

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

***Streptomyces* spp. – supresora de *Phytophthora capsici* y promotora de crecimiento de chile tipo poblano**

***Streptomyces* spp. as a suppressant to *Phytophthora capsici* and plant growth promoter in poblano pepper**

Authors/Autores: Sánchez-García, B.M., Juárez-Navarro, A.A., González-Chavira, M.M., Mora-Avilés, M.A.

ID: e2082

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2082>

Received/Fecha de recepción: October 13<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: May 20<sup>th</sup> 2026

Available online/Fecha de publicación: June 04<sup>th</sup> 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Sánchez-García, B.M., Juárez-Navarro, A.A., González-Chavira, M.M., Mora-Avilés, M.A. (2026). *Streptomyces* spp. as a suppressant to *Phytophthora capsici* and plant growth promoter in poblano pepper. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2082. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2082>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

## ***Streptomyces* spp. – supresora de *Phytophthora capsici* y promotora de crecimiento de chile tipo poblano**

## ***Streptomyces* spp. as a suppressant to *Phytophthora capsici* And plant growth promoter in poblano pepper**

***Streptomyces* como agente de biocontrol y crecimiento en chile /**

***Streptomyces* as biocontrol agent and growth promoter.**

Sánchez-García, B.M.<sup>1</sup> (0009-0000-4714-5723<sup>id</sup>), Juárez-Navarro, A.A.<sup>2</sup> (0009-0006-4974-5654<sup>id</sup>), González-Chavira, M.M.<sup>1</sup> (0000-0002-2726-0625<sup>id</sup>), Mora-Avilés, M.A.<sup>1\*</sup> (0000-0001-7153-6214<sup>id</sup>)

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Km. 6.5 Carr. Celaya-San Miguel de Allende s/n; C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México.

<sup>2</sup>Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Celaya, Guanajuato México.

### **\*Autor de correspondencia:**

María Alejandra Mora-Avilés. Unidad de Biotecnología, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 6.5 Carr. Celaya-San Miguel de Allende s/n, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. Teléfono: +52 5538718700 Ext. 85246 E-mail [mora.alejandra@inifap.gob.mx](mailto:mora.alejandra@inifap.gob.mx)

### **RESUMEN**

El cultivo de chile poblano enfrenta problemas fitosanitarios como la enfermedad conocida como marchitez del chile causada entre otros por el oomiceto *Phytophthora capsici*. *Streptomyces* spp. pertenecientes a la familia de los actinomicetos, tienen mecanismos múltiples de control de fitopatógenos, como la producción de metabolitos secundarios de tipo antibiótico y de enzimas líticas, aunado a la inducción de crecimiento y biomasa vegetal; por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antagónica de dos cepas de actinomicetos, *Streptomyces lasiicapitis* (B22) y *Streptomyces neyagawaensis* (B31) contra *Phytophthora capsici* (Pc2) y el efecto promotor de crecimiento en plantas de chile poblano variedad Ancho San Luis, bajo condiciones de invernadero. Las plantas inoculadas con B22+Pc2 mostraron una reducción de severidad de la enfermedad en el área foliar y en la raíz del 63 % y 21.8 % respectivamente, en comparación con las plantas del grupo control positivo. La cantidad de inóculo de *P. capsici* en suelo respecto al control positivo fue suprimida un 65 % en plantas con B22+Pc2. Las cepas de *Streptomyces* spp. tanto en manera individual como en combinación promovieron precocidad en las etapas fenológicas (entre 20 y 25

días). El número, diámetro, longitud y peso fresco de los frutos aumentaron en comparación con los frutos testigo.

**PALABRAS CLAVE:** *Capsicum annuum* L., actinobacterias, promoción de crecimiento, protección contra enfermedades, severidad.

## ABSTRACT

The poblano peppers cultivation faces phytosanitary challenges, including pepper wilt caused by the oomycete *Phytophthora capsici*. *Streptomyces* spp. belong to the actinomycete family and have multiple mechanisms for controlling phytopathogens, such as producing secondary metabolites and lytic enzymes, along with promoting plant growth and biomass. The objective of this study was to evaluate the antagonistic activity of two strains of actinomycetes, *Streptomyces lasiicapitis* (B22) and *S. neyagawaensis* (B31), against *P. capsici* (Pc2), as well as their growth-promoting effects on poblano pepper plants of the Ancho San Luis variety. Plants inoculated with B22+Pc2 showed 63% and 21.8 % less disease severity in the leaf area and roots, respectively, compared to control plants. The amount of *P. capsici* inoculum in the soil was reduced by 65 % in plants treated with B22+Pc2 relative to the positive control. *Streptomyces* spp. strains, both alone and in combination, promoted earlier development in the initial phenological stages (between 20 and 25 days). The number, diameter, length, and weight of the fruits increased compared to the fruits from the positive and negative controls.

**KEY WORDS:** *Capsicum annuum* L., actinobacteria, growth promotion, disease protection, severity.

## Introducción

En 2023 se produjeron 38.3 millones de toneladas de chile (*Capsicum annuum* L.) en el mundo, de los cuales China produjo el 44.6 % del total. México es el segundo productor (3 681 061.5 ton) y principal exportador de chile a nivel mundial (FAOSTAT, 2025). La producción de chile verde a nivel nacional; en 2024 fue de 3 220 428.46 toneladas, provenientes de 157 221.6 hectáreas sembradas, generando 2.1 millones de dólares; sin embargo, de la superficie de chile sembrada en México en 2024, se siniestraron 490.6 ha por factores abióticos como temperatura, humedad, sequías, pH; y factores bióticos como insectos fitófagos, virus, bacterias, hongos, nematodos y oomicetos como *P. capsici*, causando pérdida de rendimiento de 26 a 90 % (SIAP, 2025; Albañil-Juárez *et al.*, 2018). En este sentido, cada año, se pierde hasta el 40 % de la producción global de cultivos debido a insectos plaga y enfermedades; estos daños representan pérdidas superiores a los 300 mil millones de dólares (FAO, 2024).

El oomiceto *Phytophthora capsici*, es un factor biótico que afecta al cultivo del chile causando la enfermedad llamada marchitez del chile. Este patógeno infecta tallos, raíces, frutos y hojas en todas las etapas de crecimiento de la planta de chile y puede originar la pérdida total del cultivo, especialmente cuando infecta a raíces, causando pudrición y muerte de plántulas en un plazo de cinco días posteriores a la infección (Hernández-Hernández *et al.*, 2022; Kaur *et al.*, 2024).

La aplicación de fungicidas químicos, junto con la rotación de cultivos y resistencia genética en algunas variedades, son algunos de los métodos de control más utilizados; sin embargo, su eficiencia en la supresión de este patógeno es limitada, particularmente por el desarrollo de resistencia por este patógeno a los fungicidas utilizados, lo cual representa desafíos y riesgos adicionales (Wu *et al.*, 2020). Por lo anterior, el uso de estrategias de control más eficientes y medioambientalmente sostenibles como los agentes de biocontrol, han sido propuestos como parte de una estrategia de manejo integrado de enfermedades (Hashemi *et al.*, 2022)

En la actualidad, el uso de microorganismos antagonistas se ha considerado como alternativa de control biológico. En este grupo se encuentran las actinobacterias que producen compuestos como enzimas líticas y metabolitos antimicrobianos que inhiben la germinación o suprimen el crecimiento de algunos fitopatógenos (Rodríguez-Guerra *et al.*, 2019; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021). Las actinobacterias, principalmente del género *Streptomyces* desempeñan un papel importante en la rizósfera vegetal al secretar una amplia gama de sustancias antimicrobianas (Devi *et al.*, 2022). *Streptomyces* spp. se caracterizan por producir diversos mecanismos de acción, como la producción de metabolitos del tipo antibiótico, lisis en la pared celular de diversos hongos y oomicetos, la competencia por espacio y nutrientes, y el parasitismo (Trinidad-Cruz *et al.*, 2021; Devi *et al.*, 2022). Se ha reportado que especies de *Streptomyces* han resaltado por tener un amplio espectro de acción por su capacidad de inhibir diferentes géneros de hongos y oomicetos fitopatógenos (Reyes-Tena *et al.*, 2015). A la fecha, los estudios sobre *Streptomyces* spp. se han centrado principalmente en la identificación y utilización de antibióticos con efectos inhibidores sobre fitopatógenos, entre ellos, la kasugamicina, estreptomycin, wuyiencina, estreptotricinas y la polioxina (Lu *et al.*, 2024). Aunado a lo anterior, *Streptomyces* spp. han sido caracterizadas por su capacidad para estimular el crecimiento vegetal, ya sea de forma directa o indirecta. Estudios mencionan que *Streptomyces* spp. desarrolla asociaciones simbióticas con las plantas, colonizando tejidos internos sin ocasionar síntomas de enfermedad, produciendo hormonas como el ácido giberélico y el ácido indol-3-acético (IAA) (Devi *et al.*, 2022), dichas hormonas al promover el crecimiento de la planta, promueven un incremento de biomasa, al mismo tiempo que se reducen los efectos de estreses abióticos y enfermedades (Al-Tammar y Khalifa, 2023; Le *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la capacidad supresora de las cepas *S. lasiicapitis* y *S. neyagawaensis*, sobre *P. capsici*; y caracterizar su potencial efecto en la promoción de crecimiento y desarrollo de plantas de chile poblano, en condiciones de invernadero.

## Material y Métodos

### Material biológico

Se emplearon dos cepas de *Streptomyces* previamente caracterizadas molecular y morfológicamente, así como por su capacidad antagonista, las cuales fueron identificadas como *Streptomyces lasiicapitis* (B22) (NCBI ON361556) y *S. neyagawaensis* (B31) (NCBI OL619256) (Sánchez-García *et al.*, 2022). Como agente patógeno se empleó *Phytophthora capsici* (Pc2) identificado por sus características morfológicas de acuerdo con las claves de Erwin y Ribeiro (1996), aislado de raíces de plantas de Chile tipo "chilaca" que mostraron síntomas de pudrición radicular.

### Producción de inóculo de *Streptomyces* spp.

Las cepas de *Streptomyces* fueron cultivadas en medio SNA (Spezieller Nährstoffmarmor Agar, por sus siglas en inglés) modificado (Nirenberg, 1976), bajo condiciones de incubación controlada (agitación orbital a 130 rpm, 27 °C) por 26 días. La concentración de unidades formadoras de colonia (CFU) fue estimada en una cámara de Neubauer utilizando un microscopio óptico (Leica®). La concentración de aplicación fue ajustada a  $1 \times 10^8$  CFU mL<sup>-1</sup> (Sánchez-García *et al.*, 2019; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021).

### Producción de zoosporas de *Phytophthora capsici* Pc2

Fragmentos del aislado Pc2 cultivadas en medio V-8 solidificado, fueron transferidos a una caja de Petri 90 × 15 mm con 15 mL de agua destilada estéril, y se mantuvieron a 27 °C durante 72 h para promover la producción de esporangios (Ristiano, 1990). Posteriormente, las cajas de Petri se incubaron a 4 °C por 60 min e inmediatamente después, a 27 °C por 30 min para inducir la liberación de zoosporas. La concentración de zoosporas se determinó de la misma forma que las cepas de *Streptomyces* y se ajustó a  $1 \times 10^6$  zoosporas mL<sup>-1</sup>.

### Material vegetal

Semillas de Chile poblano, variedad ancho San Luis, se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % (v/v) por 2 min y se enjuagaron con agua destilada estéril. Las semillas se colocaron en charolas de germinación con una combinación uniforme de musgo de turba, *Sphagnum canadiense*, perlita y vermiculita (Sunshine®), fueron regadas diariamente a capacidad de campo y mantenidas bajo condiciones de invernadero a una temperatura promedio de 28.8 °C y humedad relativa promedio de 47.8 %. Plántulas con 15 cm de altura o con 9 a 12 hojas verdaderas se transfirieron a macetas de 432 cm<sup>3</sup> con el mismo tipo de sustrato y humedad a capacidad de campo. Posterior al trasplante se inició la fertilización, con aplicaciones semanales de 1 gL<sup>-1</sup> de solución nutritiva compuesta de 10-8-18 de N, P, K, respectivamente, en un volumen de 50 mL por planta.

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El experimento consistió en siete tratamientos: 1) plantas inoculadas con *P. capsici* y *S. lasiicapitis* (B22 + Pc2); 2) plantas inoculadas con *P. capsici* y *S. neyagawaensis* (Pc2 + B31); 3) plantas inoculadas con *P. capsici*, *S. lasiicapitis* y *S. neyagawaensis* (B22 + B31 + Pc2); 4) plantas sin inocular, únicamente regadas con agua (Ctrl- (testigo negativo)); 5) plantas inoculadas con *P. capsici* (Ctrl+ (testigo positivo)), 6) Plantas inoculadas con *S. lasiicapitis* (B22) y 7) plantas inoculadas con *S. neyagawaensis* (B31). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 14 plantas por repetición, con un total de 42 plantas por tratamiento. Las variables de respuesta para la determinación de la capacidad supresora de *Streptomyces* spp. sobre Pc2 fueron: severidad de la enfermedad en área foliar y raíz, así como unidades formadoras de colonias de Pc2 en suelo. Por su parte, las variables asociadas a promoción de crecimiento fueron: tiempo entre etapas fenológicas, altura de planta, longitud de raíz, frutos cosechados, diámetro central, longitud y peso fresco del fruto. Los valores de las variables de respuesta fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de separación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), mediante el paquete estadístico (Minitab LLC, 2020).

### **Inoculación de plantas de chile con *Streptomyces* spp.**

Al momento del trasplante, las plantas de los tratamientos con aplicación de *Streptomyces* se inocularon con 10 mL de una solución de  $1 \times 10^8$  CFU mL<sup>-1</sup> de cada cepa de *Streptomyces* (cepas B22 y B31) o su combinación. La inoculación se hizo en la base del tallo utilizando una jeringa estéril (Sánchez-García *et al.*, 2019; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021). A las plantas de los grupos testigo inoculadas únicamente con *P. capsici* (Ctrl+) o sin ningún microorganismo (Ctrl-) se les aplicaron 10 mL de agua destilada.

### **Coinoculación de plantas de chile con *Streptomyces* spp. y *Phytophthora capsici***

Transcurridas cuatro semanas del trasplante y la inoculación con *Streptomyces* spp., las plantas fueron inoculadas con 6 mL de una suspensión de *P. capsici* a una concentración de  $1 \times 10^6$  zoosporas mL<sup>-1</sup> (Bowers, 1990; Kim *et al.*, 1997). Asimismo, se hizo una segunda aplicación a nivel de cuello de cada planta de chile, de las cepas de *Streptomyces* (B22, B31 y B22+B31) con el mismo volumen (10 mL a  $1 \times 10^8$  CFU mL<sup>-1</sup>) de acuerdo a cada tratamiento. A las plantas del tratamiento testigo negativo (Ctrl-) se les aplicó 10 mL de agua destilada. A partir de esta coinoculación, se realizaron aplicaciones semanales a las plantas pertenecientes a los tratamientos con *Streptomyces* (B22, B31, B22+B31), en un total de 12 aplicaciones durante el ensayo.

## **Evaluación de la incidencia de la enfermedad en plantas de chile**

### **Análisis de suelo de plantas de chile**

Previo a cada aplicación semanal de *Streptomyces* spp., se realizó un muestreo de suelo en los tratamientos con *P. capsici* para monitorear la cantidad de CFU de este patógeno. Cada muestra de suelo se tomó de dos plantas por tratamiento, seleccionadas al azar, a una profundidad de 5 cm de las cuatro esquinas y centro de la maceta. Un gramo de suelo homogenizado de los 5 puntos de colecta por planta, y previamente secado a temperatura ambiente, se transfirió a un tubo cónico de 15 mL que contenía 9 mL de agua destilada estéril; la mezcla se agitó con vortex y de la solución resultante se realizaron diluciones sucesivas hasta  $1 \times 10^{-3}$ . A partir de la dilución final, 1000  $\mu$ L se distribuyeron en cuatro cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) al 25 % (10 g de PDA y 16 g de agar bacteriológico), con la ayuda de un asa de siembra triangular Drigalski. Las cajas de Petri se incubaron a temperatura ambiente ( $\pm 24$  °C) por 48 h. Posteriormente, las cajas de Petri se marcaron con 25 puntos que sirvieron de campos de visión representando el 4 % de la totalidad de la caja de Petri (Sánchez-García y Rodríguez Guerra; Com. Pers. 2023) y se contabilizaron las colonias de *P. capsici* observadas en los 25 puntos de cada caja, se promediaron los valores obtenidos de las dos plantas analizadas por tratamiento. Finalmente se determinó las CFU por gramo de suelo utilizando la fórmula [CFU  $g^{-1}$  = (número de colonias / volumen sembrado)  $\times$  factor de dilución] (Corral-Lugo *et al.*, 2012).

### **Evaluación de la severidad de la enfermedad en área foliar y raíz**

Las plantas inoculadas con Pc2 fueron evaluadas semanalmente para determinar el grado de severidad de la enfermedad, durante 13 semanas consecutivas hasta la madurez comercial; la evaluación finalizó cuando la unidad en evaluación sucumbió a la enfermedad. Se utilizó una versión modificada de la escala semicuantitativa de Sunwoo *et al.* (1996), donde: 0 = plantas sin síntomas visibles de la enfermedad (0 %); 0.5 = plantas con hojas ligeramente marchitas o lesiones marrones en los tallos (10-15 %); 1 = plantas con hojas ligeramente marchitas con lesiones marrones que comienzan a aparecer en los tallos (16-30 %); 2 = 30-50 % de toda la planta enferma; 3 = 50-70 % de toda la planta enferma; 4 = 70-90 % de toda la planta enferma; 5 = planta muerta (100 %). Se obtuvo un valor semanal resultado de promediar los valores asignados a cada planta por tratamiento.

El grado de severidad de la enfermedad en raíz fue determinado también en la etapa de madurez comercial cuando la mayoría de las plantas ya habían terminado el proceso de maduración de fruto. La raíz desnuda fue enjuagada con agua corriente para retirar residuos de sustrato y observar los posibles síntomas ocasionados por el patógeno; empleando la escala semicuantitativa de Sunwoo *et al.* (1996) modificada, donde: 0 = sin lesiones (0 %), 1 = sutil cambio de color (10-30 %), 2 = inicio de adelgazamiento, atrofia y necrosis de raíces (30-50 %), 3 = necrosis y atrofia parcial de raíces

(50-70 %); 4 = necrosis parcial y atrofia total de raíces (70-90 %) y 5 = necrosis total y atrofia de raíces (100 %).

### **Evaluación de crecimiento y desarrollo en plantas de Chile**

A lo largo del ensayo se registró la transición entre las etapas fenológicas de las plantas de Chile determinada por el 50% de las plantas en prefloración, floración, madurez fisiológica y madurez comercial de las plantas tratadas con *Streptomyces* spp. en comparación con los tratamientos testigo. Se realizó un único registro de las variables altura de planta, longitud de raíz, número, tamaño y peso fresco del fruto, en la etapa de madurez comercial del total de las plantas por tratamiento (semana 11-13).

### **Resultados y Discusión**

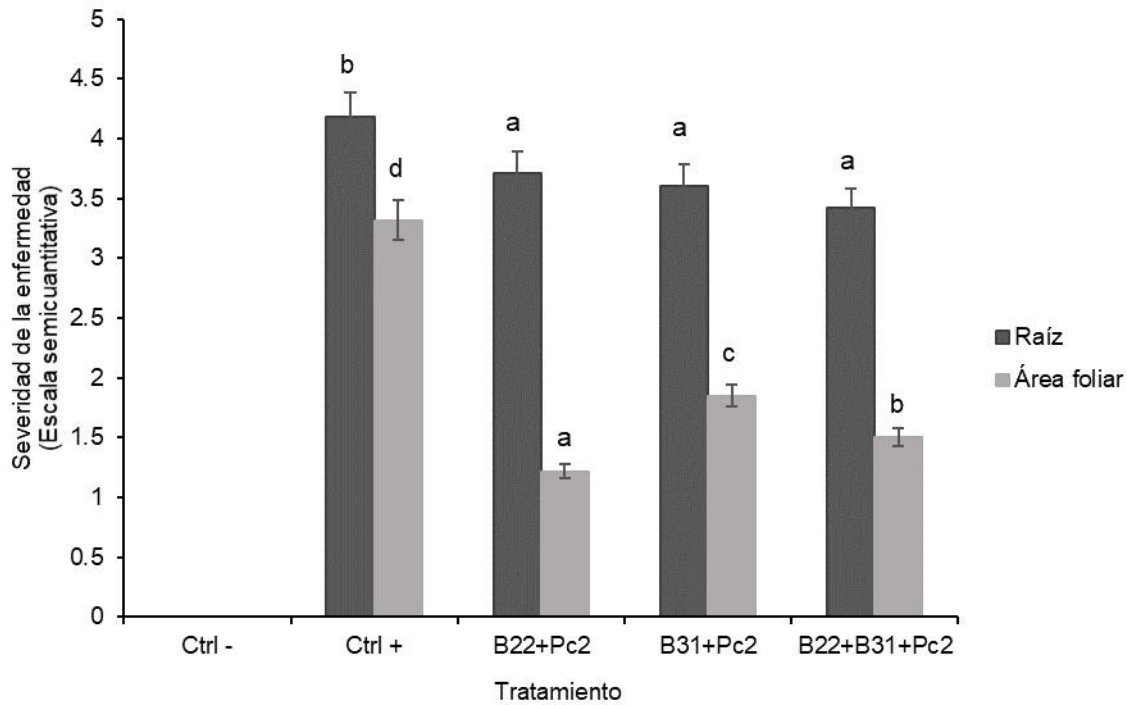
#### **Actividad supresora de *Streptomyces* spp. contra *Phytophthora capsici* en plantas de Chile**

La determinación de la severidad en el área foliar se realizó en la fase final de llenado de fruto y se observó que las plantas tratadas con *Streptomyces* spp. mostraron hojas ligeramente marchitas con lesiones incipientes en los tallos y entre 24 % y 36 % del área foliar de la planta enferma por *P. capsici*, es decir valores entre 1 y 2 de acuerdo a la escala semicuantitativa de Sunwoo *et al.* (1996), mientras que las plantas Ctrl+ mostraron un valor promedio de 66.42 % de daño de toda la planta enferma, equivalente a un valor de 3 de la misma escala semicuantitativa. Se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ) entre cepas de *Streptomyces* y el control en la etapa de madurez comercial de las plantas en eficacia de biocontrol, destacando B22, seguida por B22+B31 y, finalmente, B31; no se observaron efectos aditivos ni sinérgicos dentro del grupo inoculado con la combinación de las cepas B22 y B31 de *Streptomyces* ( $p \leq 0.055$ ) (Figura 1). La severidad observada en este estudio es comparable a lo obtenido por López-Reyes *et al.* (2024) en plantas de pimiento, quienes reportaron que la cepa PR69 de *Streptomyces* sp. exhibió una reducción significativa de la incidencia de infección (47.37 %) por *P. capsici*, comparada con las plantas tratadas únicamente con el patógeno. En otros bioensayos en plantas de jengibre inoculadas con *P. myriotylum*, la aplicación de *S. rochei* JK1 redujo significativamente la severidad de la enfermedad (90 %) y en plantas de soya inoculadas con *P. sojae*, la eficacia del biocontrol de *S. rochei* JK1 fue de 92.5 % (Zhou *et al.*, 2024). En tanto Chen *et al.* (2016) demostraron que el medio de cultivo de *S. plicatus* B4-7 redujo la pudrición de la raíz en plantas de pimiento en un 75 % al ser aplicado después de la inoculación con *P. capsici*. Ahora bien, los porcentajes de reducción de síntomas hasta ahora reportados también presentan variaciones, como lo observaron Abbasi *et al.* (2020), en plantas de pimiento tratadas con *S. rochei* IT20 y *S. vinaceusdrappus* SS14, con 40 % y 60 % respectivamente, en reducción de síntomas causados por *P. capsici*. Lo anterior coincide con la variabilidad del efecto inhibitor

mostrado por las cepas B22 y B31 de *Streptomyces*, estas mostraron una reducción de severidad de 63 % y 44 % respectivamente, en plantas de chile poblano causada por Pc2, y que este diferencial de protección es debido a los mecanismos antagonistas de estas cepas caracterizadas por producir celulasas y quitinasas (datos no publicados).

Es de hacer notar que el tiempo de aparición de los primeros síntomas de la enfermedad de la marchitez por *P. capsici* del área foliar en los tratamientos B22+Pc2 y B31+Pc2 ocurrió cuatro semanas después de la inoculación con Pc2, en comparación con las plantas del Ctrl+, que mostraron síntomas dos semanas después de la inoculación. De acuerdo con Quispe-Quispe *et al.* (2022), indican que una vez que el patógeno ingresa a la planta, ya sea a través de heridas o aberturas naturales, los primeros síntomas aparecen a partir de los 5 o 7 días después de la infección; sin embargo, el mayor grado de severidad de la enfermedad se observa a los 21 días después de la inoculación con el patógeno (Abbasi *et al.*, 2020); por lo que la evidencia de síntomas en las plantas de los tratamientos B22+Pc2 y B31+Pc2 dos semanas después que en las plantas que conformaron el Ctrl+, se atribuye a la inhibición de la germinación de zoosporas y el crecimiento micelial del patógeno por parte de *Streptomyces* spp. como agentes de biocontrol.

Por otra parte, la evaluación de severidad de raíz en plantas de chile mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.002$ ) entre los tratamientos con *Streptomyces* spp. con porcentajes de severidad entre 58.5 % y 72 %, es decir, necrosis y atrofia parcial a total en el tejido radicular. Se observó diferencia entre los tratamientos con *Streptomyces* spp. y el Ctrl+ ( $p \leq 0.05$ ), donde este último mostró una severidad de 83.7 %, asociada a necrosis parcial y atrofia total de raíces, lo que establece una diferencia en favor de las plantas tratadas con *Streptomyces* spp. con respecto al Ctrl+, de 21.8 % (Figura 1). El efecto de las diferencias de severidad entre el área foliar y raíz radica en que, por un lado, Pc2 es un patógeno que actúa en la rizósfera y el efecto en el área foliar es consecuencia del nivel de inóculo en el suelo. Aunado a lo anterior, la menor severidad en el área foliar está asociada a la actividad antagonista de *Streptomyces* spp.

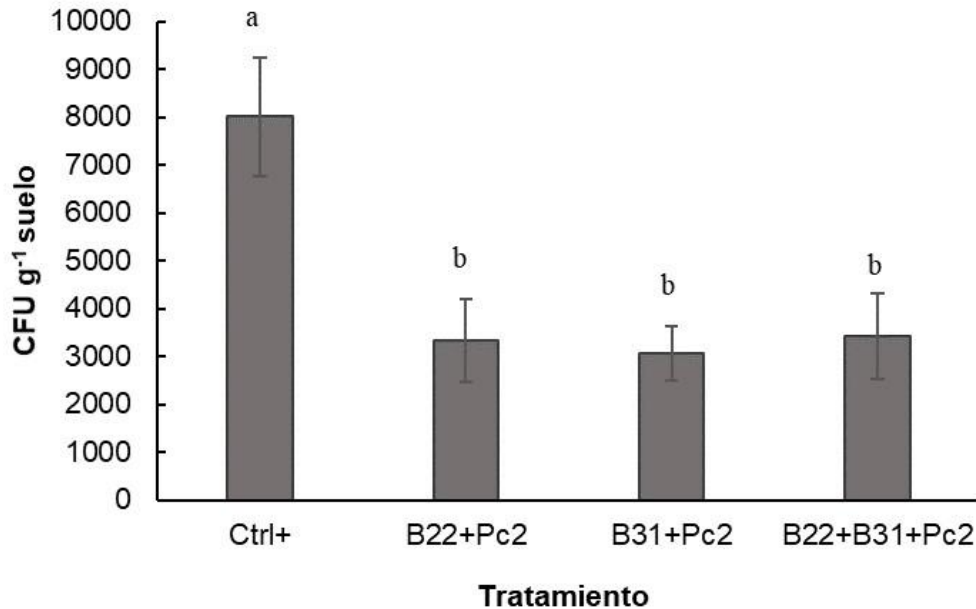


**Figura 1. Evaluación semicuantitativa de la severidad de *P. capsici* en el área foliar y la raíz de plantas de Chile (Sunwoo *et al.*, 1996). Los valores corresponden a la etapa de llenado de fruto (semana 11). B22, *S. lasiocapitis*; B31, *S. neyagawaensis* y Pc2, *Phytophthora capsici*. Las barras representan los valores promedio  $\pm$  el error estándar; el nivel de significancia para el ANDEVA y prueba Tukey fue de  $p \leq 0.05$ . Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.**

#### **Cuantificación de CFU de *Phytophthora capsici* en suelo**

La cantidad promedio de inóculo de *P. capsici* (CFU de Pc2 por gramo de suelo) mostró una diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.001$ ) entre el grupo de tratamientos con *Streptomyces* spp. y el Ctrl+, durante los 11 muestreos semanales realizados. Los porcentajes de supresión de inóculo respecto al testigo positivo Ctrl+, fueron de 61.7 % (B31+Pc2), 58.3% (B22+Pc2) y 57.5 % (B31+B22+Pc2) sugiriendo una actividad oomicetostática (Figura 2), la cual, está relacionada con la disminución de severidad, en proporción similar al daño en área foliar (Figura 1). La reducción del inóculo Pc2 fue directamente proporcional con su baja capacidad de germinación en presencia de *Streptomyces*; en este sentido, Ley-López *et al.* (2018) en bioensayos *in vitro* de inhibición germinativa de *P. capsici* mediante el uso de filtrados de *Bacillus* spp., reportaron supresión de la germinación desde 24.3 % con *B. amyloliquefaciens* hasta 49.35 % con *B. thuringiensis*. Filtrados de

*S. plicatus* lograron suprimir en un 75 % el crecimiento micelial de *P. cinnamomi*, *P. palmivora*, *P. parasítica* y *P. capsici* (Chen *et al.*, 2016).



**Figura 2.** Contenido promedio de unidades formadoras de colonias (CFU) del inóculo *P. capsici* presente en suelo con plantas de chile durante 11 semanas de bioensayo. B22, *S. lasiicapitis*; B31, *S. neyagawaensis* y Pc2, *Phytophthora capsici*. Las barras representan los valores promedio ± el error estándar; el nivel de significancia para el ANDEVA y prueba Tukey fue de  $p \leq 0.05$ . Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.

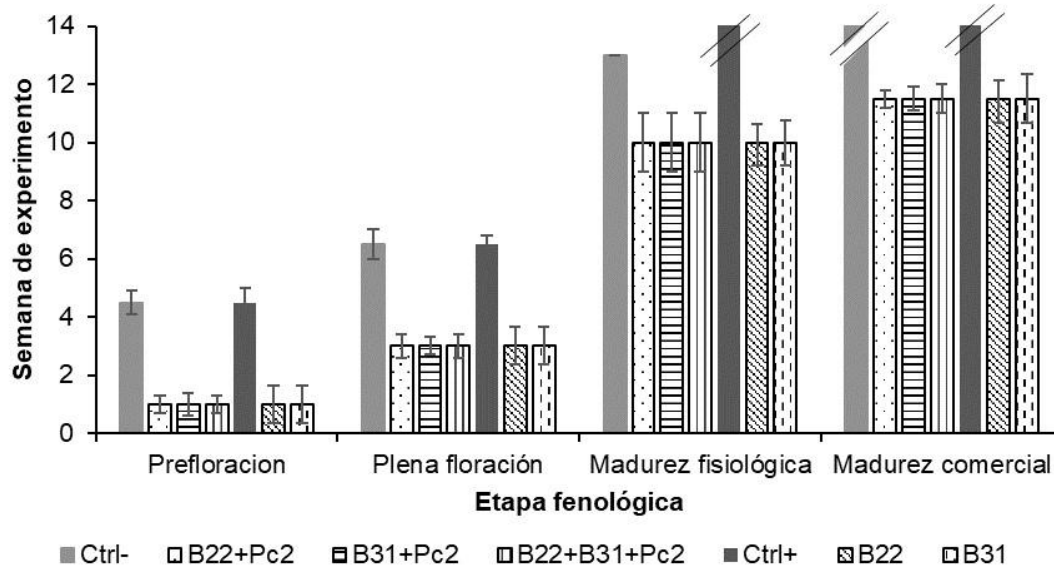
### Evaluación de la promoción de crecimiento y desarrollo por aplicación de *Streptomyces* spp.

#### Etapas fenológicas de plantas de chile poblano

El registro del tiempo transcurrido entre etapas fenológicas indicó una diferencia en los días que les tomó a las plantas de los tratamientos control (negativo y positivo), con respecto a las plantas tratadas con *Streptomyces* spp, realizar la transición en cada etapa. A partir de la etapa de prefloración, los grupos de plantas inoculadas con *Streptomyces* spp. (con y sin *P. capsici*) mostraron precocidad de 3.5 semanas en promedio con respecto a las plantas control, por lo que alcanzaron su madurez fisiológica y comercial en las semanas 10 y 11, respectivamente (Figura 3).

Los resultados de la precocidad observada en plantas tratadas con las cepas de *Streptomyces* son comparables con lo obtenido por Yanti *et al.* (2023) quienes documentaron que la aplicación de cepas de actinobacterias como *S. pseudogriseolus* cepa ARAC 2211 a plantas de chile indujo la

floración temprana hasta 11 días antes que en las plantas no inoculadas con *Colletotrichum capsici* y nueve días con las plantas del grupo control negativo (con inóculo). Lo anterior se atribuye a la producción de fitohormonas por *Streptomyces* spp. cuando ocurren interacciones simbióticas, entre las que resaltan las auxinas como el IAA que estimula el crecimiento de las plantas al promover la división celular y elongación, y las giberelinas, las cuales están involucradas en procesos de iniciación de la floración (Alcantara-Cortes *et al.*, 2019; Yanti *et al.*, 2023).



**Figura 3. Tiempo transcurrido entre etapas fenológicas de plantas de chile poblano inoculado con *S. lasiicapitis* (B22), *S. neyagawaensis* (B31) o una combinación de ellas, en presencia y ausencia de *P. capsici* (Pc2). Ctrl+ plantas inoculadas con Pc2; Ctrl- Plantas sin inóculo. Las barras representan el error estándar. Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales.**

#### Altura de planta y longitud de raíces

Los datos de altura de planta fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.001$ ) entre los tratamientos (Cuadro 1). Las plantas de chile tratadas únicamente con *Streptomyces* spp. (B22 y B31) mostraron valores de altura sin diferencias significativas con respecto a las plantas control (Ctrl+ y Ctrl-); mientras que los tratamientos con *Streptomyces* spp. y *P. capsici* (B22+Pc2, B31+Pc2 y B22+B31+Pc2) tuvieron valores inferiores al resto de los tratamientos; sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango de altura promedio reportada por Toledo-Aguilar *et al.* (2011), donde el valor máximo bajo condiciones de invernadero fue de 56.8 cm. En bioensayos preliminares realizados por nuestro grupo de trabajo, se evidenció un incremento de longitud de tallo en presencia

de *Streptomyces* spp. sin patógenos, lo que sugiere una interacción distinta en presencia de patógenos. Ensayos similares presentados por Leos-Escobedo *et al.* (2022) indican alturas similares en cultivares de chile donde se evaluaron consorcios de seis cepas de *Rhizopagus intraradices* y cuatro cepas de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal entre ellas, dos cepas del género *Pseudomonas*: *P. lini* y *P. fluorescens*, además de *Acinetobacter guillouiae* y *Aeromona caviae*, todas en presencia de *P. capsici*. Por lo anterior, la presencia de las cepas de *Streptomyces* seleccionadas para este estudio no proporcionó alguna ventaja en términos de elongación de tallo en las plantas de chile poblano evaluadas.

Al contrastar la longitud de raíz de las plantas tratadas con *Streptomyces* spp. y las plantas Ctrl- se observaron diferencias no significativas, concluyendo que no hubo un efecto de promoción de crecimiento de raíz por *Streptomyces* spp. (Cuadro 1). Sin embargo, el Ctrl+ sí vio reducida la longitud de raíz de manera significativa, coincidiendo con los datos de severidad. Esto contrasta con reportes previos donde se destaca la inducción de crecimiento de raíces por *Streptomyces* spp. en pepino (Mun *et al.*, 2020), así como en chile, al observar raíces inoculadas con la cepa SSD49 de *Streptomyces* sp., un 16.98 % más largas que el grupo control (Tian *et al.*, 2019); al igual que en plántulas de *Glycyrrhiza uralensis* inoculadas con *Streptomyces dioscori* SF1SF1 (Li *et al.*, 2023), así como en frijol Tépari, donde la cepa RL8 de *Streptomyces* sp. favoreció la longitud de raíz con 16.33 % más que en el tratamiento control (García-Bernal *et al.*, 2022). Por lo anterior, es posible que la principal interacción de *Streptomyces* spp. en presencia de *P. capsici* sea el de antagonismo, a diferencia de una asociación de promoción de crecimiento de la planta (Sánchez García *et al.*, 2019).

### **Frutos cosechados, diámetro central, longitud y peso fresco del fruto**

**Frutos cosechados por planta:** El rendimiento de frutos por planta mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ) entre tratamientos con *Streptomyces* spp. y Ctrl-, destacando ambos tratamientos (B22 y B31) con 24% más frutos que el Ctrl- (Cuadro 1). Estudios en invernaderos comerciales con dos cultivares de pimiento, reportaron que el tratamiento con la cepa SS12 de *Streptomyces* spp. mejoró el rendimiento de pimiento verde en un 26 % y del pimiento naranja en un 5 %, en comparación con el control (Abbasi *et al.*, 2022). Por otra parte, resultados de ensayos de bioinoculación con rizobacterias en plantas de chile jalapeño en condiciones de campo reportaron un aumento en el rendimiento en las plantas tratadas con alguna de las rizobacterias de hasta 75 % en comparación con los testigos (Délano-Frier *et al.*, 2024). Finalmente, Moumita *et al.* (2015) observaron que la aplicación de *Streptomyces* sp. y *Bacillus* sp. en plantas de chile cv. Bullet produjeron en promedio 24.5 y 15 frutos más por planta, respectivamente, en relación al control (40.25 frutos); todos los reportes en coincidencia con los resultados de este ensayo.

**Tabla 1. Variables de inducción de crecimiento de planta y fruto de chile poblano por aplicación de *Streptomyces* spp.**

Tratamientos	Variables					
	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Número de frutos por planta	Peso fresco del fruto (g)	Diámetro central del fruto (mm)	Longitud del fruto (mm)
Ctrl -	69 (1.20)* a**	24 (0.42) a	19.3 (0.33) b	20 (0.06) cd	30.1 (0.36) b	72.4 (0.53) cd
B22+Pc2	59 (0.43) bc	25 (0.33) a	23.0 (0.57) a	25 (0.33) b	50.2 (0.42) a	70.5 (0.34) d
B31+Pc2	56 (0.52) c	26 (0.71) a	15.6 (0.30) c	22 (0.58) c	49.0 (0.93) a	80.4 (0.32) b
B22+B31+Pc2	60 (0.88) b	24 (0.57) a	14.0 (1.15) cd	20 (0.34) d	22.3 (0.95) c	72.8 (0.31) c
Ctrl +	66 (1.60) a	17 (0.32) b	11.4 (0.35) d	15.4 (0.34) e	31.4 (0.45) b	60.2 (0.56) e
B22	69 (2.20) a	25 (0.61) a	24.0 (1.15) a	38.4 (3.02) a	48.1 (1.20) a	100.8 (0.72) a
B31	71 (2.14) a	26 (0.17) a	23.3 (0.88) a	40.7 (3.30) a	51.8 (1.74) a	81.0 (0.85) b

B22, *S. lasiicapitis*; B31, *S. neyagawaensis* and Pc2, *Phytophthora capsici*. Ctrl- Plantas de chile sin inocular; Ctrl+ Plantas de chile inoculadas con Pc2. Los valores representan el promedio de la subpoblación  $\pm$  error estándar; nivel de significancia del ANOVA:  $p \leq 0.05$ . Fuente: Elaboración propia basada en datos experimentales.

\* Error estándar

\*\* Valores promedio en la misma fila seguidas de letras similares no son estadísticamente significativos de acuerdo al rango de prueba múltiple de Tukey  $\alpha=0.05$

Ahora bien, en presencia del patógeno Pc2, el tratamiento B22+Pc2 superó a B31+Pc2 y B22+B31+Pc2 con incrementos de hasta 64 % y al Ctrl+ en 111 %. En concordancia con lo anterior, recientemente, se reportó que cinco aislados de actinobacterias no solo controlaron en 100% a *Colletotrichum capsici* en plantas de chile, sino que incrementaron la productividad entre 169.51 y 218.53 g (Yanti *et al.*, 2023).

### Peso fresco del fruto

Los tratamientos con las cepas B22 y B31 duplicaron el peso fresco del fruto (38.4 a 40.7 g) en comparación con las plantas Ctrl- (20 g). De manera similar Moumita *et al.* (2015) observaron que la aplicación de *Streptomyces* sp. y *Bacillus* sp. en plantas de chile cv. Bullet mostró un incremento de 41.3 % con respecto al control; asimismo, Orouji *et al.* (2023) reportaron que plantas de pepino inoculadas con cepas de *Streptomyces* spp. incrementaron el porcentaje de peso fresco con la mitad de fertilizante, comparado con el control. Esta tendencia de incremento en peso fresco también se observó cuando el patógeno Pc2 estuvo presente, las plantas tratadas con *Streptomyces* spp.

también mostraron un incremento en peso fresco del fruto entre 30 % y 66 % con respecto al Ctrl+, promoviendo esta característica, a pesar de la infección por el patógeno (Cuadro 1).

**Diámetro y longitud del fruto:** Los frutos de las plantas inoculadas con *Streptomyces* spp. mostraron un diámetro de 48.1 mm (B22) y 51.8 mm (B31), en tanto que el Ctrl- mostró un diámetro promedio de 30.1 mm, obteniendo un incremento de 59 % a 72 % (Cuadro 1). Por otro lado, el diámetro del fruto en presencia del patógeno Pc2 (Ctrl+) (31.4 mm) mostró diferencias no significativas con el Ctrl- ( $p \leq 0.1328$ ), y tampoco entre los tratamientos con *Streptomyces* spp B22 y B31 con o sin el patógeno ( $p \leq 0.365$ ) (Cuadro 1). Es de resaltar que la combinación de B22+B31+Pc2 mostró una reducción del diámetro central de los frutos, coincidente con un menor antagonismo sobre Pc2. El incremento en el diámetro de fruto también fue reportado por Moumita *et al.* (2015), quienes observaron que plantas de chile cv. Bullet tratadas con *Streptomyces* sp. y *Bacillus* sp. incrementaron el diámetro de fruto en 50.8 % con *Streptomyces* sp. y 47.3 % con *Bacillus* sp., en comparación con el testigo sin inóculo.

Los frutos de plantas inoculadas con *Streptomyces* spp. mostraron una longitud de 100.8 mm (B22) y 81.0 (B31), con diferencia estadísticamente significativa con respecto al Ctrl- (72.4 mm), lo que significó un incremento en longitud entre 39 % y 11.8%, respectivamente (Cuadro 1). Por otra parte, la presencia del patógeno Pc2 (Ctrl+) mostró una disminución importante de la longitud de los frutos (60.2 mm) y esta disminución fue también observada en el tratamiento B22+Pc2 (70.5 mm). Finalmente, las diferencias significativas se mantuvieron entre B31+Pc2 y su contraparte sin el patógeno ( $p \leq 0.002$ ); no así para la combinación de cepas de *Streptomyces* B22+B31+Pc2 (72.8 mm), cuyo promedio de longitud de fruto fue similar al Ctrl-, es decir, la adición de las cepas B22 y B31 juntas, no significó efecto alguno en el desarrollo longitudinal del fruto ( $p \leq 0.365$ ). Moumita *et al.* (2015) observaron que en plantas de chile cv. Bullet tratadas con *Streptomyces* sp. y *Bacillus* sp., la longitud del fruto fue 11.7 % y 24.2 % mayor que el testigo, respectivamente. En el presente estudio también se observaron diferencias importantes de longitud de fruto ante la presencia de *Streptomyces* spp., aún en presencia de *P. capsici*, lo que hace a este modelo antagonista más relevante por su efecto en caracteres de calidad.

## Conclusiones

La aplicación sucesiva de *Streptomyces* spp. a suelo inoculado con *P. capsici* mostró actividad oomicetostática del patógeno, y permitió que las plantas de chile llegaran a madurez comercial con bajos índices de severidad y sin daño aparente en fruto. *Streptomyces* spp. disminuyeron la duración de las etapas fenológicas del chile, y con ello la cosecha anticipada en comparación con las plantas de los grupos testigo (con o sin el patógeno). Lo anterior es relevante pues también disminuye el tiempo en el que las plantas tienen contacto con el patógeno. Finalmente, las cepas de *Streptomyces*

spp. incrementaron el número, tamaño y peso del fruto, lo que sugiere por un lado el potencial de estas cepas como posibles promotores de crecimiento, y al mismo tiempo antagonistas de *P. capsici*, patógeno causante de pudriciones de raíz en Chile.

### Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, BMSG, MAMA; desarrollo de la metodología, BMSG, MAMA, JNAA; manejo de software JNAA; validación experimental, BMSG, MAMA, JNAA; análisis de resultados, BMSG, MAMA; Manejo de datos, JNAA; escritura y preparación del manuscrito, BMSG, MAMA, JNAA; redacción, revisión y edición, BMSG, MAMA, JNAA, GCMM; administrador de proyectos, MAMA; adquisición de fondos, MAMA. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

### Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, número de convenio 12484235346.

### Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

### Referencias

- Abbasi, S., Safaie, N., Sadeghi, A., & Shamsbakhsh, M. (2020). Tissue-specific synergistic bio-priming of pepper by two *Streptomyces* species against *Phytophthora capsici*. *PLoS ONE*, 15(3), Article e0230531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230531>
- Abbasi, S., Sahar, A. K., Ebrahim, K., & Akram, S. (2022). *Streptomyces* consortium improved quality attributes of bell pepper fruits, induced plant defense priming, and changed microbial communities of rhizosphere under commercial greenhouse conditions. *Rhizosphere*, 23, Article 100570. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100570>
- Albañil-Juárez, J. A., Mariscal-Amaro, L. A., Martínez-Martínez, T. O., Anaya-López, J. L., Cisneros-López, H. C., & Pérez-Ramírez, H. A. (2018). Estudio regional de fitopatógenos asociados a la secadera del Chile en Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 2191–2197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.797>
- Alcantara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es)
- Al-Tammar, F. K., & Khalifa, A. Y. Z. 2023. An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 11(4), 34-43. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.130126>
- Bowers, J. (1990). Effect of soil temperature and soil-water matrix potential on the survival of *Phytophthora capsici* in natural soil. *Plant Disease*, 74, 771-777. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1990Articles/PlantDisease74n10\\_771.PDF](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1990Articles/PlantDisease74n10_771.PDF)
- Chen, Y. Y., Chen, P. C., & Tsay, T. T. (2016). The biocontrol efficacy and antibiotic activity of *Streptomyces plicatus* on the oomycete *Phytophthora capsici*. *Biological Control*, 98, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011>
- Corral-Lugo, A., Morales-García, Y. E., Pazos-Rojas, L. A., Ramírez-Valverde, A., Martínez-Contreras, R. D., & Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de "Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo" *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV(2), 147-156. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77625401016>
- Délano-Frier, J. P., Flores-Olivas, A., & Valenzuela-Soto, J. H. (2024). Bio-Inoculation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and jalapeño pepper (*Capsicum annum* L.) with *Enterobacter* sp. DBA51 increases growth and yields under open-field conditions. *Agronomy*, 14(4), Article 702. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040702>
- Devi, S., Sharma, M., & Manhas, R. K. (2022). Investigating the plant growth-promoting and biocontrol potentiality of endophytic *Streptomyces* sp. SP5 against early blight in *Solanum lycopersicum* seedlings. *BMC Microbiology*, 22, Article 285. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02695-8>
- Erwin, D. C. & Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora* Diseases Worldwide. *Plant Pathology*, 47, 224-226. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1998.0179a.x>

- FAO. (2024). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024. Rome. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd2971en>
- FAOSTAT. (2025). Datos sobre alimentación y agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- García-Bernal, M., Mediana-Marrero, R., Abasolo-Pacheco, F., Ojeda-Silvera, C. M., Arcos-Ortega, G. F., & Mazón-Suástegui, J. M. (2022). Efecto antifúngico de la cepa *Streptomyces* sp. RL8 y su acción promotora en la germinación y crecimiento inicial de frijol Tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray). *Terra Latinoamericana*, 40, Article e1067. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1067>
- Hashemi, M., Tabet, D., Sandroni, M., Benavent-Celma, C., Seematti, J., Andersen C. B., & Grenville-Briggs, L. J. (2022). The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans*. *Fungal Biology Reviews*, 40, 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>
- Hernández-Hernández, I., Medina-Miranda, E., Pérez-Pérez, R., Chávez-Avilés, N. M., & Sánchez-Calderón, L. (2022). Etiología de la marchitez del chile (*Capsicum annum* L.) de una zona productora de Zacatecas, México. In Serna M. E. (ed.) *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era*. (pp. 84-96). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8728337>
- Kaur, N., Lozada, D. N., Bhatta, M., Barchenger, D. W., Khokhar, E. S., Nourbakhsh, S. S., & Sanogo, S. (2024). Insights into the genetic architecture of *Phytophthora capsici* root rot resistance in chili pepper (*Capsicum* spp.) from multi-locus genome-wide association study. *BMC Plant Biology*, 24, Article 416. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05097-2>
- Kim, K., Nemeč, S., & Musson, G. (1997). Control of *Phytophthora* root and crown rot of bell pepper with composts and soil amendments in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*, 5, 169-179. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00138-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00138-2)
- Leos-Escobedo, L., García-Carrillo, M., Delgadillo-Martínez, J., Valenzuela García, A. A., Angulo-Castro, A., Preciado-Rangel, P., & Rueda-Puente, E. O. (2022). Consorcios de hongos micorrízicos y rizobacterias en el control biológico. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 24, 30-37. <https://doi.org/10.18633/biotecnologia.v24i1.1490>
- Ley-López, N., Márquez-Zequera, I., Carrillo-Fasio, J., León-Félix, J., Cruz-Lachica, I., & García-Estrada, R. (2018). Efecto de biocontrol e inhibición germinativa de *Bacillus* spp. sobre zoosporas de *Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(2), 215-232. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1711-2>
- Li, X., Lang, D., Wang, J., Zhang, W., & Zhang, X. (2023). Plant-beneficial *Streptomyces dioscori* SF1 potential biocontrol and plant growth promotion in saline soil within the arid and semi-arid areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 70194-70212. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27362-x>
- López-Reyes, P. K., De la Torre-Zavala, S., Cortés-González, M. M., Galán-Wong, L. J., & Avilés-Arnaut, H. (2024). Biological control of *Streptomyces* sp. PR69 against *Phytophthora capsici* and its growth-promoting effects on plants. *Horticulturae*, 10, Article 1365. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121365>
- Lu, Y., Song, W., Wang, J., Cao, Y., Han, X., Xu, C., Wang, F., & Ge, B. (2024). Biocontrol of *Botrytis cinerea* by *Streptomyces noursei* C27 and preliminary identification of antimicrobial metabolites. *Biological Control*, 196, Article 105561. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105561>
- Minitab, LLC. (2020). *Minitab* (Version 22) [Computer software]. State College, PA. Retrieved from <https://www.minitab.com>
- Moumita, D., Dipak, P., Sankar, N. S., & Chandan, S. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria improve the production and enhancement of alkaloid content in chilli. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 1(2), 24-46. <https://doi.org/10.11648/j.fem.20150102.13>
- Mun, B. G., Lee, W. H., Kang, S. M., Lee, S. U., Lee, S. M., Lee, D. Y., Shahid, M., Yun, B. W., & Lee, I. J. (2020). *Streptomyces* sp. LH 4 promotes plant growth and resistance against *Sclerotinia sclerotiorum* in cucumber via modulation of enzymatic and defense pathways. *Plant and Soil*, 448, 87-103. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04411-4>
- Orouji, E., Fathi Ghare baba, M., Sadeghi, A., Gharanjik, S., & Koobaz, P. (2023). Specific *Streptomyces* strain enhances the growth, defensive mechanism, and fruit quality of cucumber by minimizing its fertilizer consumption. *BMC Plant Biology*, 23, Article 246. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04259-y>
- Quispe-Quispe, E., Moreira-Morrillo, A. A., & Garcés-Fiallos, F. R. (2022). A review about biocontrollers of *Phytophthora capsici* and its impact on *Capsicum* plants: A perspective from outside to inside the plant. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 275-289. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.025>
- Ristiano, J. B. (1990). Intraspecific variation among isolates of *Phytophthora capsici* from pepper and cucurbit fields in North Carolina. *Phytopathology*, 80(11), 1253-1259. [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1990Articles/Phyto80n11\\_1253.pdf](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1990Articles/Phyto80n11_1253.pdf)
- Rodríguez-Guerra, R., González-Acevedo, A., Peña-Carrillo, K., Almeyda-León, I., Hernández-Luna, C., & Salcedo-Martínez, S. (2019). Evaluación de actinomicetos contra hongos fitopatógenos y análisis de sus relaciones filogenéticas. *Bioteconología y Sustentabilidad*, 4(1), 5-13. <https://doi.org/10.57737/biotecnologiaysust.v4i1.701>
- Sánchez-García, B. M., Ramírez-Pimentel, J. G., Raya-Pérez, J. C., Covarrubias-Prieto, J., & Mora-Avilés, M. A. (2019). Actinobacterias con potencial antagonista *in vitro* a hongos fitopatógenos y promoción del crecimiento en plantas de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 339-344. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2033>
- Sánchez-García, B. M., Ramírez-Pimentel, J. G., Rodríguez-Guerra, R., Guevara-Acevedo, L. P., Raya-Pérez, J. C., Covarrubias-Prieto, J., & Mora-Avilés, M. A. (2022). Molecular identification and antagonistic potential of three strains of *Streptomyces* against phytopathogenic fungi. *Agrociencia*, 56(5), Article 2793. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i5.2793>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). Cierre agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)

- Sunwoo, J. Y., Lee, Y. K., & Hwang, B. K. (1996). Induced resistance against *Phytophthora capsici* in pepper plants in response to DL- $\beta$ -amino-n-butyric acid. *European Journal of Plant Pathology*, 102, 663-670. <https://doi.org/10.1007/BF01877247>
- Tian, W., Ge, Y., Liu, X., Dou, G., & Ma, Y. (2019). Identification and characterization of *Populus* microRNAs in response to plant growth-promoting endophytic *Streptomyces* sp. SSD49. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(7), Article 97. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2671-4>
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P. A., Guerrero-Rodríguez, J. D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña A. (2011). Características vegetativas, reproductivas y de rendimiento de fruto de variedades nativas de Chile "Poblano". *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 139-150. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.025>
- Trinidad-Cruz, J., Rincón-Enríquez, G., Evangelista-Martínez, Z., & Quiñones-Aguilar, E. (2021). Biorational control of *Phytophthora capsici* in pepper plants using *Streptomyces* spp. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(2), 85-99. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.06.014>
- Wu, J., Xue, Z., Miao, J., Zhang, F., Gao, X., & Liu, X. (2020). Sensitivity of different developmental stages and resistance risk assessment of *Phytophthora capsici* to fluopicolide in China. *Frontiers in Microbiology, Fungi and Their Interactions*, 11, Article 185. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00185>
- Yanti, Y., Hamid, H., Reflin, Yaherwandi, Nurbailis, Suriani, N. L., Reddy, M. S., & Syahputri, M. (2023). Screening of indigenous actinobacteria as biological control agents of *Colletotrichum capsici* and increasing chili production. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, Article 34. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00660-9>
- Zhou, D., Wang, X., Anjago, W. M., Li, J., Li, W., Li, M., Jiu, M., Zhang, Q., Zhang, J., Deng, S., Ye, Y., Navarro-Muñoz, J. C., Daly, P., & Wei, L. (2024). Borrelidin-producing and root-colonizing *Streptomyces rochei* is a potent biopesticide for two soil-borne oomycete-caused plant diseases. *Biological Control*, 188, Article 105411. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105411>

ARTÍCULO EN PREPARACIÓN