

# Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) producidos en macrotúnel

Impact of microbial biostimulants on seedlings and fruit yield of serrano pepper (*Capsicum annuum* L.) under macrotunnel cultivation

Félix David Murillo-Cuevas<sup>1</sup> , Jacel Adame-García<sup>1\*</sup> , Héctor Cabrera-Mireles<sup>2</sup> ,  
José Antonio Fernández-Viveros<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Km 4.5 Carretera Cardel-Chachalacas, 91667, Úrsulo Galván, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Km. 34.5, 94992, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

\*Autor para correspondencia: jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

## Fecha de recepción:

16 de noviembre de 2023

## Fecha de aceptación:

8 de abril de 2024

## Publicado en línea:

18 de agosto de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

## RESUMEN

El uso de bioestimulantes microbianos es una práctica agrícola que protege al medio ambiente y son utilizados en la agricultura sostenible. El objetivo fue evaluar el efecto de tres bioestimulantes microbianos sobre el desarrollo de plántulas, dimensiones y peso de frutos de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) en condiciones protegidas de macrotúnel. Los tratamientos evaluados fueron: 1) Genifix®, 2) Trichoderma, 3) Bio-Terra y 4) testigo. Para plántulas, la variable de respuesta fue el peso seco. En frutos fueron peso, diámetro ecuatorial y polar de 20 frutos. Genifix® tuvo un efecto significativo incrementando en promedio 0.15 g el peso seco de las plántulas. Al analizar tres cortes de frutos de chile serrano juntos, los bioestimulantes Genifix® y Trichoderma incrementaron significativamente el peso de frutos en 0.76 g y 0.54 g respectivamente. Los bioestimulantes evaluados son una alternativa para incrementar la calidad y producción del chile serrano, así como el buen desarrollo de plántulas.

## PALABRAS CLAVE

*Bacillus*, *Trichoderma*, micorrizas, hortalizas, producción protegida

## ABSTRACT

The use of microbial biostimulants is an environmentally friendly agricultural practice and is employed in sustainable farming. The objective of this study was to evaluate the effect of three microbial biostimulants on seedling development, fruit size, and weight of serrano pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under macrotunnel conditions. The treatments evaluated were: 1) Genifix®, 2) Trichoderma, 3) Bio-Terra, and 4) control. For seedlings, the response variable was dry weight. For fruits, the variables measured were weight, equatorial diameter, and polar diameter of 20 fruits. Genifix® had a significant effect, increasing seedling dry weight by an average of 0.15 g. When analyzing three serrano pepper harvests together, the biostimulants Genifix® and Trichoderma significantly increased fruit weight by 0.76 g and 0.54 g, respectively. The evaluated biostimulants represent an alternative to improve the quality and yield of serrano pepper, as well as to promote good seedling development.

## KEY WORDS

*Bacillus*, *Trichoderma*, micorrizas, vegetables, protected production

## INTRODUCCIÓN

El uso de microorganismos benéficos en la agricultura, usando bioestimulantes microbianos, es cada vez más frecuente y con un enfoque sostenible para promover el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas (Ganugi et al., 2021). Los bioestimulantes son productos formulados a partir de microorganismos benéficos tales como hongos micorrízicos y no micorrízicos, bacterias endosimbiontes y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, los cuales modifican el estado hormonal y aumentan la productividad de las plantas, mejoran la respuesta de las plantas al estrés abiótico y aumentan la absorción de nutrientes mediante la fijación de nitrógeno o la solubilización de nutrientes (Arthur et al., 2023; Miguel-Ferrer et al., 2021).

Los bioestimulantes microbianos son alternativas eficientes para lograr una agricultura sostenible en la producción de hortalizas con un manejo de bajos insumos o fertilización mínima tradicional (Adame-García et al., 2023; Sánchez-Sánchez et al., 2022). De esta manera la producción de hortalizas puede responder al desafío global de alcanzar niveles altos de productividad con prácticas de manejo que garanticen la protección del medio ambiente, con una orientación cada vez más hacia una agricultura sostenible.

El chile verde es una de las hortalizas más importantes en México por su volumen y valor de producción, los cuales oscilan en los tres millones de toneladas y 34 mil millones de pesos, respectivamente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021). Entre las variedades más importantes de chile verde se encuentran el jalapeño, el poblano y el serrano. Estas variedades son altamente demandantes de nutrimentos, y los fertilizantes químicos que son aplicados tradicionalmente tienen un elevado costo y su uso ha sido asociado con efectos ambientales negativos (Cárdenas-Navarro et al., 2004; Cruz-Crespo et al., 2014; Salazar-Jara y Juárez-López, 2013). De tal forma que en la actualidad los bioestimulantes microbianos formulados principalmente con hongos *Trichoderma* y bacterias *Bacillus* están siendo evaluados para conocer su potencial como estimulantes en el desarrollo de plántulas, plantas y frutos de hortalizas (Adame-García et al., 2023; Murillo-Cuevas et al., 2021; Murillo-Cuevas et al., 2023).

Los hongos del género *Trichoderma* promueven el crecimiento y desarrollo vegetativo a través de la

formación de sideróforos quelatantes de hierro y hormonas reguladoras de crecimiento (Colla et al., 2015; Shores et al., 2010). Las bacterias del género *Bacillus* tienen la capacidad de solubilizar diferentes sustancias químicas, están involucradas en la síntesis de auxinas, producción de sideróforos, fijación de nitrógeno y en la síntesis de bacteriocinas (Lee et al., 2009; Sun et al., 2024).

Existen investigaciones que demuestran que los bioestimulantes microbianos son alternativas eficientes para mejorar la calidad de los cultivos en las prácticas agrícolas (Camacho-Rodríguez et al., 2022; Gamboa-Angulo et al., 2020; Murillo-Cuevas et al., 2023). Por ejemplo, Genifix<sup>®</sup>, el cual está formulado a base de cepas de bacterias del género *Bacillus*, ha tenido buenos resultados en el desarrollo de plántulas y frutos de chile habanero, morrón y jitomate, considerándolo igual o mejor a productos comerciales formulados con *T. harzianum* PHC<sup>®</sup>T-22<sup>®</sup> y MIX<sup>®</sup> (Adame-García et al., 2023; Murillo-Cuevas et al., 2021). El producto Bio-Terra formulado con un pool de microorganismos de los géneros *Rhizobium*, *Bacillus*, *Beauveria* y *Trichoderma*, ha tenido buenos efectos en porcentaje de germinación, incidencia de enfermedades y supervivencia, así como en altura de tallo y longitud de raíz en plantas de chile Huacle (Hernández-Rosas et al., 2023). Además, productos que se han usado para mejorar el desarrollo de algunos cultivos han utilizado cepas locales del hongo *T. harzianum*.

Sin embargo, la extensa gama de bioestimulantes y los diferentes efectos que tienen sobre la calidad de los cultivos, hace necesaria la selección de productos más beneficiosos bajo condiciones específicas que deberán determinarse en pruebas simultáneas de varios bioestimulantes en estas condiciones específicas. De tal forma que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres bioestimulantes microbianos sobre el desarrollo de plántulas, dimensiones y peso de frutos de chile serrano en condiciones protegidas de macrotúnel.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del sitio de estudio

El trabajo se realizó en el área de macrotúneles del Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Úrsulo Galván (Figura 1) (19° 24' 43.12" N, 96° 21'



Figura 1. Ubicación geográfica del Tecnológico de Úrsulo Galván (Imagen elaborada con Google Earth).

32.12" O), ubicado en el municipio de Úrsulo Galván, en la región centro costera de Veracruz. El clima de esta región se clasifica como Aw (tropical húmedo-seco) por el sistema Köppen-Geiger y modificado por García (1981), definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26 °C, y un rango de precipitación entre 1,100 y 1,300 mm (Instituto Nacional de Administración Pública, 2013).

### Material vegetal y bioestimulantes microbianos

Se utilizó la variedad comercial de chile serrano delgado "CHISER-522" INIFAP® (Ramírez et al., 2018). Todas las semillas se germinaron en charolas con sustrato peat moss e inoculadas con micorriza INIFAP® (*Rhizophagus intraradices*) antes de ponerlas a germinar. Los bioestimulantes que se evaluaron fueron productos a base de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp., hongos y bacterias, respectivamente (Cuadro 1).

### Evaluación en plántulas

40 semillas por tratamiento fueron germinadas en charolas con sustrato peat moss, inoculadas previamente con micorrizas. A las 24 h después de la siembra, se inocularon con 1 mL de solución de cada bioestimulante.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 40 repeticiones, considerando cada plántula como una repetición. Los tratamientos evaluados correspondieron a cada uno de los bioestimulantes listados en el Cuadro 1, el testigo consistió en semillas no inoculadas con bioestimulante. La variable de respuesta se tomó a los 27 días después de la siembra (dds), la cual fue el peso seco de plántula, colocadas en horno de secado a 65 °C durante 72 h.

### Evaluación en frutos

En la evaluación de frutos de chile serrano se utilizó un cultivo en condiciones protegidas de macrotúnel.

**Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la evaluación del efecto bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile serrano en condiciones protegidas de macrotúnel.**

Tratamiento	Fabricante	Ingrediente activo	Dosis
Genifix®	Tecnológico Nacional de México, Úrsulo Galván, México	<i>Bacillus</i> sp. JVN5, <i>B. megaterium</i> strain VVM1, <i>Bacillus</i> sp. FDMC4, <i>B. subtilis</i> strain JAG3, <i>B. megaterium</i> strain EAV2	20% (v/v)
Trichoderma	Ingenio La Gloria, Úrsulo Galván, México	<i>Trichoderma harzianum</i>	1 kg en 200 l agua
Bio-Terra	Colegio de Postgraduados, Córdoba, México	<i>Rhizobium</i> sp., <i>B. subtilis</i> , <i>B. thuringiensis</i> var. <i>krustaki</i> , <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	0.5 kg en 200 l agua
Testigo	-	Agua	

El macrotúnel fue de 3 m de ancho por 30 m de largo (90 m<sup>2</sup>), forrado con malla antiáfidos, con tapa trasera y doble puerta de seguridad para el acceso. El marco de plantación fue de una planta cada 25 cm a tres bolillos, lo cual dio un total de 120 plantas por cama y 240 por macrotúnel. Se utilizó un sistema de riego por goteo y acolchado blanco.

Las plántulas se trasplantaron a los 27 dds en charola y se utilizaron frutos de tres cortes [115, 130 y 150 días después del trasplante (ddt)]. En todos los tratamientos por igual se realizó una fertilización mínima del cultivo, para el caso de los micronutrientes se aplicó el producto comercial Bayfolan® Forte (Bayer®, Edo. México, México) (2 l ha<sup>-1</sup> en 200 l de agua) cada 20 días vía foliar y para el caso de Boro/Calcio se aplicó vía foliar el producto Cabo Zinc (AgroScience®, Jalisco, México) (2 l ha<sup>-1</sup> en 200 l de agua), al inicio de floración y posteriormente cada 20 días. También se realizaron aplicaciones al suelo de ácidos húmicos al 10% con Hortihumus® (Hortitec, Los Mochis, México), inicialmente una aplicación a los 15 ddt y posteriormente cada 30 días. Todas las aplicaciones se realizaron hasta concluir el ciclo productivo.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones (bloques) distribuidas en dos camas, en cada bloque se consideraron seis plantas de chile. En cada tratamiento los bioestimulantes se aplicaron mensualmente al suelo, dirigidos al cuello de la planta (drench).

Las variables de respuesta se midieron a 20 frutos tomados al azar de las seis plantas, por bloque. Las variables fueron peso en gramos utilizando una balanza analítica (OHAUS®, Nueva Jersey, Estados Unidos), diámetro ecuatorial y polar en centíme-

tros, empleando un vernier digital (Steren®, México). También se consideró la producción del macrotúnel en peso del total de frutos por corte y por bloque de tres cortes.

#### Análisis estadístico

Para comparar el efecto de los bioestimulantes en el peso de plántulas, peso y dimensiones de frutos, así como en la producción de chile serrano, se realizó un ANOVA y una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron con el *software* Infostat® versión 2020. Los resultados se presentan en promedios  $\pm$  error estándar (E.E) y el porcentaje de coeficiente de variación (C.V).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación en plántulas

El análisis estadístico indica que al aplicar bioestimulantes en la variable de peso seco, no existe diferencia significativa entre los bioestimulantes comerciales, sin embargo, Genifix® sí fue estadísticamente distinto contra el testigo ( $F_{3,76} = 3.10$ ,  $p = 0.0317$ ), incrementando en promedio 0.15 g (14.2 %) (Cuadro 2). Trichoderma provocó un incremento numérico importante de 0.11 g (10.8 %) en el peso seco de las plántulas de chile serrano (Cuadro 2).

Las evaluaciones de bioestimulantes microbianos en chile verde se han realizado en su mayoría en el cultivar habanero (Cristóbal-Alejo et al., 2021; Mejía-Bautista et al., 2022; Murillo-Cuevas et al., 2021), siendo

menos la información que se tiene para otras variedades como jalapeño (Angulo-Castro et al., 2018; Camacho-Rodríguez et al., 2022), morrón (Adame-García et al., 2023; Luna et al., 2013) y serrano (Cabanzo-Atilano et al., 2020; Espinoza-Ahumada et al., 2019).

**Cuadro 2. Efecto de bioestimulantes microbianos en el peso seco de plántula de chile serrano.**

Tratamientos	Peso seco de plántula (g)
Genifix®	1.06 ± 0.04 <sup>a*</sup>
Trichoderma	1.02 ± 0.04 <sup>ab</sup>
Bio-Terra	0.97 ± 0.03 <sup>ab</sup>
Testigo	0.91 ± 0.05 <sup>b</sup>
C.V. (%)	16.91

\*Literales diferentes indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. Los datos se presentan en  $\mu \pm E.E.$  (Error estándar), C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey  $\alpha = 0.05$

Para el caso de bioestimulantes bacterianos, se han reportado efectos altamente significativos en el incremento de biomasa seca de plántulas (tallo + hojas) de chile serrano cuando se inoculan con *Pseudomonas tolaasii* en sustrato no esterilizado y con solución de Steiner, con incrementos del 41 y 39%, respectivamente (Cabanzo-Atilano et al., 2020). En chile jalapeño se ha demostrado que las aplicaciones de *Serratia plymuthica*, *S. marcescens* y *P. tolaasii* incrementan la altura y el número de hojas en plántulas (Angulo-Castro et al., 2018; Camacho-Rodríguez et al., 2022).

Para el caso de bacterias del género *Bacillus* en chile habanero, se han reportado que algunas cepas incrementan la biomasa de plántulas en un 32% (Ogugua et al., 2018). También, se ha informado que la cepa de *B. subtilis* CBMT51 estimula el crecimiento de la biomasa de plántulas en un 34.6% (Mejía-Bautista et al., 2022). Asimismo, se ha indicado que la cepa de *Bacillus* CBCC57 incrementa en un 33% el peso seco de las plántulas (Sosa-Pech et al., 2019). Con relación a Genifix®, dos de sus cepas, la JAG3 y FDMC4 incrementan en promedio hasta un 30% el peso seco de las plántulas (Adame-García et al., 2021).

Genifix® formulado con cepas de bacterias del género *Bacillus* estimuló el desarrollo de plántulas de chile serrano, a diferencia de los productos formulados con hongos del género *Trichoderma*, que no lograron estimular el desarrollo de las plántulas. Situación que se ha reportado en el cultivar habanero, donde la inoculación con Genifix® incrementó

en promedio un 13.5% el peso de plántulas a diferencia de bioestimulantes a base de *Trichoderma* que no registraron diferencias significativas con el testigo (Murillo-Cuevas et al., 2021).

Los efectos de los bioestimulantes formulados con *Trichoderma* spp. pueden ser variados, por ejemplo, se han reportado diferencias significativas entre dos cepas, la SP6 y Clombta, siendo esta última la que estimuló un mayor incremento en la biomasa aérea (fresca= 0.8 g planta<sup>-1</sup> y seca= 0.13 g planta<sup>-1</sup>) y volumen radicular (fresca= 0.13 g planta<sup>-1</sup> y seca= 0.04 g planta<sup>-1</sup>) de plantas de chile var. Chichen Itza (Larios et al., 2019). Además, en la evaluación de 14 cepas sobre plántulas de chile habanero se pudo observar un efecto variado entre las cepas, sobresaliendo unas más que otras, la cepa Th07-04 aumentó un 29.4 % la longitud de la raíz, la Th02-01 un 84.6 % el volumen radical y la Th07-05 un 62.5 % la biomasa de la raíz (Candelero et al., 2015). Así mismo, en plantas de chile xcat'ik, un bioestimulante a base de *T. harzianum* no mostró diferencias significativas con el testigo en relación con la biomasa seca de raíz, pero si en volumen de raíz (Gamboa-Angulo et al., 2020).

Estas variaciones en los efectos de *Trichoderma* pueden deberse a que son cepas o especies que poseen diferentes atributos para la estimulación del crecimiento vegetal, además de las diferencias bioquímicas que permiten que una cepa sea mejor que otra para promover el crecimiento vegetal (Ortuño et al., 2013). A diferencia de nuestros resultados con el producto Bio-Terra que contiene *Rhizobium* sp., se han reportado efectos positivos de *R. etli* en la estimulación del crecimiento aéreo y radicular de *C. annuum* var. *longum* en comparación con plantas testigo (Vazallo et al., 2013), así como con *R. nepotum* al incrementar el peso de la parte aérea de plántulas de chile poblano en más de 20% (González et al., 2017).

Los efectos no significativos de *Trichoderma* y Bio-Terra sobre el desarrollo de plántulas de chile serrano, en relación con el testigo (Cuadro 2), pueden estar relacionados a que las cepas de los hongos y bacterias de estos productos sean menos compatibles fisiológica y bioquímicamente con el cultivo de chile serrano en la interacción microorganismo-planta y en el reconocimiento genético entre ellos (Cano, 2011; Vázquez et al., 2000).

### Evaluación en frutos

En el primer corte de frutos de chile serrano, los bioestimulantes microbianos tuvieron un efecto significativo en el peso ( $F_{3,288}=9.73$ ,  $p=0.0001$ ) y diámetro polar ( $F_{3,288}=12.47$ ,  $p=0.0001$ ) del fruto, con incremento en promedio de hasta 1.25 g (26.7 %) en el peso y 11.98 mm (14 %) en el diámetro polar con la inoculación de Genifix®, en relación con los frutos de las plantas testigo (Cuadro 3). Para la variable diámetro ecuatorial del fruto, sólo las plantas tratadas con Trichoderma y Genifix® tuvieron frutos más anchos ( $F_{3,288}=9.51$ ,  $p=0.0001$ ) en comparación a los obtenidos de las plantas testigo (Cuadro 3), con incrementos del 12.9 % y 11.7 % respectivamente.

En el segundo corte de frutos, los productos Genifix® y Trichoderma fueron estadísticamente iguales; sin embargo, Genifix® fue el que estimuló de manera significativa ( $F_{3,294}=6.26$ ,  $p=0.0004$ ) el peso de los frutos con respecto al testigo, con un incremento promedio 0.67 g (18.1 %) (Cuadro 3). Todos los bioestimulantes incrementaron significativamente

( $F_{3,294}=22.57$ ,  $p=0.0001$ ) el diámetro polar del fruto de chile serrano, destacando Genifix® con un incremento promedio de 13.01 mm (16.3 %) (Cuadro 3). Para el diámetro ecuatorial, los frutos de plantas tratadas con los bioestimulantes no registraron diferencias estadísticas con relación a los frutos testigo, únicamente Genifix® presentó diferencias significativas con respecto a Bio-Terra (Cuadro 3).

Para el tercer corte sólo Genifix® y Trichoderma tuvieron un efecto significativo ( $F_{3,314}=5.81$ ,  $p=0.0007$ ) en el incremento de peso de fruto, con un aumento promedio de 0.54 g (14.8 %) y 0.44 g (12.4 %), respectivamente (Cuadro 3). Todos los bioestimulantes incrementaron el diámetro polar con respecto al testigo, para el diámetro ecuatorial destaca Genifix® con diferencias significativas con respecto a Trichoderma y Bio-Terra, así como con el testigo con el que presenta incrementos promedios 1.49 mm (15.9 %) (Cuadro 3).

Al analizar los tres cortes de frutos de chile serrano juntos, todos los bioestimulantes tuvieron un efecto significativo en el incremento del peso ( $F_{3,904}=15.22$ ,  $p=0.0001$ ), diámetro polar ( $F_{3,904}=50.74$ ,  $p=0.0001$ ) y ecua-

**Cuadro 3. Efecto de bioestimulantes microbianos en peso y diámetros de fruto de chile serrano en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel.**

Tratamientos	Peso (g)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
<b>1er corte</b>			
Genifix®	4.68 ± 0.19 <sup>a*</sup>	85.63 ± 1.69 <sup>a</sup>	9.78 ± 0.21 <sup>a</sup>
Trichoderma	4.15 ± 0.16 <sup>a</sup>	82.16 ± 1.46 <sup>a</sup>	9.30 ± 0.18 <sup>ab</sup>
Bio-Terra	4.39 ± 0.17 <sup>a</sup>	84.35 ± 1.51 <sup>a</sup>	9.92 ± 0.19 <sup>a</sup>
Testigo	3.43 ± 0.17 <sup>b</sup>	73.65 ± 1.49 <sup>b</sup>	8.64 ± 0.18 <sup>b</sup>
C.V. (%)	35.06	16.09	17.25
<b>2do corte</b>			
Genifix®	3.71 ± 0.12 <sup>a</sup>	79.69 ± 1.13 <sup>a</sup>	9.72 ± 0.15 <sup>a</sup>
Trichoderma	3.49 ± 0.12 <sup>ab</sup>	73.91 ± 1.11 <sup>b</sup>	9.44 ± 0.16 <sup>ab</sup>
Bio-Terra	3.11 ± 0.14 <sup>b</sup>	73.70 ± 1.29 <sup>b</sup>	9.08 ± 0.16 <sup>b</sup>
Testigo	3.04 ± 0.12 <sup>b</sup>	66.68 ± 1.11 <sup>c</sup>	9.25 ± 0.15 <sup>ab</sup>
C.V. (%)	32.81	13.58	14.31
<b>3er corte</b>			
Genifix®	3.64 ± 0.11 <sup>a</sup>	79.15 ± 1.12 <sup>a</sup>	9.35 ± 0.13 <sup>a</sup>
Trichoderma	3.54 ± 0.11 <sup>ab</sup>	75.58 ± 1.11 <sup>a</sup>	8.59 ± 0.12 <sup>b</sup>
Bio-Terra	3.16 ± 0.13 <sup>bc</sup>	77.04 ± 1.11 <sup>a</sup>	8.45 ± 0.12 <sup>b</sup>
Testigo	3.10 ± 0.11 <sup>c</sup>	65.81 ± 1.12 <sup>b</sup>	7.86 ± 0.13 <sup>c</sup>
C.V. (%)	29.58	13.29	13.81

\*Literales diferentes indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. Los datos se presentan en  $\mu \pm E.E.$  (Error estándar), C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey  $\alpha = 0.05$ .

torial ( $F_{3,904}=18.50$ ,  $p=0.0001$ ) de los frutos (Cuadro 4). Destacando Genifix® y Trichoderma con un incremento promedio de peso de frutos de 0.76 g (19.2 %) y 0.54 g (14.5 %), respectivamente (Cuadro 4). Para la variable diámetro polar del fruto, Genifix® y Bio-Terra fueron los bioestimulantes que lograron obtener frutos más largos con incrementos del 12.49 mm (15.4 %) y 10 mm (12.7 %) respectivamente. Con las aplicaciones de Genifix® se obtuvieron frutos de chile serrano más anchos (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Efecto promedio de los bioestimulantes microbianos en peso y diámetros de fruto de chile serrano en un total de tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel.**

Tratamiento	Diámetro (mm)		
	Peso (g)	Polar	Ecuatorial
Genifix®	3.95 ± 0.09 <sup>a*</sup>	81.15 ± 0.79 <sup>a</sup>	9.60 ± 0.10 <sup>a</sup>
Trichoderma	3.73 ± 0.08 <sup>ab</sup>	77.22 ± 0.79 <sup>b</sup>	9.11 ± 0.11 <sup>b</sup>
Bio-Terra	3.57 ± 0.09 <sup>b</sup>	78.66 ± 0.75 <sup>ab</sup>	9.14 ± 0.09 <sup>b</sup>
Testigo	3.19 ± 0.08 <sup>c</sup>	68.66 ± 0.75 <sup>c</sup>	8.58 ± 0.09 <sup>c</sup>
C.V. (%)	34.76	15.16	16.05

\*Literales diferentes indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. Los datos se presentan en  $\mu \pm$  E.E. (Error estándar), C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey  $\alpha = 0.05$ .

La producción en cada uno de los tres cortes de frutos de chile serrano con aplicaciones de los bioestimulantes microbianos fue variada pero siempre superior a la producción de las plantas testigo, con una mayor producción en el tercer corte (Cuadro 5). Plantas con aplicaciones de Genifix® tuvieron mayor producción de chile serrano (5.67 kg), seguido de las plantas

con aplicaciones de Trichoderma (5.23 kg) y Bio-Terra (4.36 kg) (Cuadro 5). La producción promedio, utilizando los tres cortes de frutos, fue significativamente mayor ( $F_{3,8}=16.91$ ,  $p=0.0008$ ) en plantas con aplicaciones de los bioestimulantes, con incrementos del 48.2%, 43.9 % y 32.7 % utilizando Genifix®, Trichoderma y Bio-Terra, respectivamente (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman los efectos promotores de los bioestimulantes microbianos formulados con *Bacillus* y *Trichoderma* en el desarrollo de frutos de hortalizas y contribuyen con información nueva sobre los beneficios de estos microorganismos en el incremento del peso y tamaño de los frutos en chile serrano, ya que este tipo de evaluaciones se han realizado principalmente en el cultivar habanero. Por ejemplo, la cepa CBMT51 de *B. subtilis* incrementó hasta 37 % el peso del fruto de habanero (Mejía-Bautista et al., 2022) y la interacción de la cepa Th05-02 de *Trichoderma virens* y Th41-11 de *T. koningiopsis* incrementó un 25.8 % el peso de frutos (Cristóbal-Alejo et al., 2021). Sin embargo, cuando se han evaluado de manera simultánea bioestimulantes a base de *Bacillus* y *Trichoderma* se han reportado resultados variados. Por ejemplo, Baktilis® (*B. subtilis*) ha superado a Tricho-Bio® (*T. harzianum*) en el incremento de la producción de chile xcat'ik, pero ninguno de los dos productos tuvo un efecto en el peso de los frutos (Gamboa-Angulo et al., 2020).

Por otro lado, Genifix® (*Bacillus* spp.), PHC®T22® (*T. harzianum*) y MIX® (*Trichoderma* spp.) incrementaron significativamente el peso y dimensiones del fruto de chile habanero sin registrar diferencias estadísticas entre los productos, incrementando el peso hasta 18.8 % y el diámetro polar y ecuatorial en 14.5 % y 10.5 %, respectivamente con los productos a base de *Trichoderma*

**Cuadro 5. Producción de chile serrano en tres cortes de frutos en condiciones protegidas de macrotúnel en relación con los bioestimulantes microbianos aplicados.**

Tratamientos	Peso (g) por cortes de frutos			Total (g)	$\mu \pm$ E.E.
	1ro	2do	3ro		
Genifix®	1,772	1,882	2,012	5,666	1,888.67 ± 97.63 <sup>a</sup>
Trichoderma	1,602	1,756	1,870	5,228	1,742.67 ± 97.62 <sup>a</sup>
Bio-Terra	1,222	1,536	1,602	4,360	1,453.33 ± 97.63 <sup>a</sup>
Testigo	846	878	1,210	2,934	978.00 ± 97.63 <sup>b</sup>
C.V. (%)					11.16

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. Los datos se presentan en  $\mu \pm$  E.E. (Error estándar), C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey  $\alpha = 0.05$ .

(Murillo-Cuevas et al., 2021). Sin embargo, en Chile morrón, el producto Genifix® fue superior a PHC®T22® y MIX®, incrementando el peso de fruto en 17.1% y las dimensiones del ancho en 9.2% y largo 12.1% en comparación a los bioestimulantes a base de *Trichoderma* spp. que incrementaron en promedio hasta 10.5% el peso, 7.5% el ancho y 15.1% el largo de los frutos, aunque todos los bioestimulantes fueron significativamente superiores al testigo (Adame-García et al., 2023).

Las diferencias entre los bioestimulantes microbianos sobre el desarrollo de los frutos de Chile serrano pueden deberse a diferentes grados de compatibilidad de las cepas microbianas con la planta hospedera, ya que como lo indican Cano (2011) y Vázquez et al. (2000), el efecto de la inoculación de los bioestimulantes en las plantas hospederas depende en gran medida de la compatibilidad entre ellos, además de la presencia de otros microorganismos en el suelo y condiciones ambientales. No obstante, los resultados obtenidos demuestran que el uso de estos productos beneficia significativamente el desarrollo de los frutos en Chile serrano, a pesar de que dos de los productos no son tan utilizados en cultivos de hortalizas. De tal manera que los bioestimulantes evaluados son una alternativa eficiente para incrementar la calidad de los frutos y productividad en el cultivo de Chile serrano, contribuyendo al mismo tiempo con el cuidado del medio ambiente al reducir el uso intensivo de la fertilización química.

## CONCLUSIONES

El producto Genifix® fue superior a los otros dos bioestimulantes evaluados al incrementar significativamente el peso seco de las plántulas de Chile serrano cuando este fue aplicado a las semillas. Las aplicaciones de los bioestimulantes lograron incrementos significativos en peso y dimensiones de frutos con relación a las plantas testigo en por lo menos uno de los tres cortes de Chile serrano. Sin embargo, el bioestimulante Genifix® tuvo mejor desempeño en la mayoría de los cortes y en el promedio de los tres cortes juntos.

Todos los bioestimulantes lograron incrementar significativamente la producción de Chile serrano en las plantas tratadas con los productos, en comparación a las plantas testigo.

El bioestimulante con mejores resultados fue Genifix®, su utilización en la producción de Chile serrano puede ser una alternativa para incrementar la calidad y producción del cultivo, así como para lograr un buen desarrollo de plántulas que garanticen el éxito en el trasplante, así como el desarrollo y rendimiento de las plantas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) por el financiamiento del proyecto CP 1111 1621, con lo cual se pudo realizar este trabajo de investigación.

## LITERATURA CITADA

- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Flores-de la Rosa, F. R., Velázquez-Mendoza, V., López-Vázquez, M., Cabrera-Mireles, H., & Antonio-Vázquez, E. (2021). Identificación molecular y evaluación de bacterias en el desarrollo vegetativo y producción de Chile habanero. *Biocencia*, 23(3), 151-157. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v23i3.1480>
- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Villegas-Narváez, J., Rivera-Meza, A. E., & Vázquez-Hernández, A. (2023). Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de Chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. *Biocencia*, 25(1), 81-87. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v25i1.1772>
- Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
- Arthur, J. D., Li, T., & Bi, G. (2023). 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>
- Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez-Mendoza, M. N., García-Cué, J. L., Almaraz-Suárez, J. J., & Gutiérrez-Castorena, Ma. del C. (2020). La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de Chile serrano. *Revista*

- Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>
- Camacho-Rodríguez, M., Almaraz-Suárez, J. J., Vázquez-Vázquez, C., Angulo-Castro, A., Ríos-Vega, M. E., & González-Mancilla, A. (2022). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento del chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(PubEspNúm 28), 185-196. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3273>
- Candellero, D. J., Cristóbal, A. J., Reyes, R. A., Tun, S. J. M., Gamboa, A. M. M., & Ruíz, S. E. (2015). *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagonistas contra *Meloidogyne incognita*. *PHYTON*, 84(1), 113-119.
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31. <https://doi.org/10.31910/rudca.v14.n2.2011.771>
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- Colla, G., Roupahel, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., & Cardarelli, M. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(8), 1706-1715. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6875>
- Cristóbal-Alejo, J., Moo-Koh, F. A., Tun-Suárez, J. M., Reyes-Ramírez, A., & Gamboa-Angulo, M. (2021). Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agrociencia*, 55(8), 681-693. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2661>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 37(3), 289-295.
- Espinoza-Ahumada, C. A., Gallegos-Morales, G., Ochoa-Fuentes, Y. M., Hernández-Castillo, F. D., Méndez-Aguilar, R., & Rodríguez-Guerra, R. (2019). Antagonistas microbianos para biocontrol de la marchitez y su efecto promotor en el rendimiento de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, PubEsp*. Núm. 23, 187-197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2020>
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Ganugi, P., Martinelli, E., & Lucini, L. (2021). Microbial biostimulants as a sustainable approach to improve the functional quality in plant-based foods: A review. *Current Opinion in Food Science*, 41, 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.05.001>
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (1918, 1936) para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González M., A., Almaraz S., J. J., Ferrera C., R., Rodríguez G., M. del P., Taboada G., O. R., Trinidad S., A., Alarcón, A., & Arteaga G., R. I. (2017). Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), 463-474. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.09>
- Hernández-Rosas, J. C., Hernández-Rosas, F., Schettino-Salomón, B., & Pérez-González, L. M. (2023). Emergence and growth of huacle chili seedlings (*Capsicum annuum* L.) with the use of biological formulations in commercial plot soil. *Agro Productividad*, 16(9), 157-163. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i9.2542>
- Instituto Nacional de Administración Pública. (2013). *Diagnósticos Municipales PACMA, entidad: Veracruz de Ignacio de la Llave, Municipio: Úrsulo Galván*. Instituto Nacional de Administración Pública.
- Larios L., E. J., Valdovinos N., J. de J. W., Chan C., W., García L., F. A., Manzo S., G., & Buenrostro N., M. T. (2019). Biocontrol de damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de *Capsicum chinense* (Jacq) con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 471-483. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.332>
- Lee, K. D., Gray, E. J., Mabood, F., Jung, W.-J., Charles, T., Clark, S. R. D., Ly, A., Souleimanov, A., Zhou, X., & Smith, D. L. (2009). The class Iid bacteriocin thurincin-17 increases plant growth. *Planta*, 229, 747-755. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0870-6>

- Luna M., L., Martínez P., R. A., Hernández I., M., Arvizu M., S. M., & Pacheco A., J. R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 63-69.
- Mejía-Bautista, M. Á., Cristóbal-Alejo, J., Pacheco-Aguilar, J. R., & Reyes-Ramírez, A. (2022). *Bacillus* spp. on the growth and yield of *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2664>
- Miguel-Ferrer, L., Romero-Arenas, O., Andrade-Hoyos, P., Sánchez-Morales, P., Rivera-Tapia, J. A., & Fernández-Pavía, S. P. (2021). Actividad antifúngica de *Trichoderma harzianum* y *T. koningiopsis* contra *Fusarium solani* asociado en la germinación y vigor de plántulas de chile Miahuateco. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 39(2), 228-247. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2101-5>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Vásquez-Hernández, A., Martínez-García, A. de J., & Luria M., R. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1473-1481. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2900>
- Murillo-Cuevas, F. D., Adame-García, J., Cabrera-Mireles, H., Villegas-Narváez, J., & Vásquez-Hernández, A. (2023). Bioestimulantes e insecticidas biorracionales en el cultivo de berenjena en condiciones protegidas de macrotúnel. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1), #025. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4501>
- Ogugua, U. V., Ntushelo, K., Makungu, M. C., & Kanu, S. A. (2018). Effect of *Bacillus subtilis* BD2333 on seedlings growth of sweet pepper (*Capsicum annuum*), Swiss chard (*Beta vulgaris*) and lettuce (*Lactuca sativa*). *Acta Horticulturae*, 1204(26), 201-210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1204.26>
- Ortuño, N., Miranda, C., & Claros, M. (2013). Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundario de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 1(1), 16-32.
- Ramírez, M. M., Arcos, C. G., Méndez, A. R., & Meneses, M. O. (2018). Variedades e híbridos de chile para el trópico de México. En Meza, V. V. M., & Chay, C. A. J. (Eds.), *Producción agropecuaria, un enfoque integrado*. (pp. 29-38). Universidad del Papaloapan.
- Salazar-Jara, F. I., & Juárez-López, P. (2013). Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 27-34. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.04>
- Sánchez-Sánchez, A., Hernández, V., Hellín, P., Jiménez-Pérez, M., Rodríguez-Burruezo, A., Fenoll, J., & Flores, P. (2022). Impact of low-input management and microbial biostimulants on yields of traditional pepper varieties. *Agrolife Scientific Journal*, 11(1), 196-203. <https://doi.org/10.17930/AGL2022123>
- Shoresh, M., Harman, G. E., & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21-43. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114450>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Cierre de la producción agrícola (1980-2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, por cultivo y variedad*. Recuperado el 21 de mayo de 2023 de: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sosa-Pech, M., Ruiz-Sánchez, E., Tun-Suárez, J. M., Pinzón-López, L. L., & Reyes-Ramírez, A. (2019). Germinación, crecimiento y producción de glucanasas en *Capsicum chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 137-143. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1801>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Soleymani, A. (2024). The roles of plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR)-based biostimulants for agricultural production systems. *Plants*, 13(5), 613. <https://doi.org/10.3390/plants13050613>
- Vázquez, M. M., César, S., Azcón, R., & Barea, J. M. (2000). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Applied Soil Ecology*, 15(3), 261-272. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00075-5)
- Vazallo N., S., Terrones R., L., Toro C., L., Zárate G., B., & Soriano B., B. (2013). Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annuum* var. longum. *REBIOLEST*, 1(1), 11-21.