

## Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento del chile jalapeño

María Camacho-Rodríguez<sup>1</sup>  
Juan José Almaraz-Suárez<sup>2</sup>  
Cirilo Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>  
Azareel Angulo-Castro<sup>3</sup>  
María Esther Ríos-Vega<sup>1</sup>  
Apolinar González-Mancilla<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. (camachomaria93@hotmail.com; cirvaz60@hotmail.com; maesther.rios@hotmail.com). <sup>2</sup>Edafología-Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. (jalmaraz@colpos.mx). <sup>3</sup>Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-El Dorado, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. (azareel.angulo@uas.edu.mx).

§Autor para correspondencia: apolinar.gonzales@ujed.mx.

### Resumen

El chile jalapeño es una de las plantas más cultivada, su producción ha disminuido por la baja fertilidad del suelo y la presencia de enfermedades. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal son alternativas para mejorar el crecimiento y rendimiento de este cultivo. El objetivo fue evaluar el efecto de rizobacterias (*Serratia marcescens*, *S. plymuthica*, *S. liquefaciens* y *Arthrobacter* sp.) en el crecimiento del chile jalapeño. El experimento se estableció en 2020, en Gómez Palacio, Durango, México. El efecto de las rizobacterias se probó a nivel *in vitro*, semilleros y en macetas, diseñados completamente al azar con 15 y 8 repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura, número de hojas, área foliar, índice de contenido de clorofila, biomasa seca en raíz, hojas y tallos, número y tamaño de frutos. Los tratamientos evaluados fueron testigo absoluto, testigo fertilizado y las cuatro rizobacterias. El sustrato utilizado fue una mezcla preparada en base con peat moss (Premier<sup>®</sup>), perlita (Agrolita<sup>®</sup>) y vermiculita (Agrolita<sup>®</sup>) con relación de 1:1:1 (p/p/p), el suelo presentó un pH de 8.3, 2.2% de materia orgánica, 61.5 mg kg<sup>-1</sup> de nitrógeno (NO<sub>3</sub>) y 20.2 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo. La rizobacteria *S. plymuthica* permitió mayor altura y hojas en plántulas (*in vitro* y semillero), pero en condiciones de macetas *S. marcescens* demostró mejor altura, número de hojas, área foliar y biomasa de plantas, *S. plymuthica* incrementó la cantidad de clorofila, y finalmente *S. liquefaciens* acrecentó la cantidad y el tamaño de frutos. Las rizobacterias pueden mejorar el crecimiento y rendimiento del chile jalapeño.

**Palabras clave:** *Arthrobacter* sp., *Capsicum annuum* L., *Serratia liquefaciens*, *Serratia marcescens*, *Serratia plymuthica*.

Recibido: junio de 2022

Aceptado: agosto de 2022

## Introducción

El género *Capsicum* es una de las especies más cultivadas y producidas en todo el mundo (Antonio *et al.*, 2018), pertenece a la familia *Solanaceae*, son plantas herbáceas de comportamiento anual y perenne, es originario de México, evidencias arqueológicas han permitido estimar que se cultiva desde el año 9000 aC, en las regiones de Tehuacán, Puebla y Ocampo, Tamaulipas (García-Jiménez *et al.*, 2018). En el año 2020, la producción de chile a nivel mundial fue más de 40.2 Mt y México ocupó el segundo lugar con más de 2.8 Mt superado solo por China con más de 16.9 Mt (FAOSTAT, 2022).

La gran diversidad de usos del chile jalapeño ha resaltado su importancia socioeconómica, este fruto se utiliza en fresco, seco o polvo, siendo uno los condimentos básicos en las familias mexicanas (Campos *et al.*, 2022). Se consume en salsas, en mole, en rellenos, en rajas y en condimentos para diversos alimentos (Pérez-Vargas *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2022). Además, posee propiedades nutraceuticas al producir capsaicina, fenoles, flavonoides, antioxidantes, proteína y otros compuestos benéficos para la salud (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020; Medina *et al.*, 2022; Campos *et al.*, 2022), por el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la diabetes (Chamikara *et al.*, 2016; Parvez, 2017; Bonaccio *et al.*, 2019).

En el país se cultivan más de 40 variedades de chile y destacan el chile jalapeño, serrano, pimiento morrón, poblano, chilaca, Anaheim, mirasol, soledad, de árbol y piquín (SIAP-SAGARPA, 2022). La producción del chile jalapeño puede limitarse por diversos factores, destacando las enfermedades por hongos, bacterias y virus (Morra y Bilotto, 2015; Hernández-Huerta, *et al.*, 2021), la baja fertilidad del suelo, condiciones de heladas, plagas y pocos apoyos gubernamentales, provocando descenso en la baja producción, pérdidas económicas y bajo interés por el cultivo (Galindo, 2007; Sánchez-Toledano *et al.*, 2021).

Los hongos que afectan el cultivo de chile son *Phytophthora capsici*, *Fusarium* sp., *Sclerotium* sp., *Rhizoctonia solani* y *Pythium* causando el Damping off o la marchitez (Morra y Bilotto, 2015; Hyder *et al.*, 2021). Para contrarrestar los problemas de fertilidad en los suelos y presencia de enfermedades, los productores se apoyan con el uso de productos químicos, los cuales, al hacer uso excesivo de estos, provocan contaminación en los ecosistemas y el medio ambiente, resultando la salinidad del suelo, la eutrofización del agua y la acumulación de nitritos y nitratos, mismos que pueden ser una fuente de contaminación ambiental y una amenaza para la salud humana (Castellanos *et al.*, 2017).

Para reducir el uso excesivo de productos químicos y evitar la contaminación de los suelos, existen alternativas amigables y sustentables con el medio ambiente; por ejemplo, utilizar microorganismos benéficos como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV). Las RPCV habitan de forma natural la rizosfera de las plantas, los cuales pueden cultivarse e inocularse como biofertilizantes debido a su capacidad para promover el crecimiento de las plantas, mediante mecanismos como el incremento de movilización y absorción de nutrientes, sobre todo de N, P y K (Dahiya *et al.*, 2019; Etesami y Adl, 2020), control biológico de patógenos y producción de reguladores del crecimiento vegetal (fitohormonas) (Yadav *et al.*, 2015; Chauhan *et al.*, 2015).

Las cepas utilizadas en este trabajo fueron identificadas como *Serratia marcescens* (fijador de nitrógeno), *S. plymuthica* (solubiliza fósforo), *S. liquefaciens* (produce ácido indolacético) y *Arthrobacter* sp. (produce ácido indolacético), con números de acceso al GenBank KX259560, KX259564, KX259559 y KX258420 (González *et al.*, 2017). Estas rizobacterias han sido estudiadas como promotores del crecimiento en chile poblano (González *et al.*, 2017; Quiroz-Sarmiento *et al.*, 2019), pero no han sido estudiados en plántulas y plantas del chile jalapeño, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las cepas anteriores como RPCV en el crecimiento y rendimiento de plantas en este cultivo.

## Materiales y métodos

### Establecimiento del experimento

El estudio se realizó en la Facultad de Agricultura y Zootecnia, de la Universidad Juárez del Estado de Durango, localizado en el km 32 de la Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, del ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio, Durango, México, con coordenadas geográficas 25° 78' 60" latitud norte y 103° 35' 07" longitud oeste, altitud de 1 110 m. Se estableció un experimento a nivel de invernadero, en el que se utilizaron cuatro cepas de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) provenientes de suelo rizosférico del cultivo de chile poblano, muestreadas en la Sierra Nevada, Puebla, México, identificados como *Serratia marcescens*, *S. plymuthica*, *S. liquefaciens* y *Arthrobacter* sp. (González *et al.*, 2017).

El invernadero utilizado fue de estructura metálica cubierto de plástico blanco y malla sombra al 50%, con temperatura en promedio de 22 °C (mínima 9 °C y máxima de 35 °C). Antes de realizar el experimento en invernadero, se probaron el efecto de las RPCV en plántulas de chile jalapeño a nivel *in vitro* (cajas de Petri) y semillero, en el que se probaron cinco tratamientos (SM, SP, SL, AB y testigo) y 15 repeticiones, evaluándose las variables altura y número de hojas; la primera se midió con una regla graduada en cm y la segunda variable de forma visual. En estos experimentos se utilizaron como sustrato peat moss, perlita y vermiculita (relación 1:1:1 p/p), esterilizados en autoclave a 18 lb de presión durante 6 h.

La semilla utilizada fue chile jalapeño colectada en la misma facultad, se desinfectaron antes de la siembra con cloro al 1% por 3 min y lavada tres veces con agua destilada. Una vez que la semilla pasó por la desinfección, fueron sembradas en las cajas de Petri y en el semillero (charola germinadora con 288 cavidades). Ocho días después de la germinación, con alturas de 2 cm ( $\pm 0.5$ ), las plántulas fueron inoculadas con las RPCV, agregando 1 ml del medio caldo nutritivo, el cual contenía la carga bacteriana de  $10^9$  UFC ml de medio líquido (cuantificación por dilución seriada).

El experimento se estableció en invernadero, se evaluó el efecto de las RPCV en el crecimiento y rendimiento del chile jalapeño, por lo que las plántulas fueron trasplantadas en macetas tipo bolsas negras de plásticos de 15 x 30 cm, previamente llenadas con aproximadamente 5 kg de suelo. Las características físico-químicas del suelo fueron analizados según la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), presentando un pH medianamente alcalino (8.4) (relación suelo, agua 1:2), materia orgánica de 2.2% (Walkley y Black), nitrógeno total de 0.09% (micro Kjeldhal), N inorgánico de 61.5 mg kg<sup>-1</sup>, fósforo disponible de 20.2 mg kg<sup>-1</sup> (Bray y Kurtz), potasio y calcio extraíble de 12 404 y 375 mg kg<sup>-1</sup> (extracto de saturación), la textura fue franco arcillosa (Bouyoucos).

El diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos [testigo absoluto (TA), testigo fertilizado (TF), *Serratia marcescens* (SM), *S. plymuthica* (SP), *S. liquefaciens* (SL) y *Arthrobacter* sp. (AB)] y 15 repeticiones cada uno. Las plántulas fueron trasplantadas después de 57 días de la siembra en semilleros, debidamente inoculadas con las rizobacterias y procesadas según este apartado, las alturas al momento del trasplante fueron de 6.5 (TA), 6.7 (TF), 6.7 (AB), 6.5 (SP), 7.6 (SL) y 7.4 cm (SM). Se trasplantaron dos plántulas por macetas, eliminando una de ellas posteriormente, estas fueron regadas cada tercer día. La fertilización en dicho tratamiento fue con base en la dosis de 120 kg N ha<sup>-1</sup> en tres aplicaciones.

### **Características de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal**

*Serratia marcescens* (SM) es una cepa con capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, con número de accesión al GenkBank KX259560, inhibe *Phytophthora capsici* en un 44% y *Fusarium* sp. En un 5%. La cepa *S. plymuthica* (SP) solubiliza fósforo en una cantidad de 744 µg ml<sup>-1</sup>, inhibe el desarrollo de *P. capsici* en 42% y *Fusarium* sp. En 37%. Su número de accesión al GenBank es KX259564 (González *et al.*, 2017).

*S. liquefaciens* (SL) tienen capacidad para producir auxinas (ácido indolacético 23.9 µg ml<sup>-1</sup>), inhibe el desarrollo de *P. capsici* en 34.5% y *Fusarium* sp. En un 39.4%, con número de accesión al GenBank KX259559. Finalmente, *Arthrobacter* sp. (AB) es una rizobacteria con capacidad para producir auxinas en 22.5 µg ml<sup>-1</sup>, inhibe 44.6% de *P. capsici* y 12% de *Fusarium* sp., su número de accesión al GenBank es KX258420, González *et al.* (2017). Antes de su inoculación las cepas fueron reactivadas en medio sólido Agar nutritivo y sembradas en cajas de Petri mediante estría cruzada e incubándolos a 28 °C.

### **Variables evaluadas**

A los 121 días después del trasplante (DDT) se terminó el experimento y se evaluaron las variables altura, número de hojas, área foliar, biomasa seca (en raíz, tallos y hojas), índice de contenido de clorofila, número de frutos, largo y ancho del mismo. La altura de plántula se midió con una regla graduada en cm, desde el cuello radical hasta el ápice de la planta, el número de hojas se cuantificó de forma visual en cada una de las plantas. El área foliar se determinó con un medidor de área marca LI-COR, modelo LI-3100 área meter, al final del experimento se separaron las hojas y se pasaron en la banda del medidor de área foliar, la producción de biomasa seca en raíz, tallos y hojas se obtuvo al separar las partes indicadas y fueron puestos en papel estraza, posteriormente, se sometió en un horno de secado a 70 °C por 72 h, el peso seco se midió con una balanza analítica AdventurePro.

Para determinar el índice de contenido de clorofila (ICC) en las plantas, se utilizó un medidor de clorofila (Fluorímetro) Marca Opti-Sciences (CCM-200 Plus). El número de frutos se cuantificó de manera visual, esta variable se determinó al principio de la fructificación y como única medición, debido a que inició el periodo de invierno, el diámetro y largo del mismo se determinó utilizando un vernier electrónico graduada en mm.

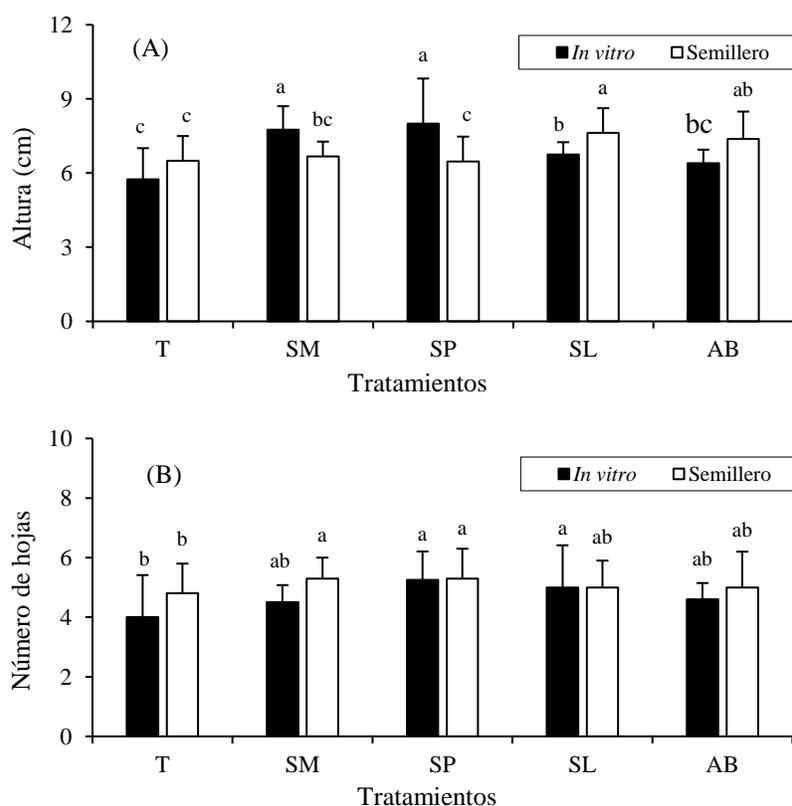
## Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron sometidos a prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas, las variables que no cumplieron con dichas pruebas fueron transformados a logaritmo natural, posteriormente se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Todos los datos se analizaron con la ayuda del paquete estadístico SAS 2002, recomendado para Windows versión 9.0.

## Resultados y discusión

### Efecto de las RPCV en el crecimiento de plántulas

Los resultados indicaron que la altura y el número de hojas en plántulas de chile jalapeño sembradas a nivel *in vitro* (cajas de Petri) y en semilleros, fueron estadísticamente diferentes según las cepas inoculadas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Figura 1). A nivel *in vitro*, las plántulas inoculadas con la cepa *Serratia plymuthica* (SP) presentaron mayor altura con 8 cm, seguido del tratamiento con *S. marcescens* (SM) al presentar 7.8 cm de alto. Las plantas no inoculadas (testigo) presentaron menor altura con 5.8 cm, los incrementos en altura del tratamiento con SP fue de 38% más comparado con la altura de las plántulas en el testigo.



**Figura 1.** Altura (A) y número de hojas (B) en plántulas de chile jalapeño (*in vitro* y semillero), según el efecto de diferentes cepas rizobacterianas. SM= *Serratia marcescens*; SP= *S. plymuthica*; SL= *S. liquefaciens*; AB= *Arthrobacter* sp., T= testigo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $n = 15 \pm$  error estándar.

En semillero, fue mejor *S. liquefaciens* (SL) quien presentó en promedio 7.6 cm de alto por plántulas, el testigo presentó nuevamente menor altura con 6.5 cm. Los incrementos en SL respecto al testigo fueron de 17% más en altura (Figura 1A). El número de hojas en plántulas fue diferente según las RPCV inoculadas, hubo mayor número de hojas en plántulas tratadas con SP, tanto *in vitro* como en semilleros, ambos con 5.3 hojas (Figura 1B). Los incrementos fueron de 33 y 10% más en número de hojas respecto a las plántulas (*in vitro* y semillero) sin inoculación microbiana.

Los efectos positivos de estas cepas no han sido reportados con chile jalapeño, pero si con chile poblano, González *et al.* (2017) reportaron incrementos de 15, 30 y 11% más en altura, área foliar y producción de biomasa seca en plántulas, cuando inocularon con *S. plymuthica*, con esta misma cepa, pero en chile jalapeño, este trabajo reporto un incremento de 38% en altura. Otro trabajo comparable, en el que evaluaron diferentes cepas de RPCV en plántulas de chile poblano, encontraron los mejores efectos al inocular *S. plymuthica* y *S. liquefaciens*, representando incrementos de hasta 28 y 26% en altura (13.3 cm) y número de hojas (7.2), además incrementaron el área foliar y la producción de biomasa seca (Quiroz-Sarmiento *et al.*, 2019). Los efectos positivos encontrados en altura y número de hojas por efecto de las cepas bacterianas posiblemente estén relacionados con la capacidad que tienen para solubilizar fósforo (SP, 744  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ), producir auxinas (SL, 23.9  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) e inhibir *Fusarium sp.* y *Phytophthora capsici* (González *et al.*, 2017).

### Efectos de las RPCV en el crecimiento y rendimiento del chile jalapeño

La inoculación de las RPCV en plantas de chile jalapeño, trasplantadas en macetas, influyó en el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas en invernadero. Los resultados indicaron que la altura y el número de hojas fueron estadísticamente diferentes entre los tratamientos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1). Al final del experimento, se encontró mayor altura en las plantas inoculadas con *Serratia marcescens* (SM) con un promedio de 32 cm (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1); el valor más bajo fue localizado en los tratamientos con *S. plymuthica* (SP) y *S. liquefaciens* (SL), plantas con 21 cm respectivamente. La altura final en las plantas inoculadas con SM, representó 45% más respecto a la altura encontrada en el testigo absoluto (TA, 22 cm), por otro lado, comparado con el testigo fertilizado (TF, 24 cm) se encontró 33% más en altura de las plantas.

**Cuadro 1. Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en altura, número de hojas, área foliar e índice de contenido de clorofila (ICC) en plantas chile jalapeño.**

Tratamientos	Abreviación	Altura (cm)	Hojas	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Clorofila (ICC)
Testigo absoluto	TA	22 ( $\pm 4$ ) bc	24 ( $\pm 7$ ) c	574 ( $\pm 65$ ) bc	36 ( $\pm 16$ ) c
Testigo fertilizado	TF	24 ( $\pm 6$ ) b	27 ( $\pm 10$ ) bc	486 ( $\pm 103$ ) c	39 ( $\pm 12$ ) bc
<i>Arthrobacter sp.</i>	AB	23 ( $\pm 6$ ) bc	38 ( $\pm 14$ ) ab	490 ( $\pm 245$ ) c	38 ( $\pm 14$ ) bc
<i>Serratia plymuthica</i>	SP	21 ( $\pm 2$ ) c	31 ( $\pm 13$ ) bc	609 ( $\pm 203$ ) bc	52 ( $\pm 10$ ) a
<i>Serratia liquefaciens</i>	SL	21 ( $\pm 2$ ) c	29 ( $\pm 7$ ) bc	688 ( $\pm 143$ ) ab	48 ( $\pm 9$ ) ab
<i>Serratia marcescens</i>	SM	32 ( $\pm 6$ ) a	45 ( $\pm 16$ ) a	782 ( $\pm 151$ ) a	40 ( $\pm 14$ ) bc

Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); n= 8,  $\pm$  error estándar.

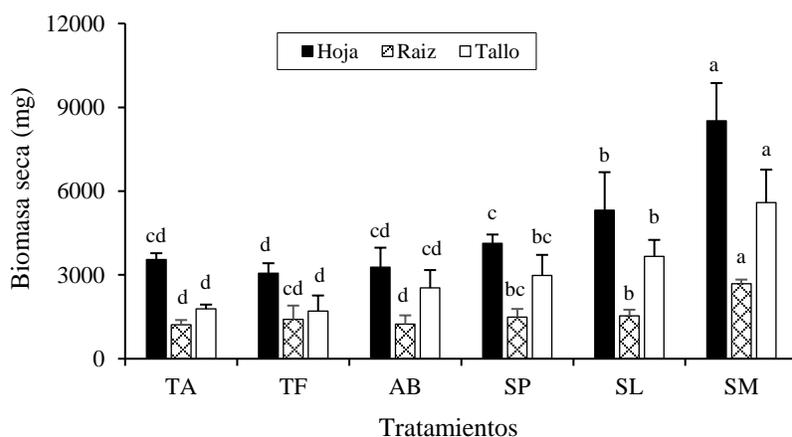
Se observó mayor producción de hojas en las plantas inoculadas con RPCV, el valor más alto (45 hojas) fue encontrado en las plantas inoculadas con SM, seguido de las plantas inoculadas con AB, al obtener en promedio 38 hojas por plantas. Nuevamente, las plantas sin inoculación microbiana

presentaron los valores más bajos con 24 (TA) y 27 (TF) hojas por planta. El número de hojas encontrado con la cepa SM, al final del experimento, representa 88% más respecto al número de hojas encontrado en las plantas sin inoculación bacteriana (TA, 24 hojas) y 67% más comparado con las plantas fertilizadas (TF, 27 hojas) (Cuadro 1).

El área foliar de las plantas se incrementó en tres de las cuatro cepas inoculadas, siendo estos, estadísticamente diferentes a los demás tratamientos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1). Los resultados mostraron mayor área foliar con 782 cm<sup>2</sup>, en las plantas tratadas con SM, el testigo fertilizado obtuvo menor área foliar con 486 cm<sup>2</sup>. La inoculación con SM produjo 61% más de área foliar comparado con el testigo fertilizado y 36% más respecto al TA quien presentó 574 cm<sup>2</sup>.

El índice de contenido de clorofila (CCI), fue estadísticamente diferente entre los diferentes tratamientos evaluados (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 1). Las plantas tratadas con *Serratia plymuthica* presentaron mayor clorofila con 52 unidades de ICC, el testigo absoluto presentó menos clorofila con 36 unidades ICC. El contenido de clorofila en las plantas con SP representa 44 y 33% más respecto al ICC encontrados en los tratamientos TA (36 ICC) y TF (39 ICC).

La producción de biomasa seca en hojas (BSH), raíz (BSR) y tallo (BST) mostraron diferencias estadísticas significativas por el efecto de la inoculación de RPCV (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Figura 2). El valor más alto en la BSH (8519 mg), BSR (2690 mg) y BST (5594 mg), fue encontrado en las plantas inoculadas con la cepa *Serratia marcescens*; los valores más bajos fueron localizados en los tratamientos TA (3 553, 1 218 y 1 783 mg de BSH, BSR y BST) y TF (3 056, 1 406 y 1 702 mg de BSH, BSR y BST), respectivamente. Los incrementos en la producción de biomasa seca total, encontrada en las plantas con SP (16 803 mg), fueron de 156 y 172% más comparado con la biomasa total encontrada en los tratamientos TA (6 554 mg) y TF (6 164 mg).



**Figura 2. Producción de biomasa seca en hojas, tallo y raíz, en plantas de chile jalapeño según el efecto de diferentes cepas rizobacterianas.** SM= *Serratia marcescens*; SP= *Serratia plymuthica*; SL= *Serratia liquefaciens*; AB= *Arthrobacter* sp., T= testigo. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $n = 8 \pm$  error estándar.

*Serratia marcescens* logro incrementar las variables altura, número de hojas, área foliar y producción de biomasa seca en raíz, hojas y tallos, esta bacteria es un microorganismo ubicuo, capaz de pervivir en múltiples ambientes (Adeolu *et al.*, 2016). Los efectos de esta rizobacteria han sido reportados como promotores del crecimiento vegetal por su efecto antifúngico (Troskie *et al.*,

2014; González *et al.*, 2017) y por mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas, principalmente de *Capsicum annuum* (Amaresan *et al.*, 2012; González *et al.*, 2017; Ahmed *et al.*, 2022). Las cepas de RPCV utilizadas en este trabajo tienen la capacidad de producir auxinas y solubilizar fosfatos, además, tienen la capacidad de inhibir el desarrollo de fitopatógenos como *Fusarium* sp. y *Phytophthora capsici* (González *et al.*, 2017), por lo que sus efectos positivos en el crecimiento pueden estar relacionadas con estos atributos.

En un estudio realizado por Amaresan *et al.* (2012) al inocular diversas especies de RPCV, incluyendo *S. marcescens*, en *Capsicum annuum* cultivado en macetas, encontraron mayor número de raíces primarias y secundarias, mayor altura y mejor producción de biomasa seca; al respecto, *S. marcescens* representó 56 y 43% más altura (19.9 cm) y producción de biomasa seca aérea (0.02 g) comparado con el tratamiento testigo (12.8 cm altura y 0.014 g de biomasa seca), los autores concluyen que esta mejoría en el crecimiento se debe a que esta cepa puede inhibir *Sclerotium rolfsii*, *Colletotrichum capsici*, *Fusarium oxysporum* y *Pythium* sp., además de su capacidad para producir sideróforos, solubilizar fosfatos y producir ácido indolacético.

En otro estudio, al inocular *Bacillus subtilis* en chile pimiento, demostró la inhibición de *Phytophthora capsici*, logrando incrementar la altura (32.02 cm) y la producción de biomasa seca (8.75 g), estas variables se incrementaron en 5 y 13% más comparado con las plantas sin inoculación microbiana quien presentó 30.45 cm de altura y 7.78 g de biomasa seca (Irabor y Mmbaga, 2017). La inoculación de SM en cultivo de avena, en condiciones de macetas, mejoraron 45 y 28% la altura y el peso fresco de plantas (Liu *et al.*, 2015), en la producción de té *Camellia sinensis* se reportaron incrementos de hasta 54% en la producción de biomasa seca (entre 5 y 10 g) cuando se inocularon con SM respecto a las plantas no inoculadas (1.3 y 6.5 g) (Chakraborty *et al.*, 2013).

El número de frutos producidos por plantas fueron relativamente bajos, debido a que el experimento aun se encontraba en proceso y el clima no era favorable para la fructificación, esto debido al frío de invierno, sin embargo, la producción de frutos por plantas y el tamaño de este (largo y ancho) presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 2). El valor más alto se obtuvo con la inoculación de SL, al producir 5.3 frutos por planta, mientras que el testigo absoluto (TA) y el testigo fertilizado (TF) mostraron menor número de frutos, con 2.7 y 2.3, respectivamente.

**Cuadro 2. Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el número de frutos, largo y diámetro del fruto de chile jalapeño.**

Tratamientos	Abreviación	Frutos	Largo de fruto (mm)	Ancho de fruto (mm)
Testigo absoluto	TA	2.7 ( $\pm 0.6$ ) bc	57 ( $\pm 0.9$ ) a	20 ( $\pm 1$ ) b
Testigo fertilizado	TF	2.3 ( $\pm 0.7$ ) c	57 ( $\pm 0.7$ ) a	21 ( $\pm 0.6$ ) ab
<i>Arthrobacter</i> sp.	AB	3.7 ( $\pm 1$ ) b	56 ( $\pm 0.6$ ) a	23 ( $\pm 0.7$ ) ab
<i>Serratia plymuthica</i>	SP	3 ( $\pm 0.5$ ) bc	60 ( $\pm 1.1$ ) a	24 ( $\pm 1.1$ ) a
<i>Serratia liquefaciens</i>	SL	5.3 ( $\pm 1.1$ ) a	62 ( $\pm 1$ ) a	21 ( $\pm 0.8$ ) ab
<i>Serratia marcescens</i>	SM	3 ( $\pm 0.9$ ) bc	59 ( $\pm 1$ ) a	22 ( $\pm 1$ ) ab

Letras diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). n= 8  $\pm$  error estándar.

El tamaño de los frutos varió entre tratamientos, el largo de fruto fue mejor cuando se inoculó las RPCV SL y SP, ambos con 62 y 60 mm de largo, aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas, SL representó un incremento del 9 y 11% en largo de fruto comparado con las plantas del TA (57 mm) y TF (57 mm). El valor más alto, en el ancho de fruto, se encontró en las plantas tratadas con las rizobacterias SP y AB, ambos con 24 y 23 mm, respectivamente, los valores más bajos fueron encontrados en las plantas sin inoculación microbiana con 20 (TA) y 21 mm (TF) (Cuadro 2). El ancho obtenido con SP fue de 20 y 14% más comparado con el ancho de fruto encontrado en el TA y TF.

Inocular a los cultivos con RPCV reduce sustancialmente el uso de fertilizantes sintéticos y los impactos negativos al suelo, incrementa el crecimiento y rendimiento de los cultivos, contribuyendo en la seguridad alimentaria, en la producción sustentable y en el menor riesgo de la salud humana (Odoh, 2017). Los resultados de este trabajo demostraron que la inoculación de RPCV mejoró el crecimiento de la planta de chile, el rendimiento y el tamaño del fruto, por lo que pueden ser utilizados en la producción de plantas, tanto en semillero como en invernadero. Resultados similares, pero con diferentes RPCV fueron encontrados por Gou *et al.* (2020), al inocular *Bacillus* sp. y *Pseudomonas* sp. en *Capsicum annum* reflejaron un incremento de las variables anteriores; Raheem *et al.* (2018) bajo ensayos en macetas con trigo (*Triticum aestivum* L.), encontraron incrementos en el rendimiento del 34% cuando se inocularon con *B. amyloliquefaciens*.

Irabor y Mmbaga (2017) al inocular *Bacillus subtilis* en chile pimiento, encontraron un incremento en el contenido de clorofila y en el número de frutos; el contenido de clorofila reportado (8.96) no presentó diferencias estadísticas; sin embargo, fueron más altos que en las plantas sin inoculación microbiana (7.24), representando incrementos de 24% más el ICC comparado con el testigo. Respecto al número de frutos, fueron mejores las plantas inoculadas (dos frutos), representando un incremento de 166% más respecto al testigo (0.75 frutos).

## Conclusiones

Las rizobacterias *Serratia plymuthica* y *S. marcescens* mejoraron la altura y el número de hojas en plántulas de chile jalapeño en los primeros experimentos (*in vitro* y semillero), en condiciones de macetas bajo invernadero sobresalieron las rizobacterias *S. marcescens* y *S. liquefaciens*, la primera acrecentó el crecimiento de las plantas y la segunda demostró mayor número y tamaño de los frutos, además se observó que *S. plymuthica* indujo mayor tamaño en el ancho de fruto. Estas rizobacterias pueden ser alternativas para implementar su uso como biofertilizantes en cultivos de chile jalapeño.

## Agradecimientos

Los autores(as) agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada a la primera autora, mediante el programa de Maestría en Ciencias en Agricultura Orgánica Sustentable y al Colegio de Posgraduados, en el Laboratorio de microbiología de suelos, por otorgar las cepas de RPCV.

## Literatura citada

- Adeolu, M.; Alnajjar, S.; Naushad, S. and Gupta, R. S. 2016. Genome-based phylogeny and taxonomy of the 'enterobacteriales': proposal for enterobacterales ord. nov. Divided into the families enterobacteriaceae, erwiniaceae fam. Nov. Pectobacteriaceae fam. nov. Yersiniaceae fam. nov. Hafniaceae fam. nov. Morganellaceae fam. Nov. and budviciaceae fam. nov. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 66(12):5575-5599. Doi: 10.1099/ijsem.0.001485.
- Ahmed, H. M.; Gad, S. B.; Sherif, A. G. and Hadidy, E. M. 2022. Efficacy of five biopesticides for the management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting pepper (*Capsicum annum* L.) Plants. Egypt. J. Agronematol. 21(1):23-33. Doi: 10.21608/EJAJ.2022.218707.
- Amaresan, N. Jayakumar, V. Kumar, K. and Thajuddin, N. 2012. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria and their effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) and chili (*Capsicum annum*) seedling growth. Ann. Microbiol. 62(2):805-810. Doi: 10.1007/s13213-011-0321-7.
- Antonio, A. S.; Wiedemann, L. S. M. and Veiga, J. V. F. 2018. The genus *Capsicum*: a phytochemical review of bioactive secondary metabolites. RSC Advances. 8(45):25767-25784. Doi: 10.1039/c8ra02067a.
- Bonaccio, M.; Castelnuovo, D. A.; Costanzo, S.; Ruggiero, E.; Curtis, A.; Persichillo, M.; Tabolacci, C.; Facchiano, F.; Cerletti, C.; Donati, M. B.; Gaetano, G. and Iacoviello, L. 2019. Chili pepper consumption and mortality in Italian adults. J. Am. Coll. Cardiol. 74(25):3139-3149. Doi: 10.1016/j.jacc.2019.09.068.
- Campos, M. R.; Medina, P. G.; Vázquez, N. E.; Afanador, B. L.; Hernández, S. I.; Ahmad, N. G.; González, M. L. and Alkafafy, M. 2022. Nutritional and nutraceutical properties of mexican traditional mole sauce. Molecules. 27(3):966. Doi: 10.3390/molecules27030966.
- Castellanos, J. Z.; Cano, R. P.; García, C. E. M.; Olalde, P. V.; Preciado, R. P.; Ríos, P. J. L. and García, H. J. L. 2017. Hot pepper (*Capsicum annum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. Compost Sci. Util. 25(1):S70-S77. Doi: 10.1080/1065657X.2017.1362673.
- Chauhan, H.; Bagyaraj, D. J.; Selvakumar, G. and Sundaram, S. P. 2015. Novel plant growth promoting rhizobacteria prospects and potential. Appl. Soil Ecol. 95(1):38-53. Doi: 10.1016/j.apsoil.2015.05.011.
- Chakraborty, U.; Chakraborty, B. N.; Chakraborty, A. P.; Sunar, K. and Dey, P. L. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria mediated improvement of health status of tea plants. Indian J. Biotechnol. 12(1):20-31.
- Chamikara, M. D. M.; Dissanayake, D. R. R. P.; Ishan, M. and Sooriyapathirana, S. D. S. S. 2016. Dietary, anticancer and medicinal properties of the phytochemicals in chili pepper (*Capsicum* spp.). Ceylon J. Sci. 45(3):5-20. Doi: 10.4038/cjs.v45i3.7396.
- Dahiya, A.; Chahar, K. and Sindhu, S. S. 2019. The rhizosphere microbiome and biological control of weeds: a review. Span. J. Agric. Res. 17(4): e10R01. Doi: 10.5424/sjar/2019174-15073.
- Espinosa, P. B.; Cano, R. P.; Salas, P. L.; González, R. G.; Reyes, G. A.; Ayala, G. A. V. and Preciado, R. P. 2020. Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annum* L.). Terra Latinoam. 38(4):795-803. Doi: 10.28940/terra.v38i4.605.
- Etesami, H. and Adl, S. M. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and their action mechanisms in availability of nutrients to plants. In: Kumar, M.; Kumar, V. and Prasad, R. (Ed.). Phyto-microbiome in stress regulation. Environ. Microbiol. Biotechnol. Springer, singapore. 147-203 pp. Doi: 10.1007/978-981-15-2576-6-9.

- FAOSTAT, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Galindo, G. G. 2007. El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. *Convergencia Rev. Cienc. Social.* 14(43):137-165.
- García, J. F. A.; Romero, C. P. A. and Reyes, D. A. 2018. Presencia de carotenoides en chile ancho y pasilla (*Capsicum annuum* L.) en muestras de 10 años y recientes. *Polibotánica.* 46(1):259-272. Doi: 10.18387/polibotanica.46.17.
- Gou, J. Y.; Suo, S. Z.; Shao, K. Z.; Zhao, Q. X.; Yao, D.; Li, H. P.; Zhang, J. L. and Rensing, C. 2020. Biofertilizers with beneficial rhizobacteria improved plant growth and yield in chili (*Capsicum annuum* L.). *World J. Microbiol. Biotechnol.* 36(6):1-12. Doi: 10.1007/s11274-020-02863-w.
- González, M. A.; Almaraz, S. J. J.; Ferrera, C. R.; Rodríguez, G. M. P.; Taboada, G. O. R.; Trinidad, S. A.; Alarcón, A. and Arteaga, G. R. I. 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Int. Contam. Amb.* 33(3):463-474. Doi: 10.20937/RICA.2017.33.03.09.
- Hyder, S.; Gondal, A. S.; Rizvi, Z. F.; Atiq, R.; Haider, M. I. S.; Fatima, N. and Inam, U. H. M. 2021. Biological control of chili damping-off disease, caused by *Pythium myriotylum*. *Front. Microbiol.* 12(1):1-21. Doi: 10.3389/fmicb.2021.587431.
- Hernández, H. J.; Tamez, G. P.; Gómez, F. R.; Delgado, G. M. C. E.; García, M. M. S.; Robles, H. L. and Infante, R. R. 2021. Prevalence of *Xanthomonas euvesicatoria* (formally *X. perforans*) associated with bacterial spot severity in *Capsicum annuum* crops in South Central Chihuahua, Mexico. *PeerJ.* 9(1):e10913. Doi: 10.7717/peerj.10913.
- Irabor, A. and Mmbaga, M. T. 2017. Evaluation of selected bacterial endophytes for biocontrol potential against *Phytophthora blight* of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Plant Pathol. Microbiol.* 8(10):1-7. Doi: 10.4172/2157-7471.1000424.
- Liu, J. L.; Xie, B. M.; Shi, X. H.; Ma, J. M. and Guo, C. H. 2015. Effects of two plant growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase on oat growth in petroleum-contaminated soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12:3887-3894. Doi: 10.1007/s13762-015-0798-x.
- Medina, H.; González, C. L.; Olán, V. R. G.; Acosta, G. G.; Flores, M. N. L. and Bernardino, N. A. 2022. Modification of the nutraceutical characteristics of jalapeño chili peppers in response to hormones. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 21(2):Alim2719. Doi: 10.24275/rmiq/Alim2719.
- Morra, L. and Bilotto, M. 2015. Evaluation of new rootstocks for resistance to soil-borne pathogens and productive behavior of pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 81(3):518-524. Doi: 10.1080/14620316.2006.11512097.
- Odoh, C. K. 2017. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a bioprotectant bioinoculant for sustainable agrobiolgy. A review. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 4(5):123-142. Doi: 10.22192/ijarbs.2017.04.05.014.
- Parvez, G. M. M. 2017. Current advances in pharmacological activity and toxic effects of various *Capsicum* species. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 8(5):1900-1912. Doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.8(5).1900-12.
- Pérez, V. R.; Morales, J. J.; López, S. H. y Ayala, G. A. V. 2017. Intención de compra del consumidor organizacional de chile regional en el estado de Puebla, México. *Agric. Soc. Des.* 14(4):599-615. Doi:10.22231/asyd.v14i4.698.
- Quiroz, S. V. F.; Almaraz, S. J. J.; Sánchez, V. G.; Argumedo, D. R. and González, M. A. 2019. Biofertilizantes de rizobacterias en el crecimiento de plántulas de chile Poblano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(8):1733-1745.

- Raheem, A.; Shaposhnikov, A.; Belimov, A. A.; Dodd, I. C. and Ali, B. 2018. Auxin production by rhizobacteria was associated with improved yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. Arch. Agron. Soil Sci. 64(4):574-587. Doi: 10.1080/03650340.2017.1362105.
- Sánchez-Toledano, B. I.; Cuevas-Reyes, V.; Kallas, Z. and Zegbe, J. A. 2021. Preferences in 'jalapeño' pepper attributes: a choice study in Mexico. Foods. 10(12):1-12. Doi: 10.3390/foods10123111.
- SIAP-SAGARPA. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON-NG) 1980-2018. México, DF. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Troskie, A. M.; Beer, A.; Vosloo, J. A.; Jacobs, K. and Rautenbach, M. 2014. Inhibition of agronomically relevant fungal phytopathogens by tyrocidines, cyclic antimicrobial peptides isolated from *Bacillus aneurinolyticus*. Microbiology. 160(9):2089-2101. Doi: 10.1099/mic.0.078840-0.
- Yadav, B. K.; Akhtar, M. and Panwar, J. 2015. Rhizospheric plant-microbe interactions: key factors to soil fertility and plant nutrition. In: Arora, N. (Ed.). Plant microbes' symbiosis: applied facets. Springer, New Delhi. 127-145 pp. Doi: 10.1007/978-81-322-2068-8-6.