

## Efecto de rizobacterias y dosis reducidas de fertilizantes sintéticos sobre la expresión morfo-productiva de tomate en invernadero

R.G. Chiquito-Contreras<sup>1</sup>, J.J. Reyes-Pérez<sup>2</sup>, C.J. Chiquito-Contreras<sup>1</sup>,  
L. Vidal-Hernández<sup>1</sup> y L.G. Hernández-Montiel<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, México, CP. 91090

<sup>2</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus Ingeniero Manuel Agustín Haz Álvarez. Av. Quito km. 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Calle Instituto Politécnico Nacional N° 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México, CP 23096

### Resumen

El aprovechamiento de rizobacterias como promotores del crecimiento vegetal en la producción agrícola es considerado una alternativa ecológicamente viable ante el uso excesivo de fertilizantes sintéticos. Se determinó el efecto de la inoculación de dos cepas rizobacterianas de *Pseudomonas putida* y aplicación de dos concentraciones de fertilización sintética sobre la expresión morfo-productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* M.) en invernadero. Las plantas se inocularon con las cepas FA-8 y FA-56 mediante inmersión del sistema radicular. La fertilización sintética suministrada fue de 100% y 75% de concentración. Se determinó la altura, diámetro de tallo, longitud y volumen de raíz, biomasa, rendimiento, sólidos solubles totales (SST) de fruto y población rizobacteriana. Los resultados indican que las dos cepas de *P. putida* más los dos niveles de fertilización sintética promovieron significativamente los parámetros morfo-productivos de las plantas. La aplicación de *P. putida* en plantas de tomate representa una alternativa potencial como bio-fertilizante en la producción sustentable.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, *Pseudomonas putida*, crecimiento, rendimiento.

### Effect of rhizobacteria and reduced doses of synthetic fertilizers on the morpho-productive expression of tomato in greenhouse

#### Abstract

The use of rhizobacteria as promoters of plant growth in agricultural production is considered an ecologically viable alternative to the excessive use of synthetic fertilizers. The effect of the inoculation of two rhizobacterial strains of *Pseudomonas putida* and application of two concentrations of synthetic fertilization on the morpho-productivity expression of tomato plants (*Solanum lycopersicum* M.) in greenhouse was determined. The plants were inoculated with strains FA-8 and FA-56 by immersion of the root sys-

---

\* Autor para correspondencia: lhernandez@cibnor.mx

tem. The synthetic fertilization supplied was 100% and 75% concentration. The height, stem diameter, root length and volume, biomass, yield, total soluble solids (TSS) and rhizobacterial population were determined. The results indicate that two strains of *P. putida* and two levels of synthetic fertilization significantly promoted the morpho-productive parameters of the plants. The application of *P. putida* in tomato plants represents a potential alternative as a bio-fertilizer in sustainable production.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, *Pseudomonas putida*, growth, yield.

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* M.) es una de las hortalizas que más se cultiva en el mundo, debido a la alta demanda que tiene su fruto para consumo en fresco o procesado, cualidad que le confiere ser una planta de alto valor económico al representar más del 30% de la producción hortícola a nivel mundial (Nawab et al., 2017; Costa et al., 2018). Anualmente se incrementa la superficie del cultivo, lo que genera el uso constante y excesivo de los fertilizantes sintéticos, los cuales, además de tener un alto costo económico, son altamente contaminantes para el suelo, agua y salud humana (Watanabe et al., 2015). En América Latina, se destina más del 70% de la superficie total cultivada en sistema de agricultura protegida para la producción de tomate (Juárez-Maldonado et al., 2015; Ramos et al., 2018).

Ante la implementación de esquemas de producción agrícola intensivo para el cultivo de tomate, donde la demanda de insumos nutricionales sintéticos es grande, han surgido estrategias nutricionales sustentables a base de microorganismos, como por ejemplo las rizobacterias promotoras del crecimiento en plantas (Naili et al., 2018; Mustafa et al., 2019), entre las que destacan numerosas especies agrupadas en los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, entre otros (Kamou et al., 2015; Gamez et al., 2019).

Las rizobacterias son capaces de inducir de forma directa o indirecta la sanidad, crecimiento y productividad de las plantas a través de di-

ferentes mecanismos como; la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, solubilización de fósforo (Gouda et al., 2018; Coy et al., 2019), producción de fitohormonas como auxinas, citocinas y giberelinas (Jeyanthi y Kanimozhi, 2018; Puente et al., 2018) e inhibición de fitopatógenos mediante metabolitos antifúngicos extracelulares como glucanasas, quitinasas, antibióticos, sideróforos, entre otros (Thakur y Parikh, 2018; Chenniappan et al., 2019). Las rizobacterias se desempeñan como elicitores naturales, aumentando el crecimiento y productividad de las plantas, siendo una alternativa biotecnológica viable de bajo costo, aprovechable en la producción sustentable de cultivos agrícolas establecidos bajo condiciones de campo o invernadero y en la reducción de fertilizantes sintéticos que deterioran el ambiente (Mehmood et al., 2018; Dar et al., 2018).

Estudios sobre la aplicación de rizobacterias y fertilizantes sintéticos han reportado un incremento en el crecimiento de las plantas, debido a una mayor capacidad de absorción de los nutrimentos (Dominguez-Nuñez et al., 2015; Paungfoo-Lonhienne et al., 2019), promovida principalmente por el aumento de las poblaciones rizobacterianas (Tahir et al., 2018). Al respecto Naseri y Mirzaei (2010), reportan que la aplicación de *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp. más una fertilización reducida al 50% de nitrógeno inorgánico incrementó significativamente el crecimiento de plantas de cártamo establecidas en campo. Por su parte Yousefi y Barzegar (2014), obtuvieron un rendimiento similar en trigo establecido en campo con fertilizante fosforado al 100% y con el tratamiento de *A. chroocoo-*

ccum, *P. fluorescens* más 50% del fertilizante sintético. A pesar del efecto positivo de la aplicación de rizobacterias con dosis reducidas de fertilizantes sintéticos sobre las plantas, es necesario conocer y determinar la mejor combinación de ambos insumos biológicos y sintéticos que permita lograr una mayor expresión del crecimiento y productividad de plantas de interés agrícola (Hernández-Montiel et al., 2017; Cordero et al., 2018). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la inoculación de dos cepas rizobacterianas de *P. putida* y la aplicación de dos concentraciones de fertilización sintética sobre la expresión morfológica y productiva de plantas de tomate en invernadero.

## Material y métodos

### Sitio de estudio

El estudio se realizó en un invernadero de 160 m<sup>2</sup>, tipo túnel con ventilación lateral, ubicado en la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana, en las coordenadas 19° 30' latitud norte y 96° 55' latitud oeste, a una altura de 1450 msnm, en Xalapa, Veracruz, México.

### Obtención y crecimiento de rizobacterias

Las dos cepas de *P. putida* utilizadas en este estudio, están catalogadas como FA-8 y FA-56 y fueron proporcionadas por el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana. Ambas cepas fueron cultivadas individualmente en medio líquido B-King (conteniendo; 10 ml L<sup>-1</sup> de glicerol, 15 g L<sup>-1</sup> de peptona, 1 ml L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O al 1,0 M y 1,5 g L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) y colocadas en una incubadora (Binder™ BF 400) por 48 h a 28 °C y 180 rpm. La concentración de cada rizobacteria fue ajustada a 1 × 10<sup>9</sup> células mL<sup>-1</sup>

mediante un espectrofotómetro (Thermo Spectronic modelo 4001/1) a una longitud de onda de 660 nm y absorbancia de 1.

### Producción de plántulas de tomate

Se utilizaron semillas de tomate tipo saladette var. Río Grande (Westar Seeds International Inc®). La producción de plántulas con hábito de crecimiento determinado se realizó en una bandeja de germinación de poliestireno de 200 cavidades (de 2,5 x 2,5 x 6 cm), la cual fue desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 5%. Posteriormente fue llenada con una mezcla de sustrato a base de lombricomposta, grava y arena (2:1:1 vol/vol), esterilizada con una solución sanitizante y desinfectante líquida de Anibac 580® (Promotora Técnica Industrial, S.A de C.V, i. a. cuaternario de amonio [1a. generación] al 8,6% y cuaternario de amonio [doble cadena] al 3,7%) a una dosis de 5 ml L<sup>-1</sup>. Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad de 1 cm, la bandeja germinadora se mantuvo en invernadero por 30 días a 25 °C y 60% HR.

### Trasplante e inoculación de *P. putida*

Transcurridos los 30 días en la bandeja germinadora, se extrajeron las plántulas, realizándoles un lavado de raíz con agua destilada, posteriormente las raíces fueron inoculadas por inmersión en un vaso de precipitado de 250 ml conteniendo 100 ml de una suspensión (1 × 10<sup>9</sup> células mL<sup>-1</sup>) de cada cepa rizobacteriana por 20 min. Una vez inoculadas las plantas, fueron depositadas en bolsas de polietileno negro de 10 kg de capacidad que contenían como sustrato inerte 8,5 kg de grava previamente desinfectada con solución líquida de Anibac 580® en dosis de 5 ml L<sup>-1</sup>. Se inocularon lotes de plantas con cada cepa rizobacteriana y uno de forma combinada (con las dos *P. putida*) denominado MIX. Otro grupo de plantas (control) sin rizobacterias solo fueron fertilizadas. A

todas las plantas se les suministro una solución nutritiva al 75% y 100% (Tabla 1) de la siguiente manera; a los dos días después del trasplante (ddt) se aplicó 0,3 L de solución nutritiva por planta, el volumen se incrementó a 1 L día<sup>-1</sup> a los 25 ddt y 1,8 L día<sup>-1</sup> a partir de los 70 ddt hasta finalizar el experimento. Las plantas se mantuvieron dentro del invernadero tipo túnel durante 125 días. Durante el experimento se registró una temperatura

media de 26 ± 4 °C y 60 ± 5% de humedad relativa. Al final del experimento se cuantificó; altura, diámetro de tallo, longitud de raíz, volumen radical, biomasa fresca y seca y unidades formadoras de colonias (UFC), rendimiento de fruto y contenido de sólidos solubles totales (SST) por el método refractométrico, y se expresó en porcentaje (%). Se realizaron diez repeticiones con tres unidades experimentales por tratamiento.

Tabla 1. Fertilizantes sintéticos utilizados en la solución nutritiva de plantas de tomate inoculadas con rizobacterias.

Table 1. Synthetic fertilizers used in the nutrient solution supplied to tomato plants inoculated with rhizobacteria.

Fertilizante comercial	Fórmula	Cantidad g L <sup>-1</sup> (Dosis al 100%)	Cantidad g L <sup>-1</sup> (Dosis al 75%)
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	1,43	1,07
Nitrato de magnesio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,90	0,67
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	0,35	0,26
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,35	0,26
Micronutrientes (Tradecorp®AZ)*	Fe, Zn, Mn, B, Cu y Mo	0,04	0,03

\*Trade Corporation International, S.A.U. (Madrid, España).

### Población rizobacteriana

La determinación de la población de las rizobacterias en las raíces de las plantas se cuantificó en unidades formadoras de colonias (UFC). Al final del experimento se colectó una muestra de 3 g de raíz fresca de las plantas inoculadas con rizobacterias y sin inocular (control); las raíces se colocaron en placa Petri con solución salina estéril de NaCl al 0,85% (peso/vol). Posteriormente, de acuerdo a la metodología propuesta por Holguin y Bashan (1996), las raíces fueron maceradas mediante una varilla de vidrio estéril, se colectó 1 ml de la muestra y se depositó en un tubo de ensayo que contenía 9 ml de solución salina estéril al 0,85% (peso/vol),

del cual se procedió a realizar diluciones seriadas para cuenta en placa con medio de cultivo sólido B-King por triplicado, incubando por un periodo de 72 h a 26 °C. La población de cada cepa rizobacteriana fue expresada como UFC log 10<sup>7</sup> g<sup>-1</sup> de raíz.

### Análisis estadístico

Se empleó un diseño de bloques al azar y los datos obtenidos fueron procesados por un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Se utilizó el paquete estadístico Statistica® v. 10,0 para Windows (StatSoft) y para la comparación de medias se utilizó la prueba múltiple de Duncan (p < 0,05).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos indican que la respuesta de las plantas de tomate inoculadas de forma individual y combinada con las cepas rizobacterianas de *P. putida* más la aplicación de dos concentraciones de fertilización sintética, muestra diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en las variables morfológicas de planta y rendimiento del fruto (Tabla 2). Las plantas inoculadas con las dos cepas FA-8 y FA-56 (MIX) más dosis de fertilización sintética al 75% aumentaron la altura, longitud radical, biomasa fresca y rendimiento del fruto en 21,94%, 33,70%, 29,47% y 42,46%, respectivamente, respecto a las plantas con el 100% de fertilización sintética (control). Para las variables diámetro de tallo y volumen radical, las plantas fertilizadas al 75% e inoculadas con la cepa FA-56 mostraron un aumento del 8,56% y 48,36%, respectivamente, respecto a las plantas control fertilizadas al 100%. La biomasa seca de planta fue mayor con la cepa FA-8 más fertilización sintética al 75%, logrando un aumento del 42,46% respecto a las plantas control con fertilización sintética al 100%. La cuantificación porcentual de SST en jugo de fruto de tomate no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de las plantas inoculadas con las cepas de *P. putida* más fertilización sintética en dosis del 75% y 100% (Tabla 2).

El aumento en el crecimiento y productividad de las plantas de tomate inoculadas con las cepas rizobacterianas y dosis reducida de fertilización sintética (75%) ésta relacionado con la capacidad de *P. putida* para sintetizar hormonas vegetales del grupo de las auxinas como el ácido indolacético (AIA), mecanismo de acción que estimula el crecimiento y desarrollo vegetal al intervenir en la división celular y diferenciación de tejidos, expresado en un aumento de biomasa y rendimiento (He et al., 2018; Ghosh et al., 2018). Diversas cepas rizobacterianas también tienen la ha-

bilidad para mejorar el proceso de nutrición mineral de las plantas al facilitar y aumentar la absorción de nutrimentos como N, P y quelatización de iones como el Fe (Singh et al., 2018; Bhat, 2019). Al respecto, distintos autores han reportado la capacidad de las rizobacterias para actuar como agentes estimuladores del crecimiento y de producción en cultivos bajo diferentes sustratos como, tomate cultivado en piedra pómez (Hernández-Montiel et al., 2017) y banana en arena: aluvión (Gamez et al., 2019) o directamente en campo sobre maíz (Di Salvo et al., 2018). En el estudio realizado por Carlier et al. (2008), reportan que la inoculación de plantas de trigo establecidas en campo con *Pseudomonas* sp. más un 50% de fertilización sintética aumentó significativamente el peso de semilla por número de espiga. Díaz Franco et al. (2015), encontraron que plantas de sorgo establecidas en campo inoculadas con *A. brasilense* más una dosis de fertilización sintética al 50% aumenta el número de granos por panoja, el peso de 100 granos, contenido de proteína y rendimiento de grano. Por su parte, Chiquito-Contreras et al. (2017) observaron que la inoculación de rizobacterias *P. putida* más una fertilización sintética en dosis del 75% en chile habanero cultivado en un sustrato a base de piedra pómez, aumentó el rendimiento de fruto respecto a las plantas con el 100% de fertilización. En este estudio, plantas de tomate inoculadas con dos cepas de *P. putida* más dosis de fertilización sintética al 75% (MIX) aumentó el rendimiento del fruto en un 42%, en comparación con las plantas fertilizadas al 100% (control).

Por otra parte, en cuanto a la composición nutricional del fruto, particularmente al contenido de sólidos solubles totales (SST), algunos reportes señalan que esta cualidad organoléptica puede estar influenciada por la capacidad de algunas rizobacterias para facilitar en las plantas la asimilación de nutri-

Tabla 2. Efecto de *P. putida* y fertilización sintética sobre el crecimiento y productividad de plantas de tomate en invernadero.  
 Table 2. Effect of *P. putida* and synthetic fertilization on the growth and productivity of tomato plants in the greenhouse.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud radical (cm)	Volumen radical (cm <sup>3</sup> )	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	Rendimiento (g)	SST (%)
<i>Fertilización sintética 100%*</i>								
Cepa FA-8	111,08 cd	8,26 abc	61,33 cd	69,07 bcd	333,78 b	57,09 bc	711,50 a	5,0 a
Cepa FA-56	116,06 bc	8,02 bcd	65,00 c	72,05 bc	330,59 b	64,74 ab	769,33 a	5,5 a
MIX <sup>+</sup>	106,67 de	8,36 abc	56,25 de	57,06 d	297,85 c	56,39 bc	736,33 a	5,5 a
Control	103,33 de	7,94 cd	54,17 e	61,04 cd	288,46 c	48,33 c	548,33 b	5,5 a
<i>Fertilización sintética 75%</i>								
Cepa FA-8	119,17 ab	8,45 ab	66,48 bc	83,33 ab	362,30 ab	72,93 a	634,33 ab	5,5 a
Cepa FA-56	124,50 a	8,62 a	71,25 ab	90,53 a	369,98 a	72,65 a	719,67 a	5,0 a
MIX	126,08 a	8,21 abc	72,43 a	89,83 a	373,47 a	70,84 a	781,17 a	5,5 a
Control	100,50 e	7,75 d	52,67 e	56,33 d	273,67 c	52,56 c	515,05 b	5,0 a

SST: Sólidos solubles totales.

Valores promedio ( $n = 30$ ) dentro de la misma columna con letras diferentes muestran diferencias significativas en el ensayo con diseño de bloques al azar y la prueba de rango múltiple de Duncan ( $P < 0,05$ ).



mentos, la estimulación por medio de reguladores del crecimiento (Gamalero y Glick, 2015) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) que promueven la síntesis de enzimas reductoras de azúcares presentes en la pared celular del fruto, las cuales, producen azúcares simples que incrementan la concentración de sólidos solubles totales en los frutos durante el proceso de maduración (Vázquez-Ovando et al., 2012; Taiti et al., 2015).

En relación a la población de las dos cepas de *P. putida* cuantificadas en raíces de plantas de tomate, las rizobacterianas más dosis de fertilización sintética al 75% y 100% mostraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Figura 1). Las plantas inoculadas con la cepa FA-56 y fertilización sintética

al 75% mostraron la mayor población de células con 382 UFC ( $10^7$  g<sup>-1</sup> de tejido fresco de raíz). Las plantas con ambas cepas de *P. putida* y fertilización sintética al 100% mostraron las poblaciones bajas de UFC. Existen evidencias que indican el efecto negativo de los fertilizantes sintéticos sobre la tasa poblacional y actividad metabólica de las rizobacterias inoculadas en plantas, por ejemplo, especies rizobacterianas fijadoras de nitrógeno atmosférico generalmente en presencia de N inorgánico presentan una reducción en su habilidad para la fijación biológica de N, debido a que la acción de este tipo de rizobacterias es particularmente significativa cuando este elemento nutrimental se encuentra escaso en la rizósfera de las plantas (Nadeem et al., 2014; Moreau et al.,

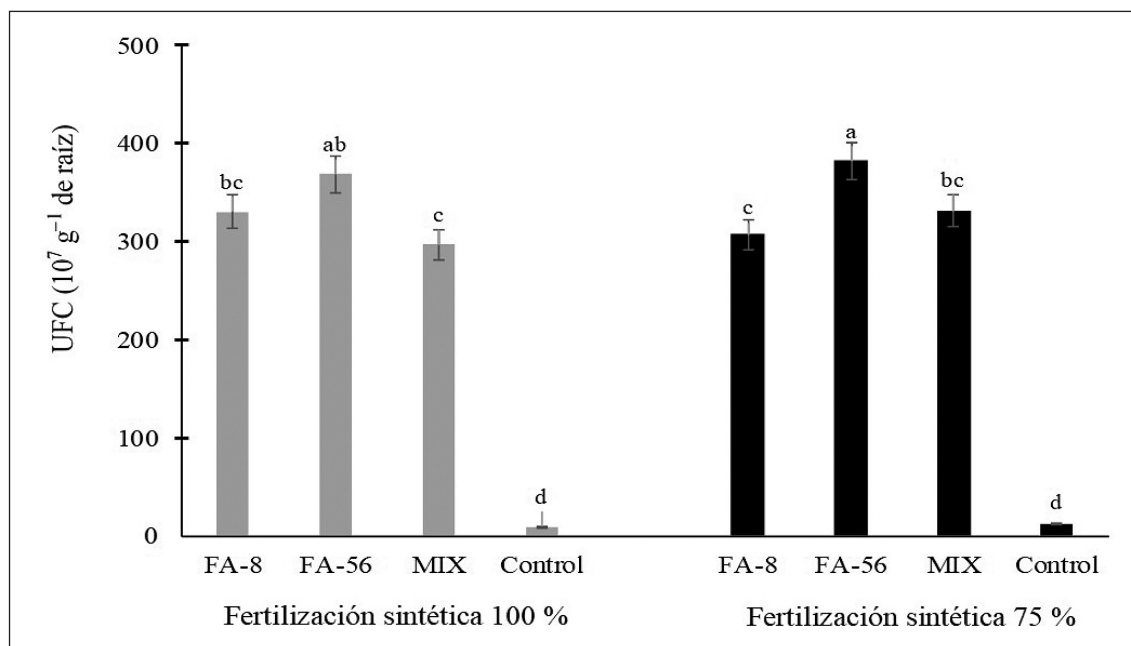


Figura 1. Unidades formadoras de colonias (UFC) cuantificadas en raíz de plantas de tomate inoculadas con *P. putida* cepas FA-8 y FA-56. Letras distintas sobre las barras muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan ( $P < 0,05$ ).

Figure 1. Colony forming units (CFU) quantified in root tomato plants inoculated with *P. putida* strains FA-8 and FA-56. Different letters on the bars show significant differences according to Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

2019). Finalmente, las fluctuaciones en la tasa poblacional de rizobacterias está condicionada según el método de inoculación de las rizobacterias sobre las plantas, así como a la cantidad y calidad de los compuestos orgánicos producidos por los exudados radicales, destacando los aminoácidos, ácidos orgánicos, fenoles, fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas), azúcares, vitaminas y enzimas (Lundberg y Teixeira, 2018; Wu et al., 2018). La cantidad y calidad de los exudados radicales de las plantas promueve en las rizobacterias la competencia por estos metabolitos, así como por el sitio que ocupan sobre la raíz de la planta, siendo las uniones entre las células epidérmicas y el área donde emerge la raíz los sitios con mayor atracción, adhesión, actividad y población microbiana (Sasse et al., 2018; Olanrewaju et al., 2019).

### Conclusiones

La respuesta de las plantas de tomate inoculadas con las diferentes cepas de *P. putida* y fertilización sintética en dosis reducida al 75% mostró los mayores incrementos en todas las variables morfológicas de crecimiento, población rizobacteriana y rendimiento de fruto. El aprovechamiento de rizobacterias contribuye a la disminución de la cantidad de fertilizante sintético suministrado a las plantas hasta en 25%, lo que puede permitir una reducción en los costos de producción del cultivo, mantener la fertilidad del suelo y minimizar el impacto ambiental. Es necesario realizar trabajos en campo con la implementación de la fertilización sintética en dosis reducidas para validar el potencial de las cepas rizobacterianas de *P. putida* como agentes promotores del crecimiento y en la productividad de las plantas de tomate en torno a un esquema de producción agrícola sustentable.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana y el soporte técnico proporcionado por el personal responsable del Laboratorio de Química Agrícola y del área de invernaderos.

### Referencias bibliográficas

- Bhat MA, Rasool R, Ramzan S (2019). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable and eco-friendly agriculture. *Acta Scientific Agriculture* 3: 23-25.
- Carlier E, Rovera M, Rossi Jaume A, Rosas SB (2008). Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* SR1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 2653-2658. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9791-6>
- Chiquito-Contreras RG, Murillo-Amador B, Chiquito-Contreras CJ, Márquez-Mártinez JC, Córdoba-Matson MV, Hernández-Montiel LG (2017). Effect of *Pseudomonas putida* and inorganic fertilizer on growth and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) in greenhouse. *Journal of Plant Nutrition* 40: 2595-2601. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381119>
- Chenniappan C, Narayanasamy M, Daniel GM, Ramaraj GB, Ponnusamy P, Sekar J, Ramalingam PV (2019). Biocontrol efficiency of native plant growth promoting rhizobacteria against rhizome rot disease of turmeric. *Biological Control* 129: 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.002>
- Cordero I, Balaguer L, Rincón A, Pueyo JJ (2018). Inoculation of tomato plants with selected PGPR represents a feasible alternative to chemical fertilization under salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 181: 694-703. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700480>



- Costa E, Cardoso ED, Junior DBL (2018). Cherry tomato production on different organic substrates under protected environment conditions. *Australian Journal of Crop Science* 12: 87-92.
- Coy RM, Held DW, Kloepper JW (2019). Rhizobacterial colonization of bermudagrass by *Bacillus* spp. in a Marvyn loamy sand soil. *Applied Soil Ecology* 141: 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.018>
- Dar ZM, Rouf A, Masood A, Asif M, Malik MA (2018). Review on plant growth promoting rhizobacteria and its effect on plant growth. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7: 2802-2804.
- Di Salvo LP, Cellucci GC, Carlino ME, García de Salamone IE (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Applied Soil Ecology* 126: 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>
- Díaz Franco A, Gálvez López D, Ortiz Cháirez FE (2015). Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 31: 245-252.
- Dominguez-Nuñez JA, Delgado-Alvez D, Berrocal-Lobo M, Anriquez A, Albanesi A (2015). Controlled-release fertilizers combined with *Pseudomonas fluorescens* rhizobacteria inoculum improve growth in *Pinus halepensis* seedlings. *iForest Biogeosciences and Forestry* 8: 12-18. <https://doi.org/10.3832/ifor1110-007>
- Gamalero E, Glick BR (2015). Bacterial modulation of plant ethylene levels. *Plant Physiology* 169: 13-22. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.00284>
- Gamez R, Cardinale M, Montes M, Ramirez S, Schnell S, Rodriguez F (2019). Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). *Microbiological Research* 220: 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.006>
- Ghosh D, Gupta A, Mohapatra S (2018). Dynamics of endogenous hormone regulation in plants by phytohormone secreting rhizobacteria under water-stress. *Symbiosis* 77: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13199-018-00589-w>
- Gouda S, Kerry RG, Das G, Paramithiotis S, Shin HS, Patra JK (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research* 206: 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- He Y, Wu Z, Wang W, Ye BC, Zhang F, Liu X (2018). Different responses of *Capsicum annuum* L. root and shoot to salt stress with *Pseudomonas putida* Rs-198 inoculation. *Journal of Plant Growth Regulation* 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9891-y>
- Hernández-Montiel LG, Chiquito-Contreras CJ, Murillo-Amador B, Vidal-Hernández L, Quiñones-Aguilar EE, Chiquito-Contreras RG (2017). Efficiency of two inoculation methods of *Pseudomonas putida* on growth and yield of tomato plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17: 1003-1012. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400012>
- Holguin G, Bashan Y (1996). Nitrogen-fixation by *Azospirillum brasilense* Cd is promoted when co-cultured with a mangrove rhizosphere bacterium (*Staphylococcus* sp.). *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1651-1660. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00251-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00251-9)
- Jeyanthi V, Kanimozhi S (2018). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)-prospective and mechanisms: A review. *Journal of Pure and Applied Microbiology* 12: 733-749. <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.12.2.34>
- Juárez-Maldonado A, de Alba-Romenus K, Zermeno-Gonzalez A, Ramírez H., Benavides-Mendoza A (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 943-954.
- Kamou NN, Karasali H, Menexes G, Kasiotis KM, Bon MC, Papadakis EN, Tzelepis GD, Lotos L, Lagopodi AL (2015). Isolation screening and characterization of local beneficial rhizobacteria based upon their ability to suppress the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and tomato foot and root rot. *Biocontrol Science and Technology* 25: 928-949. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1020762>

- Lundberg DS, Teixeira PJ (2018). Root-exuded coumarin shapes the root microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115: 5629-5631. <https://doi.org/10.1073/pnas.1805944115>
- Mehmood U, Inam-ul-Haq M, Saeed M, Altaf A, Azam F (2018). A brief review on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A key role in plant growth promotion. *Plant Protection* 2: 77-82.
- Moreau D, Bardgett RD, Finlay RD, Jones DL, Philippot L (2019). A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology* 33: 540-552. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303>
- Mustafa S, Kabir S, Shabbir U, Batool R (2019). Plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture: from theoretical to pragmatic approach. *Symbiosis* 78: 115-123. <https://doi.org/10.1007/s13199-019-00602-w>
- Nadeem SM, Ahmad M, Zahir ZA, Javaid A, Ashraf M (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances* 32: 429-448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Naili F, Neifar M, Elhidri D (2018). Optimization of the effect of PGPR-based biofertilizer on wheat growth and yield. *Biometrics and Biostatistics International Journal* 7: 226-232. <https://doi.org/10.15406/bbij.2018.07.00213>
- Naseri R, Mirzaei A (2010). Response of yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to seed inoculation with *Azotobacter* and *Azospirillum* and different nitrogen levels under dry land condition. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 9: 445-449.
- Nawab A, Alam F, Hasnain A (2017). Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules* 103: 581-586. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057>
- Olanrewaju OS, Ayangbenro AS, Glick BR, Babalola O (2019). Plant health: feedback effect of root exudates-rhizobiome interactions. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103: 1155-1166. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9556-6>
- Paungfoo-Lonhienne C, Redding M, Pratt C, Wang W (2019). Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilizers while reducing nitrogen loss. *Journal of Environmental Management* 233: 337-341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
- Puente ML, Gualpa JL, Lopez GA, Molina RM, Carletti SM, Cassán FD (2018). The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. *Symbiosis* 76: 41-49. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0536-x>
- Ramos RS, Kumar L, Shabani F, Picanço MC (2018). Mapping global risk levels of *Bemisia tabaci* in areas of suitability for open field tomato cultivation under current and future climates. *Plos One* 13: e0198925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198925>
- Sasse J, Martinoia E, Northen T (2018). Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome?. *Trends in Plant Science* 23: 25-41. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.09.003>
- Singh AV, Prasad B, Goel R (2018). Plant growth promoting efficiency of phosphate solubilizing *Chryseobacterium* sp. PSR 10 with different doses of N and P fertilizers on lentil (*Lens culinaris* var. PL-5) growth and yield. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 7: 2280-2289. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.265>
- Tahir M, Khalid U, Ijaz M, Shah GM, Naeem MA, Shahid M, Mahmood K, Ahmad N, Kareem F (2018). Combined application of bio-organic phosphate and phosphorus solubilizing bacteria (*Bacillus* strain MWT 14) improve the performance of bread wheat with low fertilizer input under an arid climate. *Brazilian Journal of Microbiology* 49: 15-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2017.11.005>
- Taiti C, Costa C, Menesatti P, Caparrotta S, Bazihizina N, Azzarello E, Petrucci WA, Masi, E, Giordani E (2015). Use of volatile organic compounds and physicochemical parameters for monitoring the post-harvest ripening of imported tropical fruits. *European Food Research and Technology* 241: 91-102. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2438-6>

- Thakur A, Parikh SC (2018). Screening of groundnut plant associated rhizobacteria for multiple plant beneficial plant growth promoting traits. *Journal of Plant Pathology and Microbiology* 9: 1-7. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000457>
- Vázquez-Ovando JA, Andrino-López DM, Adriano-Anaya ML, Salvador-Figueroa M, Ovando-Medina I (2012). Sensory and physico-chemical quality of banana fruits "Grand Naine" grown with biofertilizers. *African Journal of Agricultural Research* 7: 4620-4626.
- Watanabe M, Ohta Y, Licang S, Motoyama N, Kikuchi J (2015). Profiling contents of water-soluble metabolites and mineral nutrients to evaluate the effects of pesticides and organic and chemical fertilizers on tomato fruit quality. *Food chemistry* 169: 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.155>
- Wu L, Kobayashi Y, Wasaki J, Koyama H (2018). Organic acid excretion from roots: a plant mechanism for enhancing phosphorus acquisition, enhancing aluminum tolerance, and recruiting beneficial rhizobacteria. *Soil Science and Plant Nutrition* 64: 697-704. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1537093>
- Yousefi A, Barzegar A (2014). Effect of *Azotobacter* and *Pseudomonas* bacteria inoculation on wheat yield under field condition. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 7: 616-619.
- (Aceptado para publicación el 7 de julio de 2019)