

## Efecto bioestimulante de rizobacterias benéficas sobre el rendimiento y compuestos bioactivos de pepino

Gerardo Zapata-Sifuentes<sup>1</sup>  
Oscar Sariñana-Aldaco<sup>2</sup>  
Eduardo Alberto Lara-Reimers<sup>3</sup>  
Juan Antonio Torres-Rodríguez<sup>4</sup>  
Aracely Zuñiga-Serrano<sup>1</sup>  
Pablo Preciado-Rangel<sup>1,§</sup>

1 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Carretera periférico s/n. Colonia Valle Verde Torreón, Coahuila, México. CP. 27054.

2 Programa Posdoctoral CONAHCYT-Departamento de Horticultura-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

3 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

4 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. CP. 120501.

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

### Resumen

El uso de microorganismos benéficos en la agricultura como las bacterias es una práctica que permite mejorar la producción de cultivos agrícolas, ya que pueden actuar como estimuladoras, biofertilizantes y como organismos antagonistas contra patógenos. El objetivo del estudio fue evaluar el cebado de semillas y drench en pepino con bacterias benéficas sobre el rendimiento y síntesis de compuestos bioactivos de los frutos. Las bacterias utilizadas fueron *Pseudomonas paralactis*, *Sinorhizobium meliloti* y *Acinetobacter radioresistens*, aunado a esto se utilizó un control con agua destilada. Los resultados indican que las cepas utilizadas mejoraron el crecimiento y acumulación de biomasa de las plantas en comparación con el control, lo que se reflejó en un mayor longitud, diámetro y rendimiento del fruto de pepino, siendo *A. radioresistens* la que incremento el rendimiento en mayor medida en comparación con el control (37.78%). En cuanto a los compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides y ácido ascórbico), capacidad antioxidante y proteínas, las cepas bacterias los mejoraron sustancialmente en comparación al control, el cual presentó los valores más bajos. Estos resultados nos confirman que la aplicación de las bacterias es una alternativa prometedora para mejorar la producción y calidad de los cultivos agrícolas de una forma sostenible.

### Palabras clave:

*Cucumis sativus* L., biocebado, bioestimulación.



## Introducción

Las diferentes condiciones bióticas y abióticas que son causantes del estrés en las plantas son factores que propician la búsqueda de alternativas para mejorar la producción de los cultivos agrícolas. Estos factores provocan en la planta desbalances en todos los niveles ómicos, lo que causa grandes pérdidas en cuanto a rendimiento y calidad de los productos cosechados (Kömíves y Király, 2019; Kopecká *et al.*, 2023).

Una de las alternativas más prometedoras es el uso de bioestimulantes. Un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismo que se aplica a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés y las características de calidad, independientemente de su contenido de nutrientes (du Jardin, 2015).

El uso de bioestimulantes hoy en día es común que se apliquen como cebado de semillas, foliar y en drench; sin embargo, el cebado de semillas está teniendo mucha relevancia por las diferentes respuestas que inducen en comparación con el resto de las aplicaciones. El cebado de semillas es un tratamiento previo a la siembra en donde se embeben las semillas durante un tiempo determinado en una solución o dispersión de alguna sustancia o microorganismos a una concentración específica (González-García *et al.*, 2022a; Corbineau *et al.*, 2023).

Esta práctica induce lo que se conoce como memoria del cebado, lo cual provoca una modificación adaptativa de los procesos metabólicos, de forma que las plantas realizan ajustes que conducen a un uso más eficiente de los recursos (Juárez-Maldonado *et al.*, 2021). Estos ajustes, al desencadenar procesos metabólicos pregerminativos inducen la síntesis de novo de ácidos nucleicos, proteínas, compuestos bioactivos, producción de ATP, acumulación de esteroides, fosfolípidos y mecanismos de reparación de ADN (Cardarelli *et al.*, 2022).

Dentro de los bioestimulantes destacan los microorganismos como las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) asociadas a las plantas, que hacen parte del suelo y cumplen una labor fundamental al proporcionar a la planta una amplia gama de servicios y beneficios, la planta a su vez retribuye mediante el suministro de carbono reducido y compuestos bioactivos (De Pascale *et al.*, 2017; Shahrajabian *et al.*, 2023). Las RPCV desempeñan papeles clave en la solubilización y asimilación de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), zinc (Zn) y hierro (Fe), la síntesis de moléculas extracelulares como las hormonas, compuestos bioactivos y antibióticos, todo lo cual tiene como resultado mejorar el crecimiento de las plantas (Ding *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2023).

Además, estos bioestimulantes pueden mejorar la tolerancia de los cultivos al estrés biótico y abiótico, condiciones que, en el entorno existente del cambio climático, se hacen cada vez más frecuentes (Pereira *et al.*, 2019). Estos beneficios coadyuvan a disminuir el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas utilizados en la producción (Gómez-Godínez *et al.*, 2023).

De los cultivos hortícolas de mayor relevancia se encuentra el pepino (*Cucumis sativus* L.), el cual junto con su importancia económica destaca la funcional por la calidad de sus frutos que suelen consumirse en fresco (Kaur y Sharma, 2021). Dichos frutos, constituyen una fuente de minerales y compuestos bioactivos (fenoles, ácido ascórbico, glutatión, etc.) que mejoran la salud humana al prevenir enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Trejo-Valencia *et al.*, 2018; González-García *et al.*, 2022b).

Al respecto, el pepino es susceptible a diferentes tensiones bióticas y abióticas, que pueden afectar negativamente los rendimientos y calidad de los frutos, por lo cual es importante y recomendable poder bioestimular al cultivo, esto para que pueda mitigar las tensiones y mejorar los rendimientos y calidad de las cosechas. De acuerdo con lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el cebado de semillas y drench de pepino con RPCV sobre el rendimiento y síntesis de compuestos bioactivos de los frutos.

## Materiales y métodos

### Establecimiento del experimento

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, con ubicación geográfica -103° 21' longitud oeste y 25° 33' latitud norte, utilizando un invernadero semicircular controlando la temperatura a 25 °C y humedad relativa promedio de 60%. Los sustratos usados para la siembra consistieron en una mezcla de arena, perlita y vermicompost (Cuadro 1) en proporción 50:25:25, respectivamente.

**Cuadro 1. Caracterización del vermicompost utilizado.**

Parámetro	Concentración
Conductividad eléctrica	2.4 dS m <sup>-1</sup>
pH	7.9
Materia orgánica (MO)	24.74%
Nitrógeno total (Nt)	0.95%
Fósforo (P)	0.22%
Potasio (K)	0.06%
Calcio (Ca)	48.6 mg kg <sup>-1</sup>
Magnesio (Mg)	5.6 mg kg <sup>-1</sup>
Cobre (Cu)	1.8 mg kg <sup>-1</sup>
Hierro (Fe)	26 mg kg <sup>-1</sup>
Zinc (Zn)	12 mg kg <sup>-1</sup>
Manganeso (Mn)	21.2 mg kg <sup>-1</sup>

El sustrato empleado fue solarizado durante siete días. Posteriormente, con el sustrato se llenaron bolsas negras de polietileno con capacidad de 10 L. Se utilizaron semillas de pepino variedad Poinset 76, las cuales fueron lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5% por 1 h. Posteriormente, las semillas se inocularon por inmersión durante 24 h en vasos de precipitado con 50 ml de cada cepa correspondiente a *Pseudomonas paralactis*, *Sinorhizobium meliloti* y *Acinetobacter radioresistens* donadas por el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

La concentración de los inóculos fue ajustada a  $1 \times 10^8$  UFC ml<sup>-1</sup> (Zapata-Sifuentes *et al.*, 2024). Posteriormente las semillas se sembraron directamente en las macetas previamente preparadas con el sustrato. Adicionalmente, se realizó una reinoculación de las cepas bacterianas a los 55 días después de la siembra (DDS) con 15 ml a una concentración de  $1 \times 10^8$  UFC ml<sup>-1</sup> aplicado a la base del tallo (drench).

Para satisfacer las necesidades nutrimentales del cultivo se utilizó la solución nutritiva Steiner (1961) considerando el aporte nutrimental del vermicompost y del agua de riego. La solución nutritiva se aplicó durante 150 días, que fue la duración del experimento, para lo cual en la fase fenológica de desarrollo vegetativo se aplicó al 25%, en la floración al 50%, en el cuajado de fruto al 75% y en el llenado de fruto al 100%. Se realizaron prácticas de tutoreo, podas y control de plagas y enfermedades para garantizar el buen estado de las plantas.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, los cuales consistieron en la inoculación de semillas y plantas con las cepas de *P. paralactis*, *S. meliloti* y *A. radioresistens* y un control con agua destilada.

## Variables evaluadas

Se evaluaron variables agronómicas como altura de la planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, biomasa seca del vástago (parte aérea) y rendimiento de frutos por planta y sus componentes (longitud, diámetro y  $\text{kg planta}^{-1}$ ). Para la biomasa seca del vástago, el material se secó durante 72 h a 70 °C y se pesó en una balanza digital (VE-CB2000, Velab).

El análisis de proteínas se realizó siguiendo la metodología de Bradford (1976), utilizando el colorante azul de Coomassie como agente de reacción. Los fenoles totales se determinaron siguiendo la metodología de Singleton *et al.* (1999), utilizando el reactivo Folin Ciocalteu. Los flavonoides fueron cuantificados mediante la metodología descrita por Zhishen *et al.* (1999), utilizando AICI<sub>3</sub> como agente de reacción. El ácido ascórbico se determinó por titulación siguiendo la metodología descrita en Hernández-Hernández *et al.* (2019). La capacidad antioxidante se determinó mediante lo descrito en Brand-Williams *et al.* (1995), utilizando DPPH como agente oxidante.

## Análisis estadístico

Mediante el software SAS 9.4 se realizó el análisis de varianza (Anava) para cada variable y en caso de encontrar diferencia significativa, se realizó la prueba de medias Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Resultados y discusión

### Crecimiento y biomasa de las plantas

Los resultados muestran que las aplicaciones de las RPCV promovieron el crecimiento y acumulación de biomasa de las plantas (Cuadro 2). Para la altura de la planta *P. paralactis* y *A. radioresistens* la incrementaron en un 17.08 y 14.6%, respectivamente, en comparación con el control.

**Cuadro 2. Crecimiento y biomasa de las plantas de pepino.**

Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	LR (cm)	BSA (g)
<i>S. meliloti</i>	158.26 ab	5.22 ab	16.85 ab	40.86 a
<i>P. paralactis</i>	174.53 a	5.51 a	26.2 a	24.26 b
<i>A. radioresistens</i>	170.83 a	5.26 a	13.1 bc	43.5 a
Control	149.06 b	4.88 b	5.45 c	16.13 c

AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; LR= longitud de raíz; BSA= biomasa seca aérea; \* = letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Para el diámetro del tallo, de igual manera *P. paralactis* y *A. radioresistens* fueron superiores al control, mostrando incrementos de 12.9 y 7.7%, respectivamente. En cuanto a la longitud de raíz, *S. meliloti* y *P. paralactis* la incrementaron en un 209.1 y 380.7%, respectivamente, comparados con el control. Para la biomasa seca aérea, todos los tratamientos con RPCV, superaron al control, mostrando incrementos de 153.3, 48.8 y 169.6%, para *S. meliloti*, *P. paralactis* y *A. radioresistens*, respectivamente.

### Crecimiento y rendimiento del fruto

El rendimiento se incrementó con la aplicación de las RPCV (Cuadro 3). La longitud del fruto fue modificada positivamente con el uso de las RPCV. *S. meliloti* y *A. radioresistens* superaron al control en un 29.6 y 27.7%, respectivamente. Para el diámetro del tallo, todos los tratamientos con RPCV fueron superiores al control, mostrando el mayor incremento *A. radioresistens* con 22.7%.

Finalmente, en cuanto a rendimiento, de igual manera los tratamientos con RPCV fueron superiores al control, siendo *A. radioresistens* la que lo incrementó en mayor medida (37.7%).

**Cuadro 3. Crecimiento y rendimiento de los frutos de pepino.**

Tratamiento	Longitud del fruto (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Rendimiento (kg planta <sup>-1</sup> )
<i>S. melliloti</i>	23.33 a <sup>*</sup>	54.43 a	4.26 b
<i>P. paralactis</i>	21 ab	52 a	4.17 b
<i>A. radioresistens</i>	23 a	56.52 a	4.85 a
Control	18 b	46.03 b	3.52 c

<sup>\*</sup> = letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey,  $p < 0.05$ ).

El cebado de semillas con inóculos bacterianos beneficiosos es una alternativa prometedora para mejorar la tasa de germinación de las semillas y el crecimiento temprano de las plántulas, lo cual repercute en gran medida en el rendimiento de los cultivos. Los resultados de este experimento nos muestran que el uso de las RPCV mejoró el crecimiento, biomasa y rendimiento de las plantas de pepino.

Resultados similares reportaron *Lastochkina et al.* (2020) en el cultivo de trigo, donde el cebado de las semillas con *Bacillus subtilis* mejoró el crecimiento temprano de las plántulas en condiciones de crecimiento estándar y estrés por sequía. *Miljakovi# et al.* (2022) evaluaron el cebado de semillas de soja con *Bradyrhizobium japonicum* y *Bacillus megaterium* e indicaron que se mejoraron significativamente el porcentaje de germinación, longitud de brote, longitud de raíz, peso seco de raíz e índice de vigor de las plántulas.

Se ha informado que el solo hidratar a las semillas antes de la siembra reactiva el metabolismo y se inicia el proceso de germinación, ahora el tratar a las semillas con cepas bacterianas permite el ingreso de los microorganismos a través de la testa, lo que desencadena diferentes respuestas mediadas por los microorganismos (*Fiodor et al.*, 2023).

Estas respuestas incluyen un aumento de la velocidad de germinación y un crecimiento temprano superior de las plántulas, desencadenado principalmente por las hormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas) producidas por los microorganismos, lo que aumenta la división y elongación celular (*Pérez-García et al.*, 2023). Esta práctica del biocebado ocasiona efectos tan marcados que se ven reflejados en mejores rendimientos de los cultivos, a pesar de solo realizar las aplicaciones en las semillas.

En el experimento también se aplicaron las RPCV en forma de drench, lo cual pudo haber potencializado el efecto. Estos microorganismos al actuar en la rizosfera son capaces de mejorar la solubilización y asimilación de nutrientes como el N, P, K, Zn y Fe, nutrientes clave en el crecimiento y desarrollo de las plantas (*Mahmud et al.*, 2020; *Nitu et al.*, 2020; *Rawat et al.*, 2021). Las plantas al actuar en simbiosis con estos microorganismos les proporcionan diferentes exudados (azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos) que ayudan a mejorar la actividad y diversidad microbiana del suelo (*Lei et al.*, 2023).

Las bacterias del género *Pseudomonas* tienen capacidad para fijar N<sub>2</sub>, son productoras de antibióticos, auxinas, sideróforos, enzimas celulolíticas, ácidos orgánicos para la solubilización de fósforo y promoción de la resistencia sistémica inducida contra fitopatógenos, lo cual las hace idóneas en la producción agrícola ya sea para el biocontrol o la biofertilización (*Sánchez Cariillo y Guerra Ramírez*, 2022).

Las bacterias del género *Sinorhizobium* fijan N<sub>2</sub>, son productoras de sideróforos, de hormonas, solubilizadoras de P y tienen actividad antagonista y desaminasa (*Toro Ipanaqué et al.*, 2020). Las bacterias del género *Acinetobacter* son capaces de fijar N<sub>2</sub>, solubilizar P y S, producir sideróforos y hormonas y mejorar la disponibilidad de magnesio (Mg) para las plantas (*Ramírez-Cariño et al.*, 2023).

## Compuestos bioactivos y proteínas solubles de los frutos

Los compuestos *bioactivos* fueron incrementados en los frutos con el uso de las RPCV (Figura 1). Para fenoles, flavonoides y ácido ascórbico, *P. paractis* fue la cepa que mejoró en mayor medida su acumulación, con incrementos de 47.8, 55.5 y 133.9%, respectivamente, en comparación con el control. La capacidad antioxidante se aumentó con *P. paractis* y *S. meliloti* en 19.1 y 35.3%, respectivamente, comparados con el control. Las proteínas solubles se incrementaron con *P. paractis* y *S. meliloti* en 37.16 y 55.4%, respectivamente, en comparación con el control (Figura 2).

Figura 1. Compuestos bioactivos en los frutos de pepino. Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey,  $p < 0.05$ ).

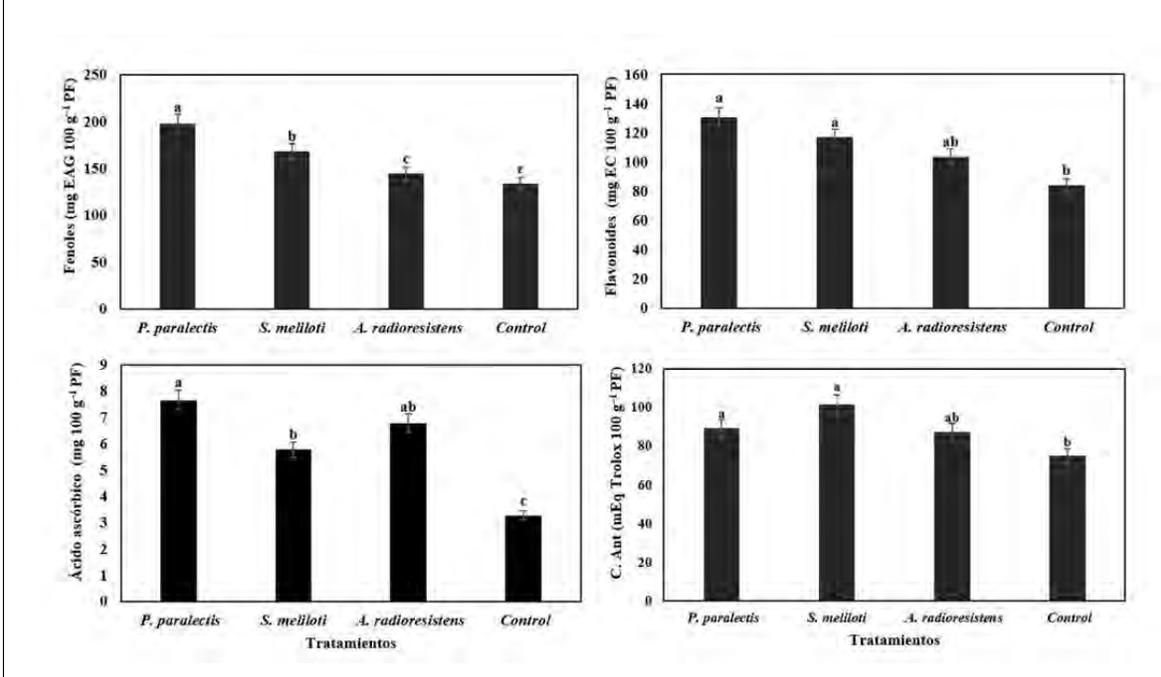
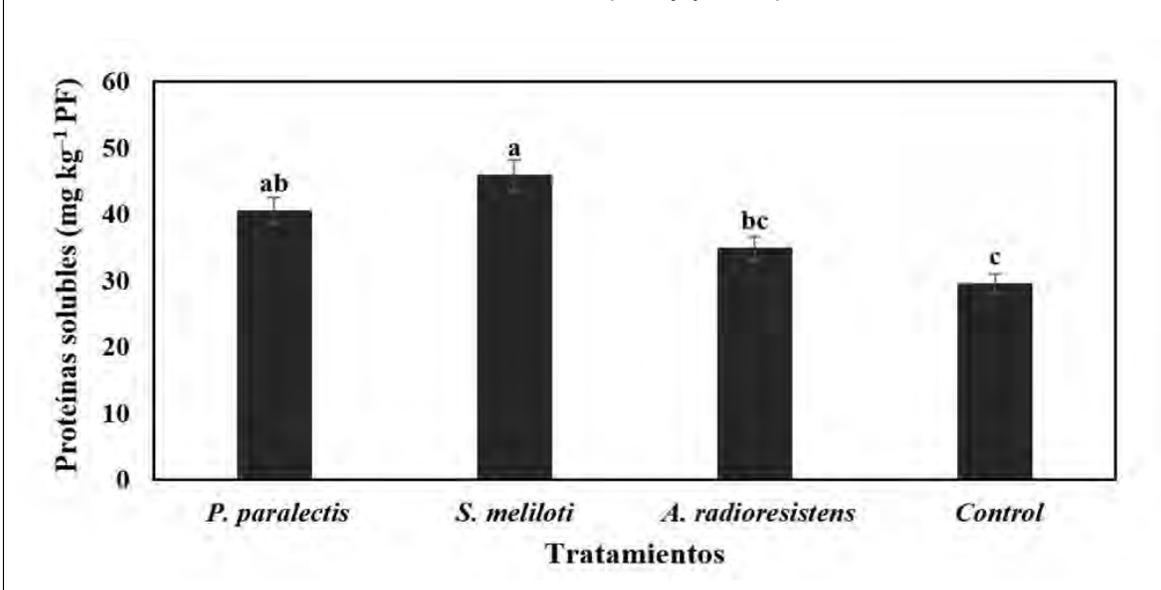


Figura 2. Proteínas solubles en los frutos de pepino. Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey,  $p < 0.05$ ).



Los resultados del presente estudio muestran que el uso de las cepas bacterianas mejoró la acumulación de compuestos bioactivos en los frutos de pepino. Resultados similares muestran Pérez-García *et al.* (2023) con las mismas cepas utilizadas en este experimento, donde encontraron un aumento de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en plántulas de pepino.

El biocebado al ser una técnica utilizada en las semillas antes de la siembra, provoca un cambio radical en las semillas que involucra una modificación metabólica que puede mejorar la germinación, el crecimiento y rendimiento de las plantas (Rajendra Prasad *et al.*, 2020). Estos cambios metabólicos involucran una mayor síntesis de metabolitos primarios (ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos) y secundarios (compuestos fenólicos, ácidos ascórbicos y glutatión reducido) por acción del eustrés provocado por los microorganismos (Chakraborti *et al.*, 2022).

Este eustrés o estrés positivo provoca en las plantas incrementos en los niveles de antioxidantes, esto sin perjudicar los rendimientos y en algunos casos como el de este estudio los incrementa significativamente. Cuando los microorganismos ingresan a las semillas a través de la testa, provocan un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) a niveles tolerantes para las plantas; sin embargo, estas ERO actúan como moléculas de señalización e inducen la síntesis de los antioxidantes, esto para su posterior reducción y homeóstasis metabólica (Irshad *et al.*, 2023).

La aplicación vía drench provoca otras respuestas en comparación con el cebado, las cuales se relacionan con una mejora en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo por acción de las RPCV (Orozco-Mosqueda *et al.*, 2021). Estas mejoras aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, se liberan fitohormonas de crecimiento y se protege el sistema radicular del ataque de patógenos, lo cual trae aumentos de calidad nutricional y de compuestos bioactivos (Gómez-Godínez *et al.*, 2023; Shao *et al.*, 2023).

## Conclusiones

El biocebado y drench con RPCV mejoró los parámetros de crecimiento de las plantas y rendimiento y compuestos bioactivos de los frutos de pepino, esto principalmente porque las RPCV a través de diferentes mecanismos modulan positivamente procesos fisiológicos y metabólicos que dan mejora a las variables antes mencionadas.

Este tipo de bioestimulación modula la fisiología de los fotosistemas al incrementar la absorción cuántica y flujo de energía en las plantas. Al mejorar estos aspectos relacionados con el proceso fotosintético se aumenta la producción de fotoasimilados y por lo tanto los rendimientos y calidad de los productos cosechados. Por esta razón, sería adecuado en experimentos posteriores realizar análisis relacionados con el proceso fotosintético como la concentración de pigmentos y la expresión de genes de estos.

## Bibliografía

- 1 Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72:248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- 2 Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28:25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- 3 Cardarelli, M.; Woo, S. L.; Rouphael, Y. and Colla, G. 2022. Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*. 11:259-265. <https://doi.org/10.3390/plants11030259>.

- 4 Chakraborti, S.; Bera, K.; Sadhukhan, S. and Dutta, P. 2022. Bio-priming of seeds: Plant stress management and its underlying cellular, biochemical and molecular mechanisms. *Plant Stress*. 3. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100052>.
- 5 Corbineau, F.; Taskiran-Özbingöl, N. and El-Maarouf-Bouteau, H. 2023. Improvement of seed quality by priming: concept and biological basis. *Seeds*. 2:101-115. <https://doi.org/10.3390/seeds2010008>.
- 6 De Pascale, S.; Roupshael, Y. and Colla, G. 2017. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science*. 82:277-285. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2>.
- 7 Ding, Z.; Ali, E. F.; Almaroai, Y. A.; Eissa, M. A. and Abeed, A. H. A. 2021. effect of potassium solubilizing bacteria and humic acid on faba bean (*Vicia faba* L.) plants grown on sandy loam soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21:791-800. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00401-z>.
- 8 du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196:3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- 9 Fiodor, A.; Ajjah, N.; Dziewit, L. and Pranaw, K. 2023. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*. 14:1142966. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1142966>.
- 10 Gómez-Godínez, L. J.; Aguirre-Noyola, J. L.; Martínez-Romero, E.; Arteaga-Garibay, R. I.; Ireta-Moreno, J. and Ruvalcaba-Gómez, J. M. 2023. A look at plant-growth-promoting bacteria. *Plants*. 12:1668. <https://doi.org/10.3390/plants12081668>.
- 11 González-García, Y.; López-Vargas, E. R.; Pérez-Álvarez, M.; Cadenas-Pliego, G.; Benavides-Mendoza, A.; Valdés-Reyna, J.; Pérez-Labrada, F. and Juárez-Maldonado, A. 2022b. Seed priming with carbon nanomaterials improves the bioactive compounds of tomato plants under saline stress. *Plants*. 11:1984-1991. <https://doi.org/10.3390/plants11151984>.
- 12 González-García, Y.; Flores-Robles, V.; Cadenas-Pliego, G.; Benavides-Mendoza, A.; Cabrera De La Fuente, M.; Sandoval-Rangel, A. and Juárez-Maldonado, A. 2022a. Application of two forms of silicon and their impact on the postharvest and the content of bioactive compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. *Biocell*. 46:2497-2506. <https://doi.org/10.32604/biocell.2022.021861>.
- 13 Hernández-Hernández, H.; Quiterio-Gutiérrez, T.; Cadenas-Pliego, G.; Ortega-Ortiz, H.; Hernández-Fuentes, A. D.; Cabrera-Fuente, M.; Valdés-Reyna, J. and Juárez-Maldonado, A. 2019. Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. *Plants*. 8:355-362. <https://doi.org/10.3390/plants8100355>.
- 14 Irshad, K.; Shaheed-Siddiqui, Z.; Chen, J.; Rao, Y.; Hamna-Ansari, H.; Wajid, D.; Nida, K. and Wei, X. 2023. Bio-priming with salt tolerant endophytes improved crop tolerance to salt stress via modulating photosystem II and antioxidant activities in a sub-optimal environment. *Frontiers in Plant Science*. 14:1082480. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1082480>.
- 15 Juárez-Maldonado, A.; Tortella, G.; Rubilar, O.; Fincheira, P. and Benavides-Mendoza, A. 2021. Biostimulation and toxicity: the magnitude of the impact of nanomaterials in microorganisms and plants. *Journal of Advanced Research*. 31:113-126. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.12.011>.
- 16 Kaur, M. and Sharma, P. 2021. Recent advances in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 97:3-23. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1945956>.
- 17 Khan, A.; Singh, A. V.; Gautam, S. S.; Agarwal, A.; Punetha, A.; Upadhyay, V. K.; Kukreti, B.; Bundela, V.; Jugran, A. K. and Goel, R. 2023. Microbial bioformulation: a microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 14:1270039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039>.

- 18 K#míves, T. and Király, Z. 2019. Disease resistance in plants: the road to phytoalexins and beyond. *Ecocycles*. 5:7-12. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v5i1.132>.
- 19 Kopecká, R.; Kameniarová, M.; #erný, M.; Brzobohatý, B. y Novák, J. 2023. Abiotic stress in crop production. *International Journal of Molecular Sciences*. 24:6603. <https://doi.org/10.3390/ijms24076603>.
- 20 Lastochkina, O.; Garshina, D.; Ivanov, S.; Yuldashev, R.; Khafizova, R.; Allagulova, C.; Fedorova, K.; Avalbaev, A.; Maslennikova, D. and Bosacchi, M. 2020. Seed priming with endophytic *Bacillus subtilis* modulates physiological responses of two different *Triticum aestivum* L. cultivars under drought stress. *Plants*. 9:1810. <https://doi.org/10.3390/plants9121810>.
- 21 Lei, X.; Shen, Y.; Zhao, J.; Huang, J.; Wang, H.; Yu, Y. and Xiao, C. 2023. Root exudates mediate the processes of soil organic carbon input and efflux. *plants*. 12:630-637. <https://doi.org/10.3390/plants12030630>.
- 22 Mahmud, K.; Makaju, S.; Ibrahim, R. and Missaoui, A. 2020. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. *Plants*. 9:97-104. <https://doi.org/10.3390/plants9010097>.
- 23 Miljakovi#, D.; Marinkovi#, J.; Tamindži#, G.; #or#evi#, V.; Tintor, B.; Miloševi#, D.; Ignjatov, M. and Nikoli#, Z. 2022. Bio-priming of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: strategy to Improve seed germination and the Initial Seedling Growth. *Plants*. 11:1927. <https://doi.org/10.3390/plants11151927>.
- 24 Nitu, R.; Rajinder, K. and Sukhinderjit, K. 2020. Zinc solubilizing bacteria to augment soil fertility-a comprehensive review. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*. 8:38-44.
- 25 Orozco-Mosqueda, M. C.; Flores, A.; Rojas-Sánchez, B.; Urtis-Flores, C. A.; Morales-Cedeño, L. R.; Valencia-Marin, M. F.; Chávez-Avila, S.; Rojas-Solis, D. and Santoyo, G. 2021. Plant growth-promoting bacteria as bioinoculants: Attributes and challenges for sustainable crop improvement. *Agronomy*. 11:1167. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061167>.
- 26 Pereira, M. M. A.; Morais, L. C.; Marques, E. A.; Martins, A. D.; Cavalcanti, V. P.; Rodrigues, F. A.; Gonçalves, W. M.; Blank, A. F.; Pasqual, M. and Dória, J. 2019. Humic substances and efficient microorganisms: elicitation of medicinal plants-a review. *Journal of Agricultural Science*. 11:268-280. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p268>.
- 27 Pérez-García, L. A.; Sáenz-Mata, J.; Fortis-Hernández, M.; Navarro-Muñoz, C. E.; Palacio-Rodríguez, R. and Preciado-Rangel, P. 2023. Plant-growth-promoting rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. *Agronomy*. 13:315-321. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020315>.
- 28 Rajendra, P. S.; Uma, R. U. and Rajatha, K. D. 2020. Seed bio-priming: plant growth promoting microorganisms in enhancing crop productivity and stress tolerance-a review. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 54:1-18.
- 29 Ramírez-Cariño, H. F.; Ochoa-Velasco, C. E.; Guerrero-Analco, J. A.; Monribot-Villanueva, J. L.; Calderón-García, C.; González-Terreros, E.; Escamirosa-Tinoco, C.; Morales, I. and Valadez-Blanco, R. 2023. Combined effect of the potassium dose and plant biofertilization by *Acinetobacter calcoaceticus* on the growth, mineral content, nutritional quality, antioxidant activity, and metabolomic features of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Plants*. 12:466. <https://doi.org/10.3390/plants12030466>.
- 30 Rawat, P.; Das, S.; Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S. C. 2021. Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21:49-68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>.
- 31 Sánchez-Cariillo, R. and Guerra-Ramírez, P. 2022. *Pseudomonas* spp. beneficial in agriculture. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(esp):715-725.

- 32 Shahrajabian, M. H.; Petropoulos, S. A. and Sun, W. 2023. Survey of the Influences of microbial biostimulants on horticultural crops: case studies and successful paradigms. *Horticulturae*. 9:193-198. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020193>.
- 33 Shao, Z.; Arkhipov, A.; Batool, M.; Muirhead, S. R.; Harry, M. S.; Ji, X.; Mirzaee, H.; Carvalhais, L. C. and Schenk, P. M. 2023. Rhizosphere bacteria biofertiliser formulations improve lettuce growth and yield under nursery and field conditions. *Agriculture*. 13:1911. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101911>.
- 34 Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299:152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- 35 Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15:134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
- 36 Toro, I. S.; Calderón, J. M. and Zavaleta, V. D. 2020. Phenotypic characteristics of ensifer meliloti y ensifer medicae (Rhizobiaceae) isolated from *Medicago sativa* L. (Fabaceae) in agricultural areas of Trujillo, Perú. *Arnaldoa*. 27:741-750. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.273.27305>.
- 37 Trejo-Valencia, R.; Sánchez-Acosta, L.; Fortis-Hernández, M.; Preciado-Rangel, P.; Gallegos-Robles, M. Á.; Antonio-Cruz, R. del C. y Vázquez-Vázquez, C. 2018. Effect of seaweed aqueous extracts and compost on vegetative growth, yield, and nutraceutical quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *Agronomy*. 8:264-271. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110264>.
- 38 Zapata-Sifuentes, G.; Fortis-Hernández, M.; Sáenz-Mata, J.; Silva-Martínez, C.; Lara-Capistran, L.; Preciado-Rangel, P. y Hernández-Montiel, L. G. 2024. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on the development and biochemical composition of cucumber under different substrate moisture levels. *Microbiology Research*. 15:1505-1515. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15030102>.
- 39 Zhishen, J.; Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64:555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2).



## Efecto bioestimulante de rizobacterias benéficas sobre el rendimiento y compuestos bioactivos de pepino

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 December 2024
Date accepted: 01 April 2025
Publication date: 19 May 2025
Publication date: Apr-May 2025
Volume: 16
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3881
DOI: 10.29312/remexca.v16i3.3948

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

*Cucumis sativus* L.

biocebado

bioestimulación

### Counts

Figures: 2

Tables: 3

Equations: 0

References: 39

Pages: 0