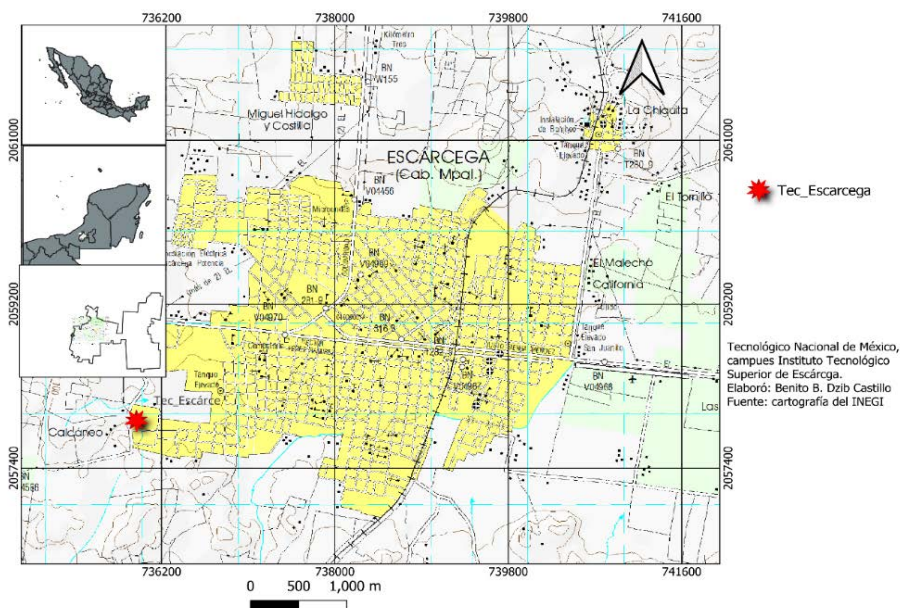
## Materiales y métodos

### Localización

El experimento se realizó en el Laboratorio de microbiología del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, perteneciente al Tecnológico Nacional de México (Figura 1).

#### Figura 1

Ubicación del sitio de experimentación en el Tecnológico Nacional de México Campus, Escárcega, Campeche, México.



### Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar comparando dos concentraciones de sólidos solubles (23° y 29° Brix) para determinar el efecto de la disponibilidad de azúcares fermentables sobre el arranque del proceso fermentativo. El experimento se divide en etapas: la obtención de la materia prima, el ajuste de concentración, la inoculación de la levadura y

el embotellamiento del sistema fermentativo, lo cual, según Stanbury et al. (2017), son determinantes para el desarrollo adecuado de la fermentación.

### **Selección de la materia prima**

El fruto de la papaya (*C. papaya*) fue seleccionado por su grado de madurez fisiológica, integridad y ausencia de daños, debido a su elevado contenido de azúcares simples como glucosa y fructosa, fundamentales para la fermentación alcohólica (Wall, 2006; Ray y Joshi, 2014). Antes de extraer la pulpa de los frutos, estos fueron desinfectados para reducir la carga microbiana superficial, siguiendo prácticas recomendadas para la elaboración de alimentos fermentados (Tamang et al., 2016).

### **Proceso fermentativo**

La pulpa de *C. papaya* se homogenizó y dividió en dos lotes, los cuales se ajustaron a 23° y 29° Brix cada uno, mediante la adición controlada de sacarosa y agua en relación sólido-líquido 1:1, verificado con el refractómetro TOPINCN 0-90% Brix.

Para el proceso del fermentado se utilizó la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), previamente activada por 24 h a 28 °C en medio de cultivo YPD (Yeast Extract Peptone Dextrose); se agregó 1 ml/100 ml de mosto, asegurando un arranque homogéneo y el predominio del microorganismo inoculado sobre la microbiota nativa (Fleet, 2003).

El volumen embotellado fue de 100 ml de sustrato en botellas de vidrio ámbar de capacidad de 250 ml; se usaron globos de látex para permitir la liberación y visualización del dióxido de carbono generado durante la fermentación, bajo condiciones controladas que minimizaron el riesgo de contaminación (Stanbury et al., 2017); se dejaron a temperatura ambiente entre 23 y 25 °C; cada concentración de °Brix tuvo sus controles respectivos; durante cuatro días se analizaron para evaluar la evolución temporal del sistema fermentativo y validar la estabilidad del proceso (Steinkraus, 1997; Tamang et al., 2016).

## **Análisis fisicoquímicos**

Durante el proceso de fermentado se realizaron análisis fisicoquímicos, temperatura, pH, grados Brix y contenido de alcohol (proceso de destilación), parámetros comúnmente utilizados en estudios de fermentación alcohólica (Fleet, 2003; Walker y Stewart, 2016; Maicas, 2020).

## **Espectroscopía UV-Vis**

Las muestras se analizaron mediante espectrometría UV-Visible (espectrofotómetro digital visible: 325-1000 NM 4 NM) como indicador del proceso fermentativo y cambios en su composición; para evaluar la intensidad de color, la tonalidad, se consideraron las longitudes de ondas de 420, 520 y 620 nm en bebidas fermentadas, estimando la tonalidad (T) del sistema fermentativo mediante la fórmula ( $T = \text{Abs}_{420} / \text{Abs}_{520}$ ), para identificar variaciones asociadas a la presencia de compuestos formados durante la actividad microbiana.

## **Resultados y discusión**

El proceso de fermentación fue de 4 días el comportamiento de los globos en la generación de CO<sub>2</sub>, no hubo cambio significativo en cada uno de los lotes de 23° y 29° Brix; las botellas de ambas concentraciones de °Brix fueron analizadas cada 24h.; el pH inicial de cada lote fue de 5, durante el proceso de fermentación se mantuvo en el rango de pH 3-4; a las muestras fermentadas se sometió a una destilación de alcohol tomando como punto de ebullición de 78 a 79 °C, en el Cuadro 1, indica el pero inicial del mosto correspondiente al volumen de cada una de las concentraciones; la cantidad de alcohol producido representa el porcentaje de alcohol recuperado en el destilador, mientras que el (residuo) hace referencia al volumen remanente en el matraz balón al finalizar el proceso de destilación; la pérdida corresponde al proceso de evaporación ocurrido durante la destilación permiten evaluar el rendimiento del proceso y comparar la eficiencia de recuperación de alcohol entre ambos tratamientos, en función de la concentración inicial de sólidos solubles.

La intensidad de color (IC) obtenida fue de 1.906, lo que indica una coloración moderada en la muestra analizada. Asimismo, la tonalidad ( $T \approx 1.084$ ), al ser mayor que la unidad, evidencia un predominio de tonos amarillos frente a los rojizos, característica asociada a la presencia de pigmentos carotenoides propios de la pulpa de papaya. Estos resultados son coherentes con la naturaleza del fruto y con bebidas fermentadas elaboradas a partir de frutas de color amarillo-anaranjado. Por otro lado, se observa una regresión lineal entre la absorbancia y la longitud de onda en el fermentado en sólidos solubles con 23° Bx ( $R^2=0.9491$ ) y una regresión polinómica en el fermentado de 29° Bx ( $R^2=0.5005$ ). Estos resultados permiten generar una ecuación para estimar la absorbancia con la longitud de onda, teniendo una mayor confiabilidad en el fermentado con 23° Bx (Figura 2).

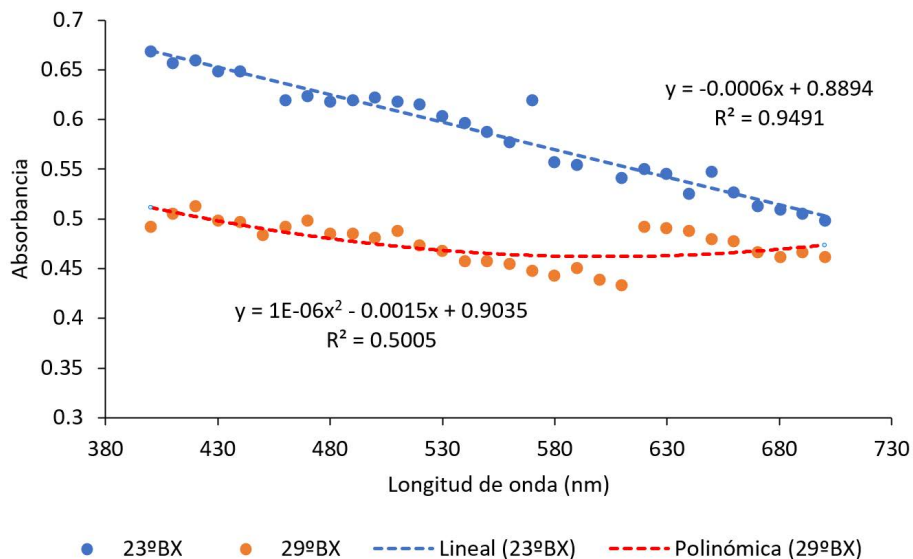
### Cuadro 1

*Cantidad de alcohol generado por día de fermentación de C. papaya por concentración de 23 y 29°Brix en cada lote.*

<b>Lote 1 (23° Brix)</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Alcohol producido</b>	<b>Residuo</b>	<b>Perdida</b>
1	72 ml	7.80%	62 ml	2.2 ml
1.1	72 ml	7.40%	61 ml	3.6 ml
1.2	72 ml	9.00%	60 ml	3.0 ml
24 h	48 ml	4.10%	30 ml	13.9 ml
48 h	64 ml	6.10%	52 ml	5.9 ml
72 h	67 ml	6.60%	55 ml	5.4 ml
96h	75 ml	9.90%	52ml	13.1 ml
<b>Lote 2 (29° Brix)</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Alcohol producido</b>	<b>Residuo</b>	<b>Perdida</b>
2	70 ml	8.40 %	53 ml	8.6 ml
2.1	66 ml	8.20 %	50 ml	7.8 ml
2.2	77 ml	8.50 %	63 ml	5.5 ml
24 h	48 ml	4.10 %	30 ml	13.9 ml
48 h	63 ml	8.20 %	48 ml	6.8 ml
72 h	64 ml	6.10 %	52 ml	5.9 ml
96h	66 ml	9.60 %	45 ml	11.4 ml

**Figura 2**

Absorbancia del fermentado de la papaya (*C. papaya* L.) de las concentraciones de 23 y 29 °Brix.



## Conclusiones

La fermentación alcohólica de pulpa de papaya (*C. papaya*) utilizando *S. cerevisiae* es un proceso viable y reproducible; las concentraciones iniciales de sólidos solubles (23 y 29 °Brix) permitieron evidenciar el efecto directo de la disponibilidad de azúcares fermentables sobre la producción de etanol durante las etapas iniciales de la fermentación.

La concentración de 29° Brix presentó mayor porcentaje de alcohol, alcanzando un valor máximo de 9.90 %, indicando mejor rendimiento fermentativo en comparación con las muestras a 23° Brix, cuyo contenido alcohólico fue ligeramente inferior; asociado a una mayor disponibilidad de sustrato para el metabolismo de la levadura, favoreciendo la conversión de azúcares en etanol y dióxido de carbono. La concentración inicial de azúcares es un factor determinante en el proceso fermentativo de la papaya, contribuyendo a un aprovechamiento de esta fruta y dándole un valor agregado.

Las ecuaciones generadas en esta investigación permitirán tener una estimación aceptable sobre la absorción del fermentado de papaya.

## Referencias

- Akanda, M. K. M., et al. (2025). Carica papaya in health and disease: A review of its bioactive compounds for treating various disease conditions. *Inflammopharmacology*, 33(6), 3051–3084. <https://doi.org/10.1007/s10787-025-01780-4>
- Alarcón Pulido, S. A., Hernández Sánchez, M. de L. L., González Cárdenas, J. C., Enríquez García, F., & Velázquez García, E. P. (2022). Producción y manejo del cultivo de papaya (Carica papaya L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 10(1), 164–169. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.414>
- Almeida Castro, A.; Reis Pimentel, J.D.; Santos Souza, D., Vieira de Oliveira, T.; Da Costa Oliveira, M. (2011). Estudio de la conservación de la papaya (Carica papaya L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1): 049-060. <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/719/1/EstudioConservacionPapaya.pdf>
- Dotto, J. M.; Abihudi S.A. (2021). Nutraceutical value of Carica papaya: A review. *Journal of Food Science and Nutrition. Scientific African*. 13, e00933. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00933>
- Chávez-Pesqueira M, Núñez-Farfán J. (2016). Genetic diversity and structure of wild populations of Carica papaya in Northern Mesoamerica inferred by nuclear microsatellites and chloroplast markers. *Ann Bot*. 118(7):1293-1306. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw183>
- Fleet, G. H. (2003). Yeast interactions and wine flavour. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1–2), 11–22. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00245-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00245-9)
- Hernández-Salinas, G.; Soto-Estrada, A.; García-Pérez, E.; Pérez-Vázquez, A.; Rocandio-Rodríguez M.; Córdova-Téllez L. (2019). Variación morfológica in situ de Carica papaya L. nativa en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 42(1), 47-55. [https://www.redalyc.org/journal/610/61059467006/html/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.redalyc.org/journal/610/61059467006/html/?utm_source=chatgpt.com)

- Koul, B., Pudhuvai, B., Sharma, C., Kumar, A., Sharma, V., Yadav, D. y Jin, J.-O. (2022). Carica papaya L.: Una fruta tropical con beneficios más allá de los trópicos. *Diversity*, 14 (8), 683. <https://doi.org/10.3390/d14080683>
- Maicas, S. (2020). The role of yeasts in fermentation processes. *Microorganisms*, 8(8), 1142. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>
- Ray, R. C., & Joshi, V. K. (2014). *Fermented foods: Past, present and future*. Springer. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17307-1/fermented-foods-past-present-future-ramesh-ray-joshi>
- Reddy Sanikommu V. R., Aj S., Chinnasamy K. (2021). *Tropical Fruit Crops: Theory to Practical*. Editorial Jaya Publishing House. pp 426-468. [https://www.researchgate.net/publication/353558300\\_Papaya\\_Carica\\_papaya\\_L](https://www.researchgate.net/publication/353558300_Papaya_Carica_papaya_L)
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2017). *Principles of fermentation technology* (3rd ed.). Elsevier. [https://biokamikazi.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/09/principles\\_of\\_fermentation\\_technology-stanburry\\_whittaker.pdf](https://biokamikazi.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/09/principles_of_fermentation_technology-stanburry_whittaker.pdf)
- Steinkraus, K. H. (1997). Classification of fermented foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13(4), 347–350. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00050-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00050-9)
- Singh, S. K., Thakur, K., Sharma, V., Saini, M., Sharma, D., Vishwas, S.,... & Gadewar, M. M. (2023). Exploring the multifaceted potential of chlorogenic acid: Journey from nutraceutical to nanomedicine. *South African Journal of Botany*, 159, 658-677. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.038>
- Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods. *Frontiers in Microbiology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana and papaya cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(5), 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.002>
- Walker, G., & Stewart, G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 2(4), 30. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>

*Ciencia en construcción: Aportaciones desde la formación universitaria. Investigaciones, experiencias formativas y divulgación científica en la educación superior mexicana.*

*Se terminó de editar en abril de 2026  
en los talleres de Astra Ediciones*

*Av. Acueducto No. 829*

*Colonia Santa Margarita, C. P. 45140*

*Zapopan, Jalisco, México.*

*33 38 34 82 36*

*E-mail: [edicion@astraeditorial.com.mx](mailto:edicion@astraeditorial.com.mx)*

**[www.astraeditorialshop.com](http://www.astraeditorialshop.com)**

**Este libro integra contribuciones desarrolladas por estudiantes de distintas instituciones de educación superior en México, quienes, bajo la orientación de profesores investigadores adscritos a ocho cuerpos académicos, abordaron problemáticas actuales desde enfoques teóricos, metodológicos y aplicados. Los capítulos que conforman este libro dan cuenta de una amplia diversidad temática, que abarca disciplinas como las ciencias agropecuarias, biológicas, ambientales y tecnológicas, evidenciando el carácter multidisciplinario que hoy define a la investigación científica contemporánea. Más allá de presentar resultados de investigación, este libro pone de manifiesto el valor pedagógico del proceso científico como herramienta de formación integral. Cada aportación refleja no solo la adquisición de competencias técnicas y metodológicas, sino también el desarrollo de habilidades críticas, analíticas y comunicativas indispensables para la divulgación y difusión de la ciencia. En este sentido, la obra se concibe como un espacio de encuentro entre la formación académica y la responsabilidad social del conocimiento.**

ISBN: 979-13-88142-86-4



Consulta y descarga

