

Evaluación de un bioestimulante bacteriano y micorrizas sobre el desarrollo de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

Jacel Adame García¹; Félix David Murillo Cuevas¹; José Antonio Fernández Viveros¹; Adriana Elena Rivera Meza¹; Héctor Cabrera Mireles²

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias/Campo Experimental Cotaxtla.

Área: Ciencias agropecuarias.

Resumen

La producción de chile jalapeño depende de una buena calidad de plántulas, ya que si esta no es adecuada puede causar pérdidas en la producción. Una forma de mejorar el vigor de las plántulas es con el uso de bioestimulantes microbianos y/o micorrizas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de un bioestimulante bacteriano y micorrizas sobre el desarrollo de plántulas de chile jalapeño. Se evaluaron cuatro tratamientos: 1) Plántulas con bioestimulante, 2) Plántulas con bioestimulante más micorriza, 3) Plántula con micorriza y 4) Plántulas testigo. Las variables de respuesta fueron: altura de plántula, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso seco aéreo, de raíz y total, índice de esbeltez, Clorofila A, B y total. El bioestimulante sólo y con micorriza mejoró significativamente ($p=0.0001$) la altura de plántula (7.48 y 7.02 cm) y longitud de raíz (5.95 y 6.21 cm). La combinación del bioestimulante y micorriza incrementó significativamente el peso seco aéreo, de raíz y total (0.034, 0.014 y 0.048 g respectivamente). La mayor cantidad de clorofila total se logró con el bioestimulante más micorriza (29.80).

Palabras clave: Hortalizas, estimulante vegetal, *Bacillus wiedmannii*, *Stenotrophomonas* sp., *Rhizophagus intraradices*

Abstract

Jalapeño pepper production depends on high-quality seedlings, as inadequate seedling quality can lead to production losses. One way to improve seedling vigor is through the use of microbial biostimulants and/or mycorrhizae. The objective of this study was to evaluate the effect of a bacterial biostimulant and mycorrhizae on the development of jalapeño pepper seedlings. Four treatments were evaluated: 1) Seedlings with biostimulant, 2) Seedlings with biostimulant plus mycorrhizae, 3) Seedlings with mycorrhizae alone, and 4) Control seedlings. The response variables were: seedling height, stem diameter, root length, shoot, root, and total dry weight, slenderness index, chlorophyll A, B, and total chlorophyll content. The biostimulant alone and with mycorrhizae significantly improved ($p=0.0001$) seedling height (7.48 and 7.02 cm) and root length (5.95 and 6.21 cm). The combination of the biostimulant and mycorrhizae significantly increased shoot, root, and total dry weight (0.034, 0.014, and 0.048 g, respectively).

The highest total chlorophyll content was achieved with the biostimulant plus mycorrhizae (29.80).

Keywords: Vegetables, plant stimulants, *Bacillus wiedmannii*, *Stenotrophomonas* sp., *Rhizophagus intraradices*.

Introducción

En México las hortalizas contribuyen con el 20% de la producción agrícola total, siendo el jitomate y el chile verde las de mayor producción con 3,220,048 t y 3,237,924 t respectivamente (SIAP, 2024). Entre los tipos de chile verde, cuatro contribuyen con el 77.9% del volumen nacional, los cuales son el serrano con el 11.3%, poblano con el 13.7%, morrón con el 21.7% y el jalapeño con el 31.2% (SADER, 2020); siendo el chile jalapeño uno de los más cultivados e importantes en la economía, cultura y gastronomía del país.

La producción de chile jalapeño, al igual que de otras hortalizas, depende de una buena calidad de plántulas y nutrición del cultivo, ya que una deficiencia en la calidad de las plántulas y nutrición de las plantas dan como resultado pérdidas significativas en la producción (Encines-Chaidez et al., 2022). De tal forma que es importante tener una buena calidad de plántula que aseguren el éxito en el trasplante, desarrollo de la planta y rendimientos del cultivo. Una forma de mejorar el vigor en las plántulas de chile es a través del uso de bioestimulantes bacterianos y/o hongos micorrízicos, los cuales estimulan la eficiencia nutricional, el desarrollo vegetativo, la producción de fitohormonas, enzimas y algunos

polisacáridos; mejorando la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Kaushal et al. 2023).

La mayoría de la información sobre efectos favorables de bioestimulantes en plántulas de chile verde es sobre habanero (Sosa-Pech et al., 2019; Murillo-Cuevas et al., 2021; Mejía-Bautista et al., 2022), y poco menos en otras variedades tales como serrano (Cabanzo-Atilano et al., 2020) y jalapeño (Camacho-Rodríguez, et al., 2022; Adame-García et al., 2024). Sin embargo, se considera que la aplicación de un bioestimulante bacteriano formulado con cepas promotoras del crecimiento vegetal y su combinación con micorrizas pueden mejorar significativamente el desarrollo vegetativo, la biomasa y el contenido de clorofila de plántulas de chile jalapeño. De tal forma que el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de un bioestimulante bacteriano y micorrizas sobre el desarrollo de plántulas de chile jalapeño.

Fundamentos teóricos

Los bioestimulantes bacterianos son productos formulados con bacterias benéficas, las cuales promueven el crecimiento vegetal y estimulan la producción de fitohormonas, algunas enzimas, compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles y polisacáridos; además, mejoran la tolerancia al estrés biótico y abiótico, ya que activan genes responsables del sistema de defensa de la planta, lo que les permite producir enzimas, aminoácidos y ácidos orgánicos (Backer et al., 2018, Vocciante et al., 2022, Kaushal et al., 2023).

Se sabe que las bacterias del género *Bacillus* pueden tener la capacidad de producir ácido indolacético (Sosa-Peach et al., 2019; Mejía-Bautista et al., 2022), la cual es una hormona que regula el crecimiento celular y la diferenciación de tejidos.

Además, las bacterias *Bacillus* mejoran la disponibilidad de nutrientes, la homeostasis de fitohormonas y son responsables de activar resistencia sistémica inducida en las plantas (Mahapatra et al., 2022). Asimismo, las bacterias *B. wiedmannii* son capaces de solubilizar fósforo, fijar nitrógeno y producir fitohormonas (Torres et al., 2024).

Las bacterias *Priestia megaterium* inducen el crecimiento y tolerancia de las plantas a fuentes de estrés abiótico (Shi et al., 2023), además de tener la capacidad de solubilizar fosfato (Jo et al., 2023). Por otro lado, las bacterias del género *Stenotrophomonas* promueven el crecimiento vegetal, la fijación de nitrógeno, solubilización de fosforo y potasio, así como la producción de fitohormonas (Kumar et al., 2023).

La variedad de efectos que se pueden obtener con las bacterias de los bioestimulantes sobre la calidad de plántulas de hortalizas, permiten considerarlos como alternativas en las prácticas agrícolas. Sin embargo, es necesario realizar elección de los más eficientes bajo condiciones específicas de cultivo o manejo.

Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto Tecnológico de

Úrsulo Galván, perteneciente al Tecnológico Nacional de México. El Tecnológico de Úrsulo Galván se encuentra en las coordenadas 19° 24' 43.12" N y 96° 21' 32.12" W, ubicado en el municipio de Úrsulo Galván, en la región centro costera de Veracruz.

Se utilizaron semillas de chile jalapeño variedad "Dante F1" de Harris Moran®. Se pusieron a germinar 50 semillas por tratamiento en charolas con sustrato peat moss.

Las charolas se regaron con agua potable hasta la emergencia de las semillas (5 días después de la siembra). Posteriormente se realizó la aplicación de los tratamientos, los cuales fueron cuatro: 1) Plántulas con bioestimulante (B), 2) Plántulas con bioestimulante más micorriza (B+M), 3) Plántula con micorriza (M) y 4) Plántulas testigo (T), las cuales fueron sin bioestimulante y sin micorriza.

Se utilizó un bioestimulante formulado a base de una combinación de bacterias (*Bacillus subtilis* FDMC1, *Stenotrophomonas* sp. JAG2, *B. wiedmannii* JAG3, *Priestia megaterium* JAFV4 y *P. megaterium* AERM5), el cual es producido en el Tecnológico de Úrsulo Galván, y fue aplicado cada semana durante 45 días a una dosis del 20 % (v/v) en una concentración de 10^6 UFC mL⁻¹ de cada cepa. En cada aplicación se empleó 1 mL de solución bacteriana. Además, se utilizó una micorriza (*Rhizophagus intraradices*) propiedad del INIFAP®, la cual se inoculó directamente a las semillas antes de colocarlas en el sustrato de germinación, para permitir que se dé la asociación simbiótica entre el hongo y las raíces.

A los 45 días después de la siembra se extrajeron las plántulas con todo y raíz, se lavaron para quitar el exceso de suelo y se midió la longitud de la plántula y raíz, posteriormente se dividieron en parte aérea y raíz, se pusieron a secar en horno de secado a 65°C durante 72 horas para pesar cada una de las partes de la plántula en una báscula analítica.

Para determinar el contenido de clorofila en las hojas, se realizó un análisis cuantitativo de clorofila A y B empleando el método de espectrofotometría UV-VIS.

Las hojas se cortaron en tiras y se maceraron en mortero de porcelana en 10 mL de acetona al 80% por gramo de muestra. Para extraer la clorofila, la muestra se centrifugó a 2,000 rpm en microcentrífuga (Busen®, modelo ROSS) para obtener el sobrenadante que contenía los pigmentos fotosintéticos. Se midió la absorbancia para clorofila A a 663 nm y para la B a 645 nm en espectrofotometría (Thermo scientist® modelo Nanodrop One C).

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos. Se utilizaron 20 repeticiones (plántulas) por tratamiento para las variables: altura de plántula (cm), diámetro de tallo (mm), longitud de raíz (cm), peso seco aéreo (g), peso seco de raíz (g), peso seco totas (g) e índice de esbeltez, además de 20 repeticiones para las variables Clorofila A, Clorofila B y Clorofila total. La unidad experimental estuvo constituida por una plántula

de chile jalapeño sometida al tratamiento correspondiente.

El índice de esbeltez para la plántula se obtuvo con la formula: $IE = \text{Altura (cm)} / \text{Diámetro del tallo (mm)}$.

Para comparar el efecto de los tratamientos en las variables de respuesta se realizó un ANOVA y una comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat versión 2020.

Resultados y discusión

Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la altura ($F_{3,76}=25.21$, $p=0.0001$) y diámetro de los tallos ($F_{3,76}=172.81$, $p=0.0001$) de plántulas de chile jalapeño. Así como en la longitud de las raíces ($F_{3,76}=53.24$, $p=0.0001$).

El bioestimulante sólo o con micorriza, tuvo un efecto promotor del desarrollo vegetativo en las plántulas de chile jalapeño. Sus efectos fueron iguales sobre la altura de la plántula y la longitud de la raíz (Cuadro 1).

En cuanto al diámetro del tallo, el mejor tratamiento fue la combinación del bioestimulante más la micorriza, además, el bioestimulante y la micorriza de manera individual tuvieron el mismo efecto sobre el grosor del tallo de la plántula (Cuadro 1). La micorriza mejoró el diámetro del tallo y la longitud de la raíz de las plántulas (Cuadro 1).

Para las variables de peso seco de plántula, se registraron diferencias significativas en el peso aéreo ($F_{3,76}=118.13$, $p=0.0001$), de la raíz

($F_{3,76}=15.13$, $p=0.0001$) y Total ($F_{3,76}=139.41$, $p=0.0001$).

La combinación del uso del bioestimulante y la micorriza mejoró significativamente el peso de la plántula, con valores superiores a los obtenidos con el bioestimulante o micorriza de manera individual (Cuadro 2).

Cuadro 1. Efecto del bioestimulante bacteriano y micorriza en el desarrollo vegetativo de plántulas de chile jalapeño.

Tratamientos	Plántula		
	Aérea		Raíz
	Altura	Diámetro	Longitud
B	7.48 ^a	0.91 ^b	5.95 ^a
B+M	7.02 ^a	1.09 ^a	6.21 ^a
M	6.07 ^b	0.85 ^b	5.49 ^b
T	5.60 ^b	0.51 ^c	4.22 ^c
C.V. (%)	5.57	3.18	4.73

B= Bioestimulante, B+M= Bioestimulante más micorriza, M= Micorriza y T= Testigo. Altura (cm), Diámetro (mm) y Longitud (cm). C.V.= Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

El uso del bioestimulante sin micorriza mejoró el peso de la plántula más que el uso de la micorriza sin el bioestimulante bacteriano (Cuadro 2). El bioestimulante y la micorriza de manera individual mejoraron el peso total de la plántula de jalapeño en comparación a las plantulas testigo (Cuadro 2).

Los resultados de este trabajo coinciden con los realizados por otros autores, en plántulas de chile jalapeño inoculadas con bacterias promotoras de crecimiento vegetal, en los que se demuestra que la magnitud de la respuesta depende de las cepas

microbianas utilizadas y de la interacción entre los microorganismos presentes en cada formulación. Por ejemplo, bioestimulantes formulados con *Serratia plymuthica*, *S. marcescens* y *Pseudomonas tolaasii* incrementaron altura de las plántulas y el número de hojas (Angulo-Castro et al., 2018; Camacho-Rodríguez et al., 2022). De manera similar, en este trabajo el bioestimulante bacteriano favoreció significativamente el desarrollo vegetativo de las plántulas de chile jalapeño, particularmente en altura, longitud de raíz y acumulación de biomasa.

En el mismo contexto, Adame-García et al. (2024) reportaron incrementos en el peso seco de plántulas y raíces de chile jalapeño mediante la aplicación de bioestimulantes formulados con cepas del género *Bacillus*, a diferencia de los que se les aplicaron formulaciones elaboradas con *Trichoderma harzianum*, que mostraron menor eficiencia.

Estos antecedentes coinciden con los resultados observados en este estudio, donde el consorcio bacteriano mostró una respuesta superior, especialmente cuando se combinó con micorrizas, lo que sugiere que la interacción microbiana favoreció una mayor eficiencia fisiológica y nutrimental en las plántulas.

El efecto positivo del bioestimulante sobre el crecimiento vegetativo y la acumulación de biomasa se relaciona con la capacidad funcional de las cepas bacterianas incluidas en la formulación (González-Cruz et al., 2025). Se ha

demostrado que especies bacterianas como *Bacillus subtilis*, *B. wiedmannii* y bacterias del género *Stenotrophomonas* mejoran la disponibilidad de nutrientes mediante mecanismos asociados con la solubilización de fósforo, la fijación biológica de nitrógeno y la producción de reguladores de crecimiento (Blake et al., 2021; Kumar et al., 2023; Torres et al., 2024).

Estas funciones explican el incremento observado en variables relacionadas con el vigor de las plántulas, debido a una mayor disponibilidad nutrimental y estimulación del crecimiento radicular.

Por otra parte, bacterias de la especie *Priestia megaterium* poseen capacidad de desnitrificación y solubilización de fosforo, procesos asociados con una mayor disponibilidad de nutrientes y con el crecimiento vegetal (Shi et al., 2023; Thakur et al., 2024). La presencia de esta bacteria en el bioestimulante usado puede contribuir al incremento de la biomasa y contenido de clorofila registrado en las plántulas evaluadas, particularmente en el tratamiento combinado con micorriza, donde se observó el mayor efecto sobre las variables fisiológicas evaluadas.

Para el índice de esbeltez, el cual indica la calidad morfológica de una plántula para un buen desarrollo en el campo, se obtuvieron diferencias significativas ($F_{3,76}=62.73$, $p=0.0001$).

Los tratamientos con bioestimulante y micorriza, de forma individual y combinados, tuvieron valores de 6 a 8, y fueron estadísticamente

diferentes al testigo con un valor de 11.7 (Figura 1).

Cuadro 2. Efecto del bioestimulante bacteriano y micorriza en el peso seco de plántulas de chile jalapeño.

Tratamientos	Peso seco de plántula (g)		
	Aéreo	Raíz	Total
B	0.0306 ^b	0.0112 ^b	0.0418 ^b
B+M	0.0344 ^a	0.0144 ^a	0.0489 ^a
M	0.0205 ^c	0.0104 ^{bc}	0.0309 ^c
T	0.0154 ^d	0.0079 ^c	0.0233 ^d
C.V. (%)	3.45	3.31	3.40

B= Bioestimulante, B+M= Bioestimulante más micorriza, M= Micorriza y T= Testigo. C.V.= Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

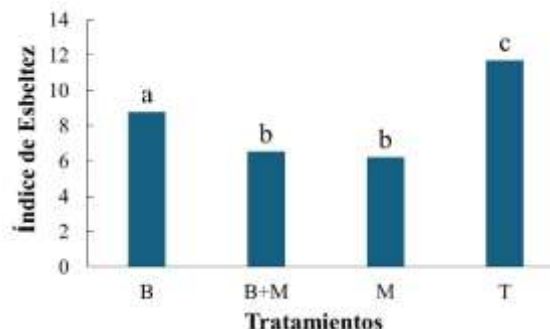


Figura 1. Efecto del bioestimulante bacteriano y micorriza sobre el índice de esbeltez. B= Bioestimulante, B+M= Bioestimulante más micorriza, M= Micorriza y T= Testigo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). En cuanto al contenido de clorofila también se registraron diferencias altamente significativas para la clorofila A ($F_{3,76}=65.53$, $p=0.0001$), B ($F_{3,76}=84.20$, $p=0.0001$) y total ($F_{3,76}=92.84$, $p=0.0001$) al comparar los tratamientos.

La mayor cantidad de clorofila se obtuvo con el bioestimulante más la micorriza (Cuadro 3). El uso del bioestimulante y la micorriza de manera individual también incrementaron la cantidad de clorofila en plántulas en comparación a las plántulas testigo (Cuadro 3). El bioestimulante sin micorriza mejoró más el contenido de clorofila B y total, que el uso de la micorriza sin el bioestimulante (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del bioestimulante bacteriano y micorriza en el contenido de clorofila de plántulas de chile jalapeño.

Tratamientos	Contenido de clorofila		
	A	B	Total
B	9.44 ^b	12.73 ^b	22.16 ^b
B+M	12.58 ^a	17.22 ^a	29.80 ^a
M	8.10 ^b	9.90 ^c	18.00 ^c
T	5.37 ^c	6.35 ^d	11.72 ^d
C.V. (%)	9.02	9.66	8.68

B= Bioestimulante, B+M= Bioestimulante más micorriza, M= Micorriza y T= Testigo. C.V.= Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

El bioestimulante mostró un efecto superior al de la micorriza aplicada de manera individual, sin embargo, la combinación de ambos demuestra un efecto sinérgico reflejado en el incremento de peso seco y del contenido de clorofila. Estos resultados sugieren que la micorriza contribuyó de manera complementaria a mejorar la fisiología de las plántulas, lo que favoreció la acumulación de biomasa y la eficiencia fotosintética.

Con respecto a las bacterias incluidas en el bioestimulante, González-Cruz et al. (2025) las

evaluaron en *Arabidopsis thaliana* para determinar sus efectos sobre el crecimiento vegetal y la presencia de genes asociados con al desarrollo vegetativo. Se reportó que dichas bacterias poseen genes relacionados con mecanismos de promoción de crecimiento, particularmente aquellos involucrados con la fijación biológica de nitrógeno, los cuales favorecen el ciclo de este elemento.

Estas bacterias también presentan genes asociados a la solubilización de fósforo, hierro y potasio, además de genes involucrados en la biosíntesis de sideróforos, terpenos y compuestos con actividad antifúngica y antibiótica. Estos mecanismos contribuyen en la promoción directa del crecimiento vegetal (González-Cruz et al., 2025).

Los resultados obtenidos demuestran que el bioestimulante, aplicado individualmente o en combinación con micorriza, promovió significativamente el crecimiento vegetativo de las plántulas de chile jalapeño, particularmente en altura y longitud de raíz. Estos resultados coinciden con los reportados por Angulo-Castro et al. (2018) y Camacho-Rodríguez et al. (2022) quienes documentaron incrementos en crecimiento y eficiencia fisiológica en plántulas de *Capsicum annuum* inoculadas con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR).

De manera similar, Cabanzo-Atilano et al. (2020) observaron que la biofertilización microbiana favoreció el desarrollo inicial de plántulas de chile

serrano mediante una mejora en la disponibilidad nutrimental. La coincidencia entre estos estudios sugiere que las PGPR mantienen un efecto consistente sobre especies del género *Capsicum*, principalmente durante etapas tempranas de desarrollo.

En lo que respecta a este trabajo, el incremento en biomasa y contenido de clorofila fue más marcado cuando se combinó el bioestimulante con la micorriza, lo que evidencia una interacción sinérgica entre bacterias y micorrizas.

Este comportamiento también fue señalado por Bashan et al. (2014), quienes mencionan que la inoculación de PGPR y hongos micorrízicos pueden potenciar la absorción de nutrientes y mejorar la eficiencia fisiológica de las plantas más que la inoculación individual. De igual manera, Pellegrino et al. (2015) reportaron que la asociación entre bacterias promotoras y micorrizas incrementó significativamente la biomasa aérea y radical en cultivos hortícolas debido a una mayor adquisición de fósforo y nitrógeno.

En contraste con Adame-García et al. (2024), quienes reportaron respuestas variables dependiendo del tipo de bioestimulante aplicado en chile jalapeño, en este estudio los efectos positivos fueron consistentes en prácticamente todas las variables evaluadas. Esta diferencia se atribuye a la composición microbiana del consorcio bacteriano utilizado, ya que integró cepas con diferentes mecanismos de promoción de crecimiento vegetal, incluyendo la fijación

biológica de nitrógeno, producción de reguladores de crecimiento y solubilización de fósforo (González-Cruz et al., 2025).

En estudios en los que se emplean microorganismos individuales o formulaciones menos diversas, la respuesta suele depender en mayor medida de las condiciones ambientales y del genotipo vegetal (Backer et al., 2018).

El incremento significativo en peso seco total obtenido con el tratamiento B+M sugiere que la interacción microbiana favoreció a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes y acumulación de biomasa. Colla y Rouphael (2015) señalaron que los bioestimulantes microbianos mejoran la capacidad fotosintética y el metabolismo vegetal, lo que se traduce en una mayor producción de materia seca, resultados que resultan similares a los obtenidos en este trabajo.

Por otra parte, Rouphael y Colla (2020) indicaron que los microorganismos benéficos generan modificaciones fisiológicas relacionadas con la absorción de nutrientes, actividad enzimática y balance de reguladores de crecimiento, esto explica el vigor observado en las plántulas de chile jalapeño inoculadas.

Aunque la micorriza aplicada de manera individual mejoró variables como diámetro de tallo y contenido de clorofila con respecto al testigo, su efecto fue menor que el obtenido con el bioestimulante bacteriano. Este resultado difiere de lo reportado por Smith y Read (2008) quienes indicaron que las micorrizas pueden

generar respuestas iguales o superiores a las generadas por las PGPR en algunas hortalizas.

Esto se debe a que la eficiencia de la colonización micorrízica depende del tipo de establecimiento de la simbiosis, así como de factores relacionados con el sustrato y disponibilidad de nutrientes. En etapas tempranas del desarrollo, las bacterias promotoras actúan rápidamente mediante la síntesis de reguladores de crecimiento mientras que el efecto de la simbiosis micorrízica tarda en mostrarse.

En cuanto al contenido de clorofila, los resultados obtenidos con la combinación bioestimulante-micorriza coinciden con los de Kaushal et al. (2023) quienes mencionaron que los microorganismos benéficos favorecen la síntesis de pigmentos fotosintéticos al mejorar la absorción de hierro, nitrógeno y fósforo. De igual forma, García-López et al. (2016) reportaron incrementos significativos en clorofila y crecimiento en cultivos hortícolas tratados con bioestimulantes microbianos.

Sin embargo, el incremento observado en este estudio fue superior al reportado en otros trabajos relacionados a chile, lo que indica una compatibilidad entre las cepas bacterianas empleadas y la variedad Dante F1.

El índice de esbeltez mostró valores significativamente menores en los tratamientos inoculados respecto al testigo, lo que indica que se obtuvieron plántulas más robustas y con mejor calidad morfológica para el trasplante. Estos resultados coinciden con Dickson et al. (1960)

quienes establecieron que valores bajos de esbeltez se relacionan con mayor probabilidad de supervivencia y establecimiento en campo.

Desde una perspectiva agronómica, esto representa una ventaja importante, ya que las plántulas vigorosas poseen mayor tolerancia al estrés posterior al trasplante y mejor capacidad de adaptación.

Conclusiones

La aplicación combinada del bioestimulante y la micorriza favoreció el desarrollo vegetativo, la acumulación de biomasa y el contenido de clorofila en plántulas de chile jalapeño. La interacción entre ambos microorganismos mostró un efecto sinérgico en el incremento del peso seco y la concentración de clorofila.

El bioestimulante aplicado de manera individual promovió de forma importante la altura de plántula, longitud de raíz y la acumulación de biomasa, superando en la mayoría de las variables al tratamiento de la micorriza sola.

La micorriza contribuyó positivamente al desarrollo radicular, diámetro del tallo y contenido de clorofila, lo que hace evidente su importancia en la mejora de la absorción de nutrientes y calidad de las plántulas.

Los valores obtenidos en el índice de esbeltez indican que los tratamientos con bioestimulante y micorriza generaron plántulas con mejores características para el trasplante y establecimiento en campo.

En general, los resultados del trabajo demuestran que el uso de bioestimulantes microbianos y

micorrizas son una alternativa biotecnológica viable y sustentable para mejorar la calidad de plántulas de chile jalapeño y favorecer el desempeño agronómico del cultivo en etapas posteriores.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del trabajo a través del proyecto de investigación “Bioestimulantes microbianos para la producción de hortalizas en ambiente protegido con estrés hídrico y nutricional” con clave: 24788.26-P.

Referencias bibliográficas

Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Cabrera-Mireles, H. & Castillo, R. C. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) producidos en macrotúnel. *Revista Bio Ciencia*, 11, Article e1566. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>

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 annum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 178-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>

Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: context,

mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, Article 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>

Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378, 1-33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>

Blake, C., Christensen, M. N. & Kovács, Á. T. (2021). Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(1), 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>

Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez, M. N., García-Cué, J. L., Almaraz-Suárez, J. J., & Gutiérrez-Castorena, M. D. 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(28), 185-196. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3273>

- Colla, G., & Rouphael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Encines-Chaidez, O. V., Ayala-Tafoya, F., Parra-Delgado, J. M., Valenzuela-López, M., López-Urquidez, G. A. & Yáñez-Juárez, M. G. (2022). Producción de chile jalapeño en mini-túnel en respuesta a la fertilización sintética, orgánica y carbónica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), Article e3412. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3412>
- García-López, J. I., Niño-Medina, G., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Vázquez-Alvarado, R., & Rodríguez-Salinas, P. A. (2016). Foliar application of amino acids and microorganisms enhances the growth and yield of tomato plants. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 66(5), 399-405. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1147591>
- González-Cruz, C., Flores-Estévez, N., Noa-Carranza, J. C., Zamora-Briseño, J. A., Santillán-Mendoza, R., Ortiz-Castro, R., Estrella-Maldonado, H., Matilde-Hernández, C., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Adame-García, J. & Flores-de la Rosa, F. R. (2025). Genomic insights into five PGPR strains from tropical soil reveal potential for root architecture modulation and sustainable agriculture. *Rhizosphere*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2025.101162>
- Jo, H., Lim, K., Ibal, J. C., Kim, M. C., Kim, H. B., Baek, C., Park, H. J., Lee, J. Y., Kim, K. W. & Lee, Y. S. (2023). Growth increase in the herbaceous plant *Centella asiatica* by the plant growth-promoting rhizobacteria *Priestia megaterium* HyangYak-01. *Plants*, 12(13), 2398. <https://doi.org/10.3390/plants12132398>
- Kaushal, P., Ali, N., Saini, S., Pati, P. K. & Pati, A. M. (2023). Physiology and molecular insight of Microbial biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1041413. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1041413>
- Kumar, A., Rithesh, L., Kumar, V., Raghuvanshi, N., Chaudhary, K., & Abhineet, P. A. (2023). *Stenotrophomonas* in diversified cropping systems: friend or foe? *Front Microbiol* 14: 1214680. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1214680>
- Mahapatra, S., Yadav, R. & Ramakrishna, W. (2022). *Bacillus subtilis* impact on plant growth, soil health and environment. Dr. Jekyll and Mr. Hyde. *Journal of applied microbiology*, 132(5), 3543-3562. <https://doi.org/10.1111/jam.15480>
- 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>

- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Vásquez-Hernández, A., Martínez-García, A. de J., & Luria-Moctezuma, 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>
- Pellegrino, E., Bedini, S., Avio, L., Bonari, E., & Giovannetti, M. (2015). Field inoculation effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in a Mediterranean agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 82, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.002>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- SADER (2020, 03 de julio) Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Reconoce el Gobierno de México la importancia del chile en identidad cultural y gastronómica del país. Comunicado. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/reconoce-gobierno-de-mexico-la-importancia-del-chile-en-identidad-cultural-y-gastronomica-del-pais?>
- Shi, L., Zhu, X., Qian, T., Du, J., Du, Y., & Ye, J. (2023). Mechanism of salt tolerance and plant growth promotion in *Priestia megaterium* ZS-3 revealed by cellular metabolism and whole-genome studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(21), 15751. <https://doi.org/10.3390/ijms242115751>
- SIAP (2024, 05 de julio). Anuario estadístico de la producción agrícola. SADER. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press.
- 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>
- Thakur, R., Dhar, H., Swarnkar, M. K., Soni, R., Sharma, K. C., Singh, A. K., Gulati, A., Sud, R. K. & Gulati, A. (2024). Understanding the Molecular Mechanism of PGPR Strain *Prestia Megaterium* from Tea Rhizosphere for Stress Alleviation and Crop Growth Enhancement. *Plan Stress*, 12, 100494. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100494>
- Torres, P., Altier, N., Beyhaut, E., Fresia, P., Garaycochea, S. & Abreo, E. (2024). Phenotypic, genomic and in planta characterization of *bacillus sensu lato* for their phosphorus biofertilization and plant growth promotion features in soybean. *Microbiol. Res.* 280, 127566. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127566>.
- Vocciant, M., Grifoni, M., Fusini, D., Petruzzelli, G. & Franchi, E. (2022). The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. *Applied Sciences*, 12(3), Article 1231. <https://doi.org/10.3390/app12031231>



ISSN: 3061-810X

Año 2, Núm. 2, Enero - Abril 2026 pp. 65