



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA  
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

**TESIS**

**La aplicación foliar del extracto acuoso de higuierilla  
favorece la producción de chile jalapeño en campo abierto**

**Para Obtener El Título De:**

**Ingeniero Agrónomo para la Producción Sustentable**

**PRESENTA**

**DAVID CHÁVEZ TREJO**

Directora

Dra. Iridiam Hernández Soto

Codirector:

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

Asesores:

Dra. Xochitl de Jesús Martínez

M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández

M. en C. Aracely Hernández Pérez

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., México., septiembre de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Instituto de Ciencias Agropecuarias

*Institute of Agricultural Sciences*

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

*Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 19 de septiembre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**  
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a él pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía para la Producción Sustentable, **David Chávez Trejo**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“La aplicación foliar del extracto acuoso de higuera favorece la producción de chile jalapeño en campo abierto”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

- PRESIDENTE** Dra. Xochitl de Jesús Martínez
- SECRETARIO** M. en C. Aracely Hernández Pérez
- VOCAL 1** Dra. Iridiam Hernández Soto
- VOCAL 2** Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
- VOCAL 3** Mtro. Melitón Jesus Franco Fernández

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

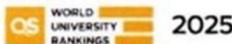
Atentamente  
“Amor, Orden y Progreso”

  
**Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos**  
Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería  
en Agronomía Para La Producción  
Sustentable



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,  
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,  
México. C.P. 43775  
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021  
ricardo\_navarro@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



uaeh.edu.mx

## Resumen

El presente estudio evaluó el efecto de un bioinsumo orgánico elaborado a partir de hojas de *Jatropha curcas* L. sobre variables agronómicas del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivado en campo abierto. Se aplicaron tres concentraciones del extracto 50, 75 y 100 mL (T50, T75 y T100) y se compararon con un tratamiento convencional y un testigo. Los resultados mostraron que T75 generó los mayores incrementos en rendimiento (84%), peso del fruto (61%) y número de frutos por planta (89%) respecto al testigo. Por otro lado, T50 destacó en variables vegetativas como altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas. A nivel fisiológico, los efectos positivos se atribuyen a metabolitos presentes en la higuierilla, como fitoesteroles, ácidos grasos y flavonoides, que activan rutas hormonales (auxinas, giberelinas), enzimas fotosintéticas y cascadas de señalización intracelular. Estos resultados evidencian el potencial del extracto de higuierilla como bioinsumo agrícola accesible y eficaz para incrementar la productividad del chile jalapeño.

**Palabras clave:** Bioproductos; Fitoquímicos; Metabolismo vegetal; Rendimiento agronómico.

# Contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes.....	3
3.	Marco teórico .....	4
3.1	Chile jalapeño .....	4
3.2	Principales plagas y enfermedades .....	4
3.3	Bioestimulantes en la producción de chile jalapeño.....	7
3.4	Extractos vegetales como bioestimulantes.....	8
3.5	Higuerilla .....	9
3.6	Agricultura orgánica .....	10
4.	Justificación .....	11
5.	Hipótesis .....	12
6.	Objetivo general .....	12
6.1	Objetivos específicos.....	12
7.	Material y métodos .....	13
7.1	Ubicación del área de estudio y establecimiento del cultivo.....	13
7.2	Obtención de la muestra y extracto vegetal .....	13
7.3	Elaboración del bioestimulante y aplicación de los tratamientos .....	15
7.4	Variables agronómicas .....	16
7.5	Análisis estadístico .....	17
8.	Resultados .....	18
8.1	Variables agronómicas .....	18
9.	Discusiones .....	23
10.	Conclusión .....	25
11.	Referencias.....	26

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Principales plagas en el cultivo de chile jalapeño .....	5
<b>Figura 2.</b> Principales enfermedades en el cultivo de chile jalapeño .....	6
<b>Figura 3.</b> Clasificación de los bioestimulantes .....	7
<b>Figura 4.</b> compuestos bioactivos capaces de estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas .....	8
<b>Figura 5.</b> Plantas de higuera en la localidad de Banzha, municipio de Tecozautla, Hidalgo, México .....	10
<b>Figura 6.</b> Colecta de muestra vegetal.....	14
<b>Figura 7.</b> Sitio experimental.....	15
<b>Figura 8.</b> Medición de variables agronómicas .....	17
<b>Figura 9.</b> A) Altura de la planta; B) Diámetro del tallo; C) Número de hojas. Las letras diferentes en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ); n = 10 error estándar .....	19
<b>Figura 10.</b> A) Frutos por planta; B) Diámetro polar; C) Diámetro ecuatorial; D) Peso del fruto; E) Rendimiento. Las letras diferentes en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ); n =10 error estándar.....	22

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> El uso de bioestimulantes en la agricultura .....	3
---	---

## 1. Introducción

El chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) es una de las variedades de chile más populares y cultivadas en el mundo. Además de su valor culinario, el jalapeño destaca por su riqueza nutricional: contiene vitaminas A, C, E, K y complejo B, así como minerales esenciales (potasio, magnesio, fosforo, calcio y hierro) (Sánchez Toledano et al., 2023). La producción mundial de chile jalapeño alcanzó en 2024 aproximadamente 4.9 millones de toneladas, consolidándose como uno de los principales cultivos hortícolas a escala global (FAOSTAT, 2025). Específicamente en México se generan 3.11 millones de toneladas de jalapeño, cultivadas en 156 700 ha, con un rendimiento promedio de  $1.99 \text{ kg}^{-\text{m}^2}$  (Ochoa-Chaparro et al., 2024).

Este dinamismo productivo responde a la creciente demanda internacional, pero también plantea el reto de optimizar rendimientos y calidad sin incrementar el uso de insumos sintéticos. En este contexto surge la necesidad de buscar nuevas alternativas, como es el uso de extractos vegetales como posible bioestimulantes. Definidos como sustancias o microorganismo que, aplicados en baja dosis, promueven procesos fisiológicos de las plantas como: mayor absorción de nutrientes, eficiencia fotosintética, resistencia a estrés biótico y abiótico y estimulación de crecimiento radicular y foliar; sin reemplazar fertilizantes ni fungicidas tradicionales (Di Sario et al., 2025). Los bioestimulantes funcionan regulando la producción hormonal, activando defensas antioxidantes y mejorando la eficiencia del uso del agua y nutrientes (Dasgan et al., 2024).

Entre las fuentes naturales de bioestimulantes sobresalen las plantas silvestres, y especialmente la higuerilla (*Jatropha curcas* L.), rica en compuestos funcionales como ácidos grasos insaturados, fenoles, flavonoides, fitoesteroles y péptidos bioactivos (Massoukou Pamba et al., 2024). Sin embargo, no se han reportado estudios previos en los que se utilice extracto de higuerilla como bioestimulante en este cultivo, lo cual representa una oportunidad novedosa para la investigación. En contraste, diversos trabajos han evaluado otros bioestimulantes en chile jalapeño, con resultados prometedores. Por ejemplo: Majkowska-Gadomska et al., 2021

evaluaron bioestimulantes microbianos en un invernadero, aplicados mediante riego y aspersiones foliares; aunque no observaron mejoras consistentes en parámetros morfológicos o rendimiento, se observaron incrementos en la concentración de nitratos en frutos. En otro estudio, Mezeyová et al.,2024 aplicaron hidrolizados húmicos en diferentes variedades de chile, incluyendo jalapeño; se registraron aumentos significativos del rendimiento total y del peso promedio del fruto. Golian et al., 2024 observaron mejoras en el peso del fruto y contenidos de compuestos bioactivos al aplicar los bioestimulantes comerciales. Por lo anterior mencionado el objetivo de esta investigación fue elaborar un bioestimulante a base de higuera y evaluar sus efectos sobre parámetros agronómicos en plantas de chile jalapeño, con el propósito de ofrecer soluciones innovadoras y accesibles a los agricultores para incrementar la productividad de sus cultivos.

## 2. Antecedentes

En la tabla 1, se presentan algunos antecedentes sobre el uso de bioestimulantes y su aplicación en la producción de cultivos.

**Tabla 1.** El uso de bioestimulantes en la agricultura

Bioestimulante	Cultivo	Resultados en el cultivo	Referencia
Extracto de <i>Ascophyllum nodosum</i> (Humix®)	<i>Capsicum chinense</i> 'Habanero Orange' y <i>C. annuum</i> 'Kristian'	↑ rendimiento total, ↑ capsaicina; efectos variables en ácido ascórbico y carotenoides según genotipo y cosecha.	Mezeyová et al., 2024
Extracto de macroalgas (Reabilit® Algas)	<i>Capsicum annuum</i> (invernadero)	↑ conductancia estomática (hasta +27 %), ↑ biomasa aérea y radicular, ↑ peso total de fruto; dosis bajas fueron más efectivas.	Melo et al., 2020
Tres bioestimulantes (Tribus®, Vitazyme, C-Bio CPS)	Cultivares "heirloom" de <i>Capsicum annuum</i> en contenedor	No afectaron el rendimiento comercial, pero mejoraron calidad: longitud, diámetro y color de fruto.	Arthur et al., 2022
Radifarm®, Megafol®, Viva®	<i>Capsicum</i> spp. (variedades varias)	HS: ↑ longitud y diámetro de fruto, ↑ peso; Radifarm/Megafol: ↑ actividad antioxidante, ↑ rendimiento hasta 55%, ↓ frutos no comercializables.	Golian et al., 2024

(Elaboración propia)

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Chile jalapeño

El chile jalapeño es una de las hortalizas más representativas de México y uno de los cultivos hortícolas de mayor relevancia a nivel mundial. Perteneciente a la familia *Solanaceae*, este cultivo se distingue por su sabor picante, originado por la presencia de capsaicinoides, además de su gran versatilidad culinaria y valor nutricional (De la Cruz-Ricardez et al., 2024). Desde el punto de vista nutrimental, el jalapeño es fuente de vitaminas A, C, E, K y del complejo B, además de contener minerales esenciales como potasio, magnesio, fósforo, calcio y hierro (Sánchez Toledano et al., 2023). La producción mundial de chile jalapeño alcanzó en 2024 cerca de 4.9 millones de toneladas (FAOSTAT, 2025). México, considerado centro de origen y domesticación del chile, genera 3.11 millones de toneladas anuales, con una superficie cultivada de 156 700 ha y un rendimiento promedio de 1.99 kg m<sup>-2</sup> (Ochoa-Chaparro et al., 2024). A pesar de su relevancia económica y social, la producción enfrenta diversos desafíos, entre ellos el ataque de plagas y enfermedades, la alta demanda de fertilizantes químicos y los costos de producción asociados, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan optimizar el rendimiento sin incrementar la dependencia de insumos sintéticos (Pérez-Vázquez et al., 2020).

#### 3.2 Principales plagas y enfermedades

El cultivo de chile jalapeño enfrenta limitantes fitosanitarias que afectan directamente la productividad y calidad del fruto. Entre las plagas más comunes se encuentran trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgones (*Aphis gossypii*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y araña roja (*Tetranychus urticae*) (Figura 1), los cuales provocan daños por succión de savia, deformaciones en hojas, transmisión de virus y degeneramiento de la planta (López y González, 2001).



Trips (*Frankliniella occidentalis*)



Pulgones (*Aphis gossypii*)



Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

**Figura 1.** Principales plagas en el cultivo de chile jalapeño

En cuanto a enfermedades, destacan las causadas por hongos, bacterias y virus. Entre las más importantes se encuentran: marchitez por *Phytophthora capsici*, que ocasiona pérdidas significativas en condiciones de alta humedad; antracnosis (*Colletotrichum spp.*) que afecta frutos maduros; y enfermedades virales como el virus del mosaico del pepino (CMV) y el virus del mosaico del tabaco (TMV) (Barchenger et al., 2018) (Figura 2).



*Phytophthora capsici*

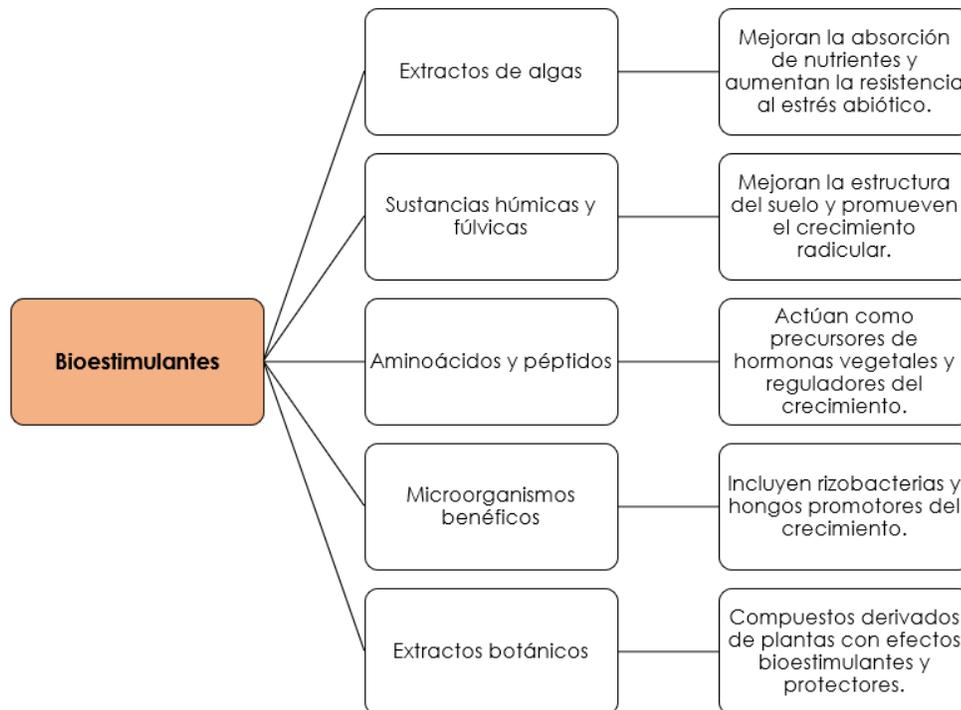


Virus del mosaico del tabaco  
(TMV)

**Figura 2.** Principales enfermedades en el cultivo de chile jalapeño

### 3.3 Bioestimulantes en la producción de chile jalapeño

Existen diferentes clases de bioestimulante (Figura 3) y diversas investigaciones han evaluado los efectos de los bioestimulantes en especies del género *Capsicum*, incluyendo el jalapeño. Los resultados han mostrado incrementos en el rendimiento, el tamaño del fruto, el contenido nutracéutico y la resistencia al estrés. Por ejemplo, Majkowska-Gadomska et al. (2021) evaluaron bioestimulantes microbianos en invernadero aplicados mediante riego y aspersion foliar en chile jalapeño; aunque no observaron mejoras consistentes en parámetros morfológicos, sí reportaron un aumento en la concentración de nitratos en frutos. Por su parte, Mezeyová et al. (2020) aplicaron hidrolizados húmicos en diferentes variedades de chile, registrando aumentos significativos en el rendimiento y el peso promedio de los frutos. Estos resultados evidencian que los bioestimulantes representan una herramienta valiosa para mejorar la productividad del cultivo de chile, aunque los efectos dependen del tipo de compuesto, la dosis aplicada y las condiciones ambientales.



**Figura 3.** Clasificación de los bioestimulantes

### 3.4 Extractos vegetales como bioestimulantes

Los extractos vegetales han cobrado importancia en los últimos años como fuentes naturales de compuestos bioactivos capaces de estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos productos suelen contener metabolitos secundarios como flavonoides, fenoles, saponinas, terpenos, alcaloides y péptidos bioactivos, que cumplen funciones de señalización en procesos fisiológicos y en la defensa contra el estrés (Figura 4) (Ertani et al., 2013). Los mecanismos de acción de los extractos vegetales incluyen la regulación de la síntesis de fitohormonas, la activación de enzimas antioxidantes y la mejora de la absorción de nutrientes. Su aplicación ha mostrado resultados positivos en cultivos hortícolas como tomate, lechuga y chile, aumentando el rendimiento, el tamaño de los frutos y la concentración de compuestos nutraceuticos (Caruso et al., 2019). Una ventaja adicional es que los extractos vegetales suelen ser biodegradables y de bajo impacto ambiental, lo que los convierte en una alternativa compatible con esquemas de agricultura orgánica y de manejo integrado de cultivos.

#### Flavonoides:

- Actúan como antioxidantes y reguladores del crecimiento.

#### Terpenoides

- Mejoran la resistencia de la planta a condiciones adversas.

#### Compuestos fenólicos

- Favorecen la actividad microbiana benéfica en el suelo.

**Figura 4.** compuestos bioactivos capaces de estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas

### 3.5 Higuierilla

La higuierilla (*Ricinus communis* L.) (Figura 5), perteneciente a la familia Euphorbiaceae, es un arbusto perenne originario del noreste de África, en especial Etiopía, y actualmente se encuentra ampliamente distribuido en regiones tropicales y subtropicales del mundo, siendo India, Brasil y China los principales productores (Weiss, 2000; FAOSTAT, 2021). La planta alcanza de 2 a 5 metros de altura, con tallos huecos y hojas grandes, palmeadas y lobuladas, mientras que sus frutos son cápsulas espinosas que contienen semillas ricas en aceite (Severino et al., 2012). Las semillas poseen entre 40 y 55 % de aceite, cuyo principal componente es el ácido ricinoleico (~90 %), lo que le confiere gran valor industrial en la producción de lubricantes, cosméticos, pinturas, plásticos biodegradables y biodiésel (Anjani, 2014; Mutlu & Meier, 2010). Además, la especie contiene metabolitos secundarios como flavonoides, saponinas, terpenoides y proteínas como la ricina, una toxina ribosómica altamente potente, y la RCA, con actividad lectínica (Stirpe & Battelli, 2006). En la agricultura, la higuierilla ha despertado interés por el potencial bioactivo de sus extractos, los cuales han mostrado propiedades bioinsecticidas, nematocidas y bioestimulantes, capaces de mejorar parámetros de crecimiento y rendimiento en diversos cultivos, así como reducir la incidencia de plagas y enfermedades, lo que la convierte en una alternativa sostenible para disminuir el uso de agroquímicos convencionales (Fasina et al., 2020). No obstante, el aprovechamiento directo de sus semillas está restringido por la toxicidad de la ricina, por lo que su aplicación agrícola requiere procesos de detoxificación y un manejo adecuado.



**Figura 5.** Plantas de higuerilla en la localidad de Banzha, municipio de Tecozautla, Hidalgo, México

### 3.6 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica se fundamenta en principios ecológicos que buscan mantener la salud del suelo, los ecosistemas y las personas, evitando el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos. En este sistema, se promueve la utilización de insumos naturales como compostas, microorganismos benéficos, extractos vegetales y bioestimulantes (IFOAM, 2020). El cultivo de chile jalapeño bajo esquemas de producción orgánica representa una oportunidad para acceder a mercados diferenciados con mayor valor agregado, además de reducir la dependencia de agroquímicos y minimizar los impactos ambientales. Sin embargo, el reto principal radica en mantener niveles de productividad competitivos con el modelo convencional (Tamayo, 2009).

## 4. Justificación

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes de México y del mundo, tanto por su valor económico como por su aporte nutricional y cultural. México se posiciona como uno de los principales productores y exportadores, lo que convierte al jalapeño en un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola nacional. Sin embargo, el aumento en la demanda del producto plantea el desafío de incrementar la productividad y calidad del fruto de manera sostenible, evitando la dependencia excesiva de fertilizantes y agroquímicos de síntesis que generan impactos negativos en el ambiente, la salud del suelo y la economía de los agricultores. En este contexto, los bioestimulantes se presentan como una alternativa innovadora y sostenible, ya que mejoran la absorción de nutrientes, estimulan el crecimiento vegetal, aumentan la tolerancia al estrés biótico y abiótico, y optimizan la calidad de los frutos, sin sustituir directamente a los fertilizantes ni a los fitosanitarios. No obstante, gran parte de los bioestimulantes disponibles en el mercado son de origen importado y presentan un alto costo, lo cual limita su adopción por pequeños y medianos productores.

La higuera (*Jatropha curcas* L.) es una planta de fácil acceso en regiones tropicales y subtropicales de México, rica en compuestos bioactivos como ácidos grasos insaturados, fenoles, flavonoides y fitoesteroides, que podrían conferir propiedades bioestimulantes. Sin embargo, hasta la fecha existen muy pocos estudios que evalúen su uso como bioestimulante en cultivos hortícolas, particularmente en el chile jalapeño. Por lo anterior, esta investigación busca evaluar el efecto de un bioestimulante elaborado a partir de extractos de higuera sobre el rendimiento y la calidad del chile jalapeño en campo abierto, con el propósito de generar conocimiento científico y práctico que contribuya al desarrollo de alternativas accesibles, sostenibles y de bajo costo para los agricultores. De esta manera, el estudio tiene una relevancia tanto académica, al aportar evidencia sobre un recurso vegetal poco explorado, como productiva y social, al ofrecer una opción innovadora para mejorar la competitividad del cultivo de chile jalapeño en México.

## 5. Hipótesis

La aplicación de un bioestimulante elaborado a base de higuierilla (*Jatropha curcas* L.) incrementa significativamente el rendimiento y la calidad de los frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivado en campo abierto, en comparación con plantas no tratadas.

## 6. Objetivo general

Evaluar el efecto de un bioestimulante elaborado a base de higuierilla (*Jatropha curcas* L.) sobre el rendimiento y la calidad del fruto en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en campo abierto.

### 6.1 Objetivos específicos

- I. Elaborar un bioestimulante a partir de extractos de higuierilla (*Jatropha curcas* L.) con potencial uso agrícola.
- II. Determinar el efecto del bioestimulante de higuierilla sobre el crecimiento vegetativo del chile jalapeño en condiciones de campo abierto.
- III. Evaluar la calidad de los frutos de jalapeño tratados con el bioestimulante de higuierilla en comparación con un control sin aplicación.

## 7. Material y métodos

### 7.1 Ubicación del área de estudio y establecimiento del cultivo

El estudio se realizó en un campo agrícola ubicado en la localidad de Banzha, municipio de Tecozautla, Hidalgo, México (20°31'41.1" N, 99°39'53.8" O), a una altitud aproximada de 2,000 msnm. La zona se caracteriza por un clima semiárido cálido, con una temperatura media anual de 18 °C, precipitación promedio de 600 mm y humedad relativa cercana al 45 % (INEGI, 2025). El suelo del sitio de estudio es Phaeozem, con un pH de 6.5, capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 35 cmol kg<sup>-1</sup> y un contenido de materia orgánica del 3.5 % (Acevedo-Sandoval et al., 2010). La parcela experimental tuvo una superficie total de 1000 m<sup>2</sup>. Se prepararon camas de cultivo de 90 cm de ancho y 40 cm de altura, con una longitud de 100 m y pasillos intermedios de 80 cm. El sistema de riego utilizado fue por goteo, mediante cintilla con emisores espaciados cada 10 cm. Para el control de malezas se empleó un acolchado plástico negro en todas las camas. Las semillas de

chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) variedad "Mixteco" fueron sembradas en charolas de germinación bajo condiciones controladas. Veinte días después de la siembra, y cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 15 cm, se realizó el trasplante al campo experimental. Esta variedad fue seleccionada por su adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de la región y a la temperatura correspondiente del ciclo productivo. El trasplante se llevó a cabo en un marco de plantación a tres bolillos, con una separación de 35 cm entre plantas. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron labores culturales como deshierbes manuales y monitoreo sanitario para mantener condiciones óptimas de crecimiento.

### 7.2 Obtención de la muestra y extracto vegetal

Las hojas sanas de *Jatropha curcas* L. fueron recolectadas en la localidad de Banzha, municipio de Tecozautla, Hidalgo, México (20°31'41.1" N, 99°39'53.8" O). Las muestras se colocaron en bolsas de plástico limpias y fueron transportadas al laboratorio de Química Agrícola del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) (Figura 6). Posteriormente las hojas fueron separadas manualmente de los tallos y lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 5% para eliminar impurezas superficiales. Posteriormente, se dejaron secar a temperatura ambiente controlada ( $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) durante 15 días, hasta alcanzar un estado de deshidratación adecuado. Una vez secas, las hojas fueron trituradas con molino de cuchillas hasta obtener material homogéneo. Para la elaboración del extracto vegetal, se utilizó una proporción de 100 g de material seco por cada litro de agua destilada, y se dejó en maceración durante 24 horas con agitación ocasional. El extracto fue posteriormente filtrado mediante malla fina y concentrado en un evaporador rotatorio (Büchi R-215, Flawil, Switzerland) durante 4 horas a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  y una presión de 50 mbar, ajustando la presión para evitar la degradación térmica de los metabolitos secundarios. El concentrado final fue almacenado en frascos de vidrio ámbar y conservado en refrigeración a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta su aplicación experimental (Sasidharan et al., 2011).



**Figura 6.** Colecta de muestra vegetal

### 7.3 Elaboración del bioestimulante y aplicación de los tratamientos

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar para reducir el efecto de la variabilidad espacial del terreno (Figura 7). Los tratamientos consistieron en tres concentraciones de higuerrilla: T1 ( $50 \text{ mL L}^{-1}$ ), T2 ( $75 \text{ mL L}^{-1}$ ) y T3 ( $100 \text{ mL L}^{-1}$ ) todos combinados con  $1.5 \text{ mL L}^{-1}$  de adherente Bionex ©; un tratamiento comercial (SMART ACTIVE B-MO ©) con la misma concentración de adherente y un testigo absoluto el cual sólo se aplicó agua. Cada tratamiento se aplicó a 10 plantas de chile jalapeño resultando en un total de 50 unidades experimentales. Las aplicaciones se realizaron por vía foliar utilizando una bomba aspiradora manual multipropósito asegurando una cobertura homogénea sobre la superficie foliar de cada planta. En cada aplicación se suministraron 50 mL de la solución correspondiente por planta. Se realizaron tres aplicaciones en total con una frecuencia de tres semanas entre cada una iniciando en la semana del trasplante con el objetivo de evaluar el efecto del bioestimulante en el ciclo fenológico de este cultivo.



**Figura 7.** Sitio experimental

## 7.4 Variables agronómicas

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo agronómico del cultivo de chile jalapeño se realizaron mediciones a los 90 días después del trasplante (DDT) momento en el cual las plantas se encontraban en etapa de madurez fisiológica de los frutos, las variables vegetativas consideradas incluyeron altura de la planta diámetro del tallo y número de hojas (Figura 8). La altura se midió desde la base del tallo a nivel del suelo hasta el ápice de crecimiento utilizando un flexómetro (Modelo PRO-8ME-R, TRUPER, CDMX, México) siguiendo los criterios de evaluación propuestos por González-Lemus et al., 2025. El diámetro basal del tallo se registró en un vernier digital (Modelo CALDI-6MP, TRUPER, México) permitiendo observar el efecto del bioestimulante sobre la robustez estructural de la planta. El número de hojas se contabilizó mediante un conteo visual individualizado por planta considerando únicamente aquellas completamente desarrolladas. En cuanto a las variables reproductivas, se evaluaron características del fruto tales como el número total de frutos por planta, el peso individual y los diámetros polar y ecuatorial. Los cuales permiten valorar el llenado y la calidad del fruto. Las mediciones de los diámetros se realizaron con un vernier digital, registrando el eje longitudinal (polar) y el eje transversal (ecuatorial). El peso de cada fruto se determinó con una balanza digital de precisión (Modelo OHAUS Compass™, ULINE, CDMX, México), y el número total de frutos por planta se obtuvo mediante un conteo manual al momento de la cosecha finalmente el rendimiento se calculó sobre el peso total de productos no cosechados por planta expresada en gramos para comparar la eficiencia productiva entre tratamientos.



**Figura 8.** Medición de variables agronómicas

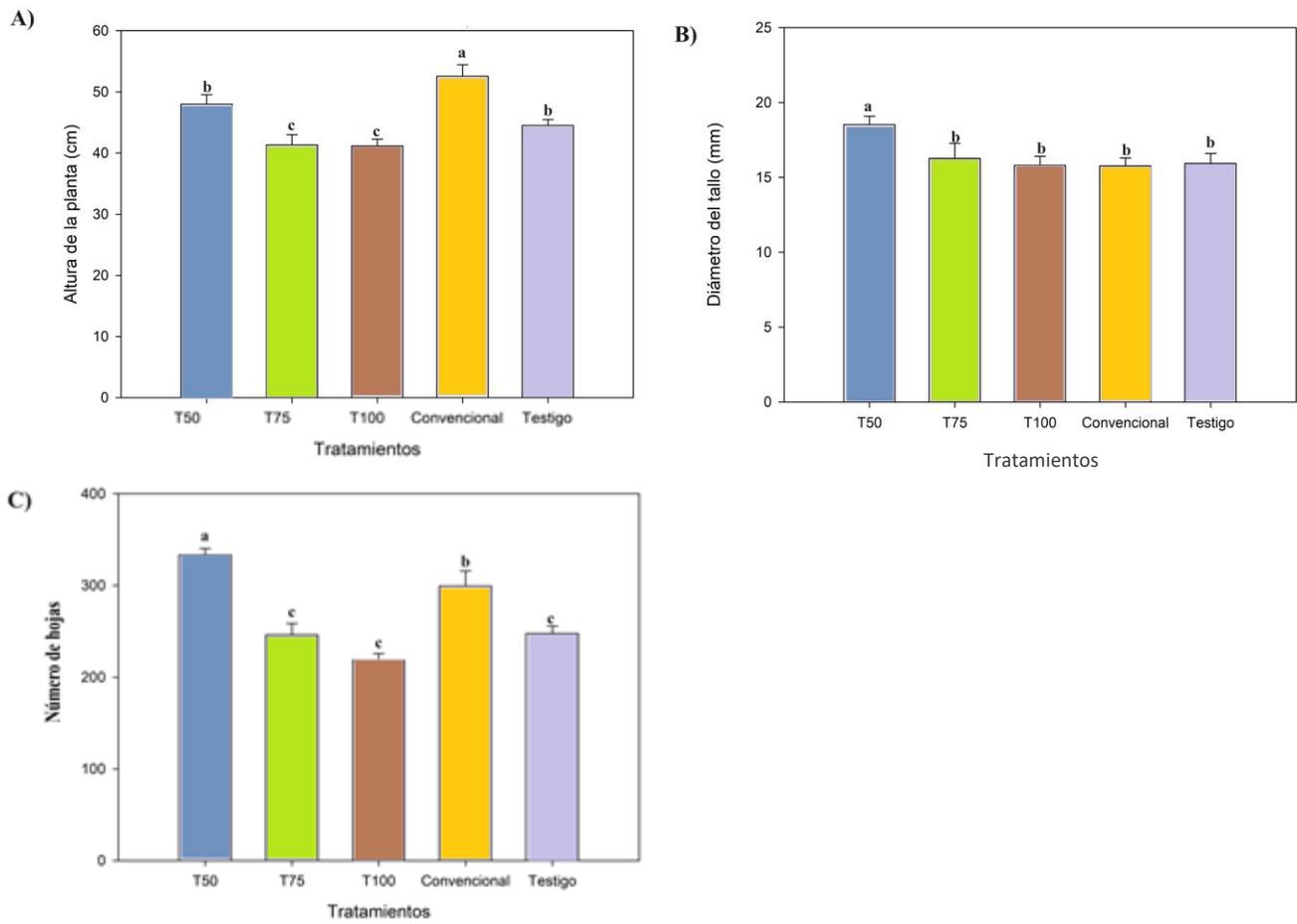
## 7.5 Análisis estadístico

Para analizar las variables agronómicas se realizó un análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat 2020.

## 8. Resultados

### 8.1 Variables agronómicas

Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable altura de la planta (Figura 9A). El tratamiento convencional incrementó la altura de la planta en un 20% mientras que el tratamiento T50 mostró un aumento del 9% en comparación con el testigo. Por el contrario, los tratamientos T75 y T100 mostraron reducciones del 5% y 7% respectivamente, en relación con el testigo. A su vez T50 fue 17% superior a T75 y T100. Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50 con respecto a T75, T100, comercial y testigo para la variable diámetro del tallo (Figura 9B). El tratamiento T50 mostró un incremento del 15% en el diámetro del tallo respecto al testigo. El tratamiento T75 mostro un incremento del 3% respecto al testigo, mientras que el tratamiento convencional tuvo una reducción del 1%. El tratamiento T50 presentó un valor del 12% mayor que T75, y 15% superior a T100, convencional y testigo. Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable número de hojas (Figura 9C). El tratamiento T50 presentó un aumento del 36% respecto al testigo. El tratamiento T100 presento una reducción del 12% con respecto a T50; Se observó que T75 tuvo 26% menos número de hojas que T50, T100 tuvo 35% menos que T50, y el tratamiento convencional presento 12% menos hojas que T50.

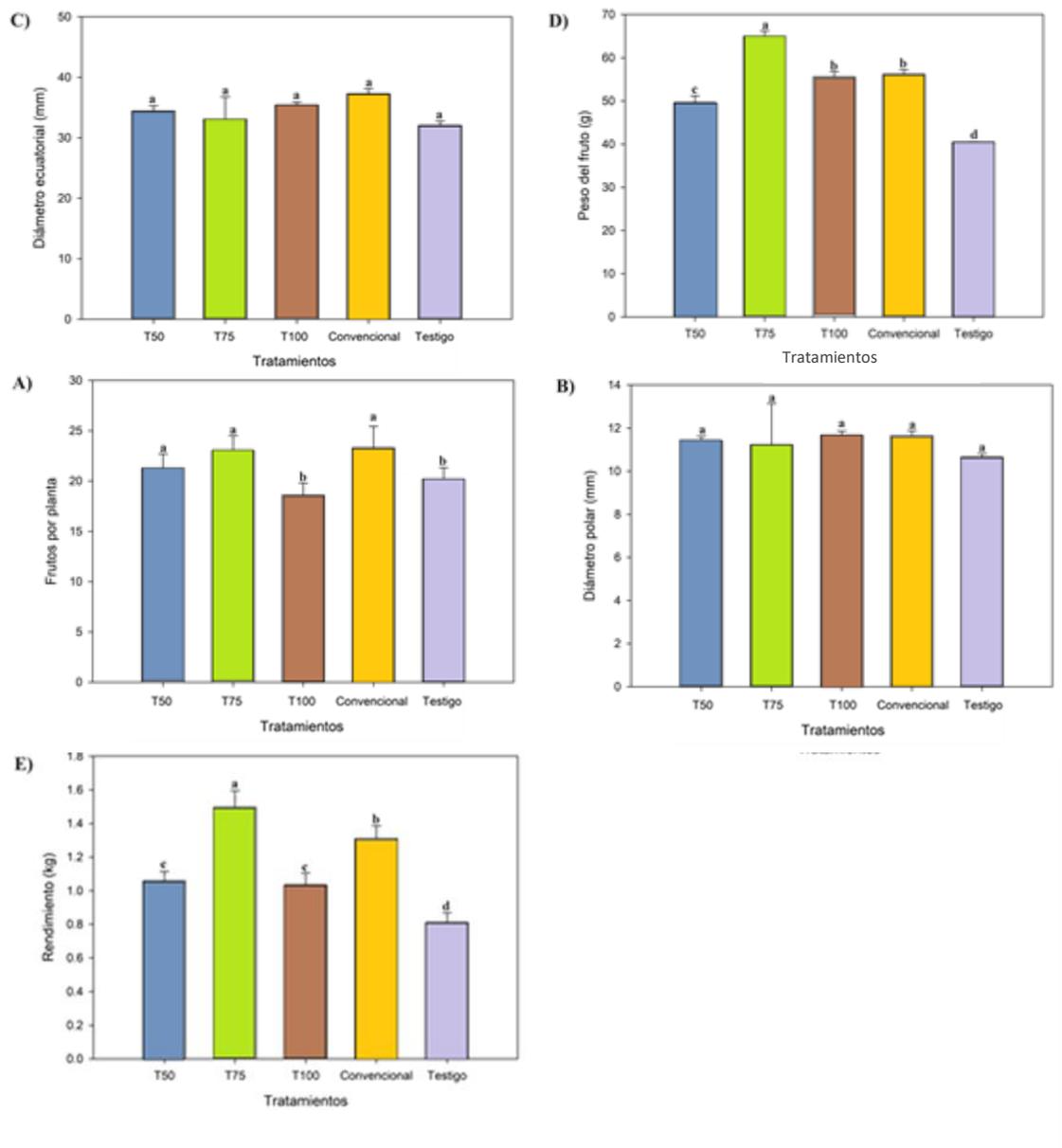


**Figura 9. A)** Altura de la planta; **B)** Diámetro del tallo; **C)** Número de hojas. Las letras diferentes en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ( $\alpha = 0,05$ );  $n = 10$  error estándar

Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable frutos por planta (Figura 10A). El tratamiento T50 presentó un incremento del 31%, T75 un 89%, T100 de 28%, y comercial de 62% respecto al testigo. El tratamiento T75 tuvo 44% más peso que T50; T100 tuvo 2% menos que T50; El tratamiento convencional tuvo 24% más que T50; Testigo tuvo 23% menos que T50; T100 tuvo 32% menos que T75. Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable diámetro polar del fruto (Figura 10B). El tratamiento convencional mostro un incremento del 9% en el diámetro polar en comparación con el testigo. El tratamiento T100 presentó un aumento del 8%, mientras que T50 incremento el diámetro 7% respecto a testigo. Por su parte, el tratamiento T75 mostró un aumento del 7% en comparación con el testigo. Por otro lado, el tratamiento T50 superó a T75 en un 1%. El tratamiento T100 presentó un valor 1% menor que el convencional.

Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable diámetro ecuatorial del fruto (Figura 10C). El tratamiento convencional mostró un incremento del 16%, mientras que T100 presentó un aumento del 9% en comparación con el testigo. El tratamiento T50 incrementó el diámetro en un 6% y T75 en 3% respecto al testigo. En cuanto al tratamiento T50 superó a T75 en 3 % y fue 3 % menor que T100, mientras que T75 fue 6% menor que T100. El tratamiento convencional presento valores superiores a T50 en 9 %, a T75 en 12% y a T100 en 6%. Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamiento T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable peso del fruto (Figura 10D). El tratamiento T75 presentó el mayor incremento, con un aumento del 61% respecto al testigo. El tratamiento T100 aumentó el peso en 39%, seguido del convencional con un aumento del 38%, y T50 con un incremento del 22% en comparación con el

testigo. En cuanto a T75 fue superior a T50 en 31%, a T100 en 16%, y al convencional, y T50 tuvo un 13% menos peso que el convencional. Un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) revelaron un efecto significativo entre los tratamientos T50, T75, T100, convencional y testigo para la variable rendimiento (Figura 10E). El tratamiento T75 fue el más destacado, con un incremento del 84% en el rendimiento respecto al testigo. Seguido del tratamiento convencional, con un incremento del 61%; T50 y T100 con un 30% y 28% respectivamente, con respecto a el testigo. T75 presentó un rendimiento 43% mayor que T50, 40% mayor que T100, y 15% mayor que el convencional. El tratamiento convencional superó a T50 en 24% y a T100 en 21%, mientras que entre T50 y T100 la diferencia fue de 2% a favor de T50.



**Figura 10. A) Frutos por planta; B) Diámetro polar; C) Diámetro ecuatorial; D) Peso del fruto; E) Rendimiento.** Las letras diferentes en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ( $\alpha = 0,05$ );  $n = 10$  error estándar.

## 9. Discusiones

La aplicación de bioestimulantes derivados de *Jatropha curcas* L. Promovió un efecto significativo en el número de hojas, diámetro del tallo, dimensiones del fruto, peso individual y rendimiento por planta (Figura 9 y 10). La higuera es rica en metabolitos secundarios con función bioactiva, como ( $\beta$ -sitosterol, estigmasterol), ácidos grasos poliinsaturados (oleico, linoleico), flavonoides, compuestos fenólicos, alcaloides, saponinas, lectinas y ácidos orgánicos (Shafi et al., 2024). Estos compuestos modulan rutas metabólicas en células vegetales, particularmente aquellas asociadas al crecimiento y la defensa (Di salario et al., 2025). El aumento en el número de hojas, la altura de la planta y el diámetro del tallo observado en los tratamientos T50 y T75 (Figura 9) puede explicarse por un incremento en la división y elongación celular. Este efecto está mediado por una activación de la señalización de auxinas y giberelinas (González-Lemus et al., 2025). Los extractos vegetales como el de higuera pueden inducir la expresión de genes clave como *ARF7*, *ARF19*, *PIN1* y *CYCD3;1*, los cuales estimulan directamente la actividad meristemática. Este estímulo hormonal también favorece una mayor capacidad fotosintética, ya que las hojas actúan como fuentes primarias de carbohidratos, que posteriormente son translocados a los frutos en desarrollo (Zhang et al., 2013).

Los componentes de *Jatropha curcas* L. posiblemente modulan procesos esenciales como la asimilación de nitrógeno, la actividad fotosintética y el balance redox celular. Se ha reportado que los ácidos grasos, flavonoides y saponinas de origen vegetal aumentan la actividad de enzimas como: la nitrato reductasa rubisco, ATPasa de membrana y fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC), mejorando el metabolismo primario y el transporte activo de nutrientes (Wu et al., 2023). Esto puede explicar los incrementos en el peso del fruto y rendimientos observados principalmente en el tratamiento T75 el cual mostró un rendimiento hasta 84% superior al testigo la aplicación de extractos de higuera (Figura 10) también activa cascadas de señalización intracelular principalmente mediante receptores tipo quinasa presentes en la membrana plasmática. Estos receptores detectan moléculas bioactivas (elicitors) como saponinas y flavonoides, desencadenando una respuesta que incluye aumento transitorio de especies reactivas de oxígeno

(ROS), óxido nítrico (NO) y calcio citosólico (Yakin et al., 2017). Estos segundos mensajeros activan factores de transcripción como *WRKY*, *MYB* y *DREB*, los cuales a su vez regulan la expresión de genes implicados en síntesis de proteínas, síntesis de flavonoides y defensa celular este proceso explica la mayor integridad estructural observada en los frutos de plantas tratadas, así como con mayor tamaño (Ali et al., 2024). Adicionalmente los compuestos bioestimulantes inducen una mayor partición de recursos redirigiendo fotoasimilados y nutrientes hacia los órganos reproductivos. Este fenómeno se traduce en un mayor número y peso de frutas por plantas como se observa en los tratamientos con mejor respuesta agronómica (Dasgan et al., 2024). Así, los tratamientos T50 y T75 pudieron establecer el balance óptimo entre estímulo y homeostasis mientras que dosis mayores T100 podrían haber generado una sobre estimulación o saturación de señales reduciendo ligeramente su efectividad.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por Márquez-Mendoza et al., 2025, donde aplicaron bioestimulantes microbianos en chile jalapeño y se observó un incremento en el peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial, así como rendimiento. En otra investigación realizada por Adame-García et al., 2024 evaluaron bioestimulantes comerciales en chile jalapeño y se reportó un incremento en el peso seco de la plántula/ raíz y peso del fruto.

## 10. Conclusión

La aplicación del extracto foliar de *Jatropha curcas* L. representa una alternativa prometedora y sustentable para mejorar el rendimiento y la calidad del chile jalapeño en campo abierto. Los tratamientos con bioestimulante promovieron un balance óptimo entre bioestimulación del crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo, superando incluso al tratamiento convencional. Los resultados sugieren que la higuierilla, gracias a su riqueza en metabolitos bioactivos, activa mecanismos fisiológicos y bioquímicos clave que mejoran la eficiencia fotosintética, el metabolismo de nutrientes y la integridad estructural del fruto. Este enfoque abre nuevas posibilidades para el uso de recursos vegetales nativos como herramientas agroecológicas en la producción hortícola.

## 11. Referencias

- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, M. A., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. *Universidad y ciencia*, 26(2), 137-150.
- Adame-García, J., Martínez-González, A., & Ramírez-Luna, M. (2024). Effect of microbial biostimulants on seedlings and fruits of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) produced in macrotunnel. *Revista Bio Ciencias*, 11, 1-18. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- Ali, S., Akhtar, M. S., Siraj, M., & Zaman, W. (2024). Molecular Communication of Microbial Plant Biostimulants in the Rhizosphere Under Abiotic Stress Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 1-32. <https://doi.org/10.3390/ijms252212424>
- Anjani, K. (2014). Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products*, 52, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.019>
- Arthur, J. D., Li, T., & Bi, G. (2022). Plant growth, yield, and quality of containerized heirloom chile pepper cultivars affected by three types of biostimulants. *Horticulturae*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010012>
- Barchenger, D. W., Lamour, K. H., & Bosland, P. W. (2018). Genetics and mechanisms of resistance to *Phytophthora capsici* in *Capsicum* spp. *Plant Disease*, 102(1), 1-13.
- Bari, Cihat, N., Akyil, S., & Said, O. (2023). Trends in Food Science & Technology Cocoa based beverages – Composition, nutritional value, processing, quality problems and new perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 132(4), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.12.011>
- Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Bonini, P., & Rouphael, Y. (2019). Leaf extracts as natural biostimulants in horticulture: effects on growth and yield of vegetable crops. *Horticultural Science*, 46(1), 71–80.
- Dasha, Y., Aksu, K. S., Zikaria, K., & Gruda, N. S. (2024). Biostimulants enhance the nutritional quality of soilless greenhouse tomatoes. *Plants*, 13(18), 1-21. <https://doi.org/10.3390/plants13182587>
- De la Cruz-Ricárdez, D., del Carmen Lagunes-Espinoza, L., Soto-Hernández, R. M., Hernández-Nataren, E., Ortiz-García, C. F., & Acosta-Pech, R. G. (2024). Phytochemical profile of *Capsicum* spp. fruits related to ripeness level, shading and harvest season in the southeast of Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(2), 211-224.

- Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T., & Pizzio, G. A. (2025). Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), 1-25. <https://doi.org/10.3390/ijms26031129>
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., Righi, V., & Nardi, S. (2013). Extracts from plants and seaweeds as biostimulants in horticulture. *Agronomy*, 3(1), 33–52.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. Statistical Data on Crops, Tomatoes, World. 2025. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 18 March 2025)
- Fasina, F. O., Adeniran, O. I., & Kolawole, A. O. (2020). Insecticidal and growth-promoting potentials of *Ricinus communis* extracts on selected crops. *Journal of Applied Biosciences*, 148(1), 15180–15191. <https://doi.org/10.35759/JABs.148.1>
- Golian, M., Mezeyová, I., Andrejiová, A., Hegedusová, A., Adamec, S., Štefániková, J., & Árvay, J. (2024). Effects of selected biostimulants on qualitative and quantitative parameters of nine cultivars of the genus *Capsicum spp.* *Open Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0266> MDPI+6
- Gómez-García, M. R., Hernández-Leal, L., Rodríguez-Lagunes, D., & Pérez-Rodríguez, M. A. (2025). Jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.): Cultural importance and benefit of endomycorrhizal symbiosis in sustainable production. *Agro Productividad*, 18(5), 92–98. <https://doi.org/10.32854/v2z4s208>
- González-Lemus, U., Tapia-Zayago, F. A., Pérez-Ríos, S. R., Zaldívar-Ortega, A. K., Rueda-Puente, E. O., Hernández-Pérez, A., & Hernández-Soto, I. (2025). Lentil Biorooting Agents: An Ecological Alternative to Improve the Growth and Development of Italian Zucchini in Sustainable Production Systems. *Horticulturae*, 11(3), 1-13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11030332>
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). (2020). Principles of Organic Agriculture. <https://www.ifoam.bio/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Anuario Estadístico y Geográfico del Estado de Hidalgo, México; Gobierno del Estado de Hidalgo: Higoalco, Mexico, 2017; Volumen 1, p. 1674. Available online: [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bv\\_inegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825095093.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bv_inegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.pdf) (accessed on 5 March 2025).
- López, C. G., & González, P. A. G. (2001). Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum*, L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 49-56.

- Majkowska-Gadomska, J., Dobrowolski, A., Jadwisieńczyk, K. K., Kaliniewicz, Z., & Francke, A. (2021). Effect of biostimulants on the growth, yield and nutritional value of *Capsicum annuum* grown in an unheated plastic tunnel. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01834-x>
- Márquez-Mendoza, J. G., García-Sánchez, R., Hernández-Piñón, E., & López-Medina, J. (2025). La biofertilización aumenta el tamaño de fruto y calidad de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(1), 35–44. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5467>
- Massoukou Pamba, R., Poirier, V., Nguema Ndoutoumou, P., & Epule, T. E. (2024). Growing *Jatropha curcas* L. Improves the Chemical Characteristics of Degraded Tropical Soils. *Forests*, 15(10), 1-12. <https://doi.org/10.3390/f15101709>
- Melo, P., Abreu, C., Bahcevandziev, K., Araujo, G., & Pereira, L. (2020). Biostimulant effect of marine macroalgae bioextract on pepper grown in greenhouse. *Applied Sciences*, 10(11), 4052. <https://doi.org/10.3390/app10114052>
- Mezeyová, I., Kollárová, I., Golian, M., Árvay, J., Mezey, J., Šlosár, M., & Horečná, T. (2024). The Effect of Humic-Based Biostimulants on the Yield and Quality Parameters of Chili Peppers. *Horticulturae*, 10(9),1-17. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090998>
- Mutlu, H., & Meier, M. A. R. (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1), 10–30. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900138>
- Ochoa-Chaparro, E. H., Ramírez-Estrada, C. A., Anchondo-Páez, J. C., Sánchez, E., Pérez-Álvarez, S., Castruita-Esparza, L. U., & Franco-Lagos, C. L. (2024). Nanopriming with Zinc–Molybdenum in Jalapeño Pepper on Imbibition, Germination, and Early Growth. *Agronomy*, 14(8), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081609>
- Pérez-Vazquez, E. L., Gaucín-Delgado, J. M., Ramírez-Rodríguez, S. C., Sariñana-Navarrete, M. D. L. Á., Zapata Sifuentes, G., & Zuñiga-Valenzuela, E. (2020). Electrical conductivity of the nutrient solution its effect on the yield and nutraceutical quality of bell pepper. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(7), 1669-1675.
- Sánchez Toledano, B. I., Camarena Gómez, D. M. J., López Santiago, M. A., & Cuevas Reyes, V. (2023). Consumer preferences of jalapeño pepper in the mexican market. *Horticulturae*, 9(6), 1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060684>
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *African journal of traditional, complementary and alternative medicines*, 8(1),1-10. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v8i1.60483>

- Severino, L. S., Auld, D. L., Baldanzi, M., Cândido, M. J. D., Chen, G., Crosby, W., Tan, D., He, X., Lakshamma, P., Lavanya, C., Machado, O. L. T., Mielke, T., Milani, M., Miller, T. D., Morris, J. B., Morse, S. A., Navas, A. A., Soares, D. J., Sofiatti, V., Zieler, H. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agricultural Sciences*, 3(3), 1–15. <https://doi.org/10.4236/as.2012.31001>
- Shafi, M. E., Alsabi, H. A., Almasoudi, S. H., Mufti, F. A., Alowaidi, S. A., & Alaswad, A. A. (2024). Catalytic Conversion of *Jatropha curcas* Oil to Biodiesel Using Mussel Shell-Derived Catalyst: Characterization, Stability, and Comparative Study. *Inorganics*, 12(4), 1-18. <https://doi.org/10.3390/inorganics12040109>
- Stirpe, F., & Battelli, M. G. (2006). Ribosome-inactivating proteins: Progress and problems. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 63(16), 1850–1866. <https://doi.org/10.1007/s00018-006-6078-7>
- Tamayo, A. M. (2009). La agricultura orgánica y la agricultura tradicional: una alternativa intercultural. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (4), 24-26.
- Weiss, E. A. (2000). *Oilseed crops* (2nd ed.). Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470999761>
- Wu, Q., Zheng, D., Lian, N., Zhu, X., & Wu, J. (2023). Hormonal Regulation and Stimulation Response of *Jatropha curcas* L. Homolog Overexpression on Tobacco Leaf Growth by Transcriptome Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(17), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms241713183>
- Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 1-32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zhang, L., He, L. L., Fu, Q. T., & Xu, Z. F. (2013). Selection of reliable reference genes for gene expression studies in the biofuel plant *Jatropha curcas* using real-time quantitative PCR. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(12), 24338-24354. <https://doi.org/10.3390/ijms141224338>