



Artículo Científico

Extractos de actinomicetos contra *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en *Phaseolus vulgaris*

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar², Alfredo Reyes-Tena¹, Gabriel Rincón-Enriquez², Juan Carlos Rico-Aguilar¹, Luis López-Pérez¹. ¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Unidad Posta Veterinaria Km 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro. Col. El Trébol CP. 58880. Tarámbaro, Michoacán, México. ²Control Biológico de Enfermedades de Plantas. Laboratorio de Fitopatología, Unidad de Biotecnología Vegetal. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino el Arenero Núm. 1227. Col. El Bajío del Arenal. C.P. 45019, Zapopan Jalisco México.

*Autor de Correspondencia:
Luis López-Pérez
luis.lopez.perez@umich.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
02 Noviembre, 2024

Aceptado:
09 Junio, 2025

Publicado:
25 Junio, 2025

Cita:
Quiñones-Aguilar EE, Reyes-Tena A, Rincón-Enriquez G, Rico-Aguilar JC y López-Pérez L. 2025. Extractos de actinomicetos contra *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en *Phaseolus vulgaris*. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 73.
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-02>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El frijol (*Phaseolus vulgaris*), es atacado principalmente por la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PSPH), la cual puede ocasionar graves pérdidas económicas. Una alternativa sustentable para su control es mediante el uso de agentes antimicrobianos como los actinomicetos. En esta investigación se planteó, evaluar el efecto de los extractos de tres cepas de actinomicetos (ED65, ED66 y ED 67), en el control del *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en *Phaseolus vulgaris* bajo condiciones controladas.

Materiales y Métodos. En plantas de frijol variedad azufrado inoculadas con PSPH, se asperjaron 2 mL de los extractos de actinomicetos. Después de 16 días, se evaluó la sintomatología mediante el número de hojas que presentaron manchas, la defoliación, cantidad de manchas por hoja y la severidad de la enfermedad mediante una escala de daño.

Resultados. Se encontró una reducción estadísticamente significativa ($P < 0.05$), en la cantidad de manchas y lesiones de la enfermedad en las plantas asperjadas con los extractos. El nivel de daño disminuyó significativamente en aquellas plantas tratadas con los extractos ED65, ED67 y el tratamiento ED66 no presentó daño.

Conclusión. De acuerdo con los resultados de este estudio, la cepa AD66, demostró tener el mejor potencial para ser utilizada como fuente de sustancias antimicrobianas para el manejo del tizón del halo del frijol, seguido de la ED65 y ED67.

Palabras clave: Antibiosis, Control biológico, Frijol, *Streptomyces*, Tizón del halo



INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) forma parte de la dieta básica en regiones de África, Latinoamérica y países como India; en 2020 la producción mundial fue de 27 546 millones de toneladas; siendo India el principal productor aportando el 19.8 % de la producción mundial seguido de Myanmar (11.1 %), Brasil (11 %), Estados Unidos (4.9 %), China (4.1 %) y México (4 %) (FAO, 2020). Lo anterior, muestra que el frijol es uno de los principales cultivos a nivel mundial; por lo cual, es de vital interés su manejo agronómico y principalmente el control de las enfermedades que lo afectan. *Pseudomonas syringae*, es una especie compleja que incluye alrededor de 60 patovares con virulencia específica en una amplia gama de hospedantes (Xin *et al.*, 2018). *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PSPH), es el agente causal de la enfermedad llamada “tizón de halo” y se considera la principal limitante en el cultivo de frijol (O’Leary *et al.*, 2016). Se ha detectado a esta bacteria en diversas regiones de producción del Valle de México y Sinaloa donde su agresividad provoca pérdidas de hasta 55 % de la cosecha (Mamoucha *et al.*, 2023). Generalmente, el control de la bacteria, es con la aplicación de bactericidas químicos; sin embargo, su uso constante ha ocasionado resistencia del patógeno y otros problemas, principalmente los medioambientales y daños a la salud (Miller *et al.*, 2022; Zang *et al.*, 2023). Ante esta problemática, es necesario encontrar alternativas de control que eviten la generación de resistencia en el patógeno, que sean amigables con el ambiente y, sobre todo, encaminadas al desarrollo de una agricultura sostenible.

En la actualidad el uso de microorganismos antagonistas como las actinobacterias y sus metabolitos son utilizadas en el control de enfermedades como una alternativa sustentable en cultivos de importancia económica (Kour *et al.*, 2019; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021), han llamado la atención como alternativa sustentable disminuyendo así el uso de pesticidas. Las actinobacterias constituyen el mayor phylum en el dominio bacteria, son Gram-positivas y contienen altos contenidos de guanina y citosina en su genoma, tienen la capacidad de formar esporas (Khushboo *et al.*, 2022), su morfología puede ser desde unicelulares hasta formas filamentosas (Parte *et al.*, 2020). Las actinobacterias, son conocidas por la capacidad de producir una gran cantidad de metabolitos secundarios con distintos efectos, entre los principales, se encuentra la promoción del crecimiento vegetal (Donald *et al.*, 2022; Khushboo *et al.*, 2022); lo cual se potencializa al sintetizar enzimas que solubilizan fosfatos, fijan nitrógeno; y la síntesis de fitohormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, que son importantes reguladores del crecimiento vegetal (Anwar *et al.*, 2016).

Por otro lado, los metabolitos con actividad antimicrobiana que sintetizan las actinobacterias, han mostrado su eficacia en el control de enfermedades de plantas tanto a nivel *in vitro* como *in vivo* (Passari *et al.*, 2016; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021). Entre los mecanismos y/o estrategias de biocontrol de los actinomicetos se incluyen, el parasitismo (El-Tarabily *et al.*, 2006), producción de sideróforos (Shrivastava y Kumar, 2018), producción de enzimas extracelulares como celulasas, amilasas y quitinasas (Singh y Gaur, 2016), la inducción de resistencia sistémica en plantas (Sharma y Salwan, 2018) y producción de metabolitos secundarios con actividad antimicótica y antibacterial (Westhoff *et al.*, 2021; Khushboo *et al.*, 2022). Los actinomicetos producen cerca de la mitad de todos los antibióticos utilizados en la industria (Bérdy, 2012). *Streptomyces*, es el género más representativo en el suelo (Qin *et al.*, 2015; Olanrewaju y Babalola, 2019), y mayor productor de metabolitos secundarios (Wohleben *et al.*, 2016). Así mismo, se

ha mostrado la eficacia de sus metabolitos volátiles y no volátiles producidos en diferentes medios (líquido, sólidos y semisólidos), así como sus filtrados (Yang *et al.*, 2019; Trinidad-Cruz *et al.*, 2021). Al respecto Nguyen *et al.* (2015) y Abbasi *et al.* (2021), muestran la inhibición del crecimiento de *Phytophthora capsici* utilizando distintas cepas *Streptomyces* spp. *in vitro*. Chen *et al.* (2016), reportó que el extracto de *S. plicatus* B4-7, inhibió el desarrollo *in vitro* de *P. capsici*, *P. cinnamomi*, *P. palmivora* y *P. parasitica* en un 55, 65, 43.8 y 35 %, respectivamente. Yan *et al.* (2019), reportaron que *S. corchorusii* AUH-1 inhibió el desarrollo de *P. capsici* y *P. parasitica* var. *nicotianae* en un 67.2 y 78.9 %, al aplicar un extracto obtenido por fermentación alcohólica. Zang *et al.* (2023), reportaron una inhibición de *Phytophthora* sp. con el uso de extractos de *Streptomyces atratus* en plantas de pimiento. Wen *et al.* (2024), de igual manera reportaron una fuerte inhibición de *Phytophthora sojae* con el uso de extractos de *Streptomyces* sp. Por su parte Trinidad-Cruz *et al.* (2021), evaluaron el efecto de los actinomicetos ABV38, ABV39 y ABV45 contra *P. capsici* en medio agar-papa-dextrosa y reportaron una inhibición de 51, 28 y 50 %, respectivamente; posteriormente, al evaluar el sobrenadante del caldo de cultivo de las cepas ABV38 y ABV45 registraron una disminución del daño en plantas de chile serrano var. Camino Real cuando estas se encontraban infectadas con el patógeno. Arora *et al.* (2018), mencionaron que la cepa de *Streptomyces* sp. (C-7), produce ácido nalidíxico un antibiótico contra bacterias Gram negativas e inhibe el crecimiento de *E. coli* y *P. aeruginosa* en condiciones *in vitro*. Al-Dhabi *et al.* (2019), reportaron que una cepa de *Streptomyces* sp. (Al-Dhabi-97), tiene efecto antimicrobiano contra diversas bacterias cultivadas en distintos medios de cultivo sólido, principalmente agar nutritivo. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar, la capacidad de control de extractos de actinomicetos aislados de suelos agrícolas contra *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PSPH), en plantas de frijol cultivadas en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo durante el período primavera-verano y el experimento se estableció en un invernadero tipo cenital cubierto con plástico calibre 800, que permite una entrada del 80 % de luz incidente; ubicado en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Las condiciones ambientales al interior del invernadero fueron, temperatura promedio de 32 ± 3 °C y humedad relativa del 46 %.

Material vegetal. Para la realización de este trabajo se utilizaron semillas de frijol variedad azufrado, previamente lavadas con agua corriente y desinfectadas (hipoclorito de sodio al 3 %) durante 10 minutos y posterior enjuague con agua corriente; se sembró una semilla por contenedor de plástico de 2 L de volumen que contenían una mezcla esterilizada (condiciones de esterilización en olla de presión a 120 °C, 103Kpa, por 6 h) de perlita, vermiculita y suelo agrícola, en proporción 2:1:1 v/v. Se realizaron riegos periódicos a capacidad de campo con agua desionizada para mantener el sustrato de crecimiento a capacidad de campo.

Material biológico. Los actinomicetos utilizados fueron proporcionados por el Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ (Centro de Investigación y Asistencia en

Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, México). Los actinomicetos se identificaron como ED65, ED66 y ED 67 (Figura 1), los cuales se obtuvieron de suelos agrícolas cultivados con *Agave cupreata* del estado de Michoacán, México y que en estudios previos se mostraron porcentajes de inhibición del crecimiento contra PSPH superiores al 80 % (datos no publicados).

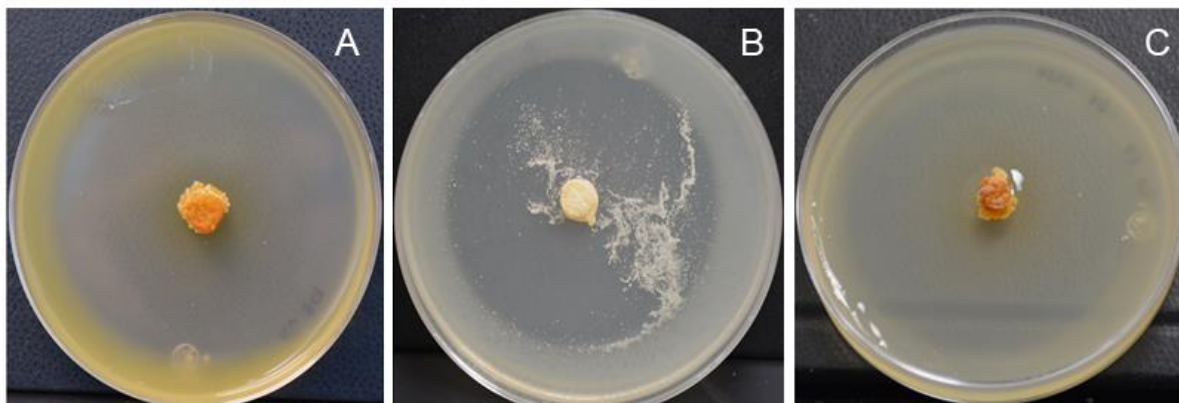


Figura 1. Cepas ED65 (A), ED66 (B) y ED 67 (C), mostrando características morfológicas típicas de actinobacterias.

Los actinomicetos se sembraron en medio papa-dextrosa-agar-levadura (PDA-Y), y se almacenaron a 28 °C por 7 días, posteriormente se sembraron dos discos de agar-micelio de 7 mm de diámetro, en matraces que contenían 25 mL de papa-dextrosa-caldolevadura (PDB-Y), y se incubaron en oscuridad a 28 °C durante cinco días en agitación a 200 rpm. Después de este tiempo se centrifugaron a 13 000 rpm durante 10 min, el sobrenadante se desechó y la pastilla obtenida se lavó con agua destilada estéril por triplicado y se resuspendió en 30 mL de agua desionizada esterilizada.

Producción del extracto filtrado de actinomicetos. Los actinomicetos se sembraron en medio sólido siguiendo la metodología de Ellaiah *et al.* (2004), con ligeras modificaciones como se explica a continuación: en matraces Erlenmeyer de 250 mL, se colocaron 10 g de sémola humedecida con 12 mL de PDB a pH 7, posteriormente se añadieron 2 mL del inóculo de actinomicetos (1.2-5.6 mg p/p de materia celular seca), la mezcla se incubó durante 12 días a 28 °C. Después del período de incubación, se recolectó el extracto producido por los actinomicetos añadiendo 25 mL de tampón fosfato (8.06 g de NaCl L⁻¹, 0.22 g de KCl L⁻¹, 1.15 g de Na₂HPO₄ L⁻¹, 0.2 g de KH₂HPO₄ L⁻¹) a pH 8.0 como lo reportan Adinarayana *et al.* (2003) y se mantuvieron en agitación a 200 rpm y 4 °C durante 16 horas. Posteriormente, el contenido de cada matraz se centrifugó a 13 000 rpm durante 20 minutos y se filtró a través de una membrana de 0.22 µm (MILLEX®GP). Finalmente, el filtrado se almacenó a 4 °C hasta su uso.

***Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PSPH).** La cepa de PSPH-1448A, fue proporcionada por el Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ, esta cepa fue aislada en 1985 en Etiopía a partir de plantas con síntomas de *P. vulgaris* (Teverson, 1991) y desde entonces ha sido utilizada como cepa modelo en diversos estudios por su virulencia y patogenicidad a nivel fisiológico y genético (Joardar *et al.*, 2005; Arnold *et al.*, 2011).

Para comprobar su efectividad, en este trabajo se realizaron pruebas previas de patogenicidad y virulencia en frijol, los cuales manifestaron síntomas de la enfermedad (datos no mostrados). La cepa se reactivó y se sembró en medio caldo King B, en agitación a 200 rpm, a 24 °C durante 36 horas y después se centrifugó por 5 minutos a 10 000 rpm. Posteriormente, se lavó con agua desionizada estéril. La pastilla se resuspendió en agua desionizada estéril y posteriormente se ajustó a una densidad óptica, DO₆₀₀= 2 (2×10^7 UFC mL⁻¹). Al finalizar el experimento, el patógeno se reisoló a partir de tejido enfermo de las plantas de frijol infectadas y se conservó a 4 °C en cajas con PDA para posteriormente conservarlo en glicerol a -20 °C.

Aplicación del extracto de actinomicetos contra *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (PSPH). A los 56 días después de la siembra del frijol, en cada una de las plantas de los respectivos tratamientos (1 planta por unidad experimental), se asperjaron 2 mL de la suspensión de la cepa 1448A de PSPH (2×10^7 UFC mL⁻¹). Después de 18 h de la inoculación con la bacteria fitopatógena (PSPH), las plantas se asperjaron con 2 mL del extracto de las cepas de los actinomicetos ED65, ED66 y ED67.

Diseño experimental. La unidad experimental fue una maceta con una planta de frijol, utilizando seis repeticiones por tratamiento. Todas las unidades experimentales se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1) ED65 + Ps1448A, T2) ED66 + Ps1448A, T3) ED67 + Ps1448A y dos controles; uno positivo que corresponde a T4) planta enferma (PE) donde solo se asperjó la bacteria fitopatógena sin extracto de actinomicetos; y un control negativo T5) planta sana (PS), donde se asperjó agua esterilizada, sin la aspersion de ningún extracto de actinomiceto ni la bacteria fitopatógena, para que todas las plantas tuvieran el mismo manejo.

Variables de respuesta. A los 16 días después de la inoculación con PSPH-1448A, se registró la sintomatología y el avance de la enfermedad en las plantas, mediante la presencia de manchas por hoja, número de manchas necróticas en las hojas y el número de hojas defoliadas. El nivel de severidad de la enfermedad se determinó mediante una escala cualitativa de siete niveles (0 – 6), la cual describe desde planta sin síntomas foliares (nivel 0), hasta planta muerta debido a la enfermedad (nivel 6). La escala se basó en la descripción visual de la enfermedad dependiendo de la presencia de los halos cloróticos característicos y la necrosis sobre la superficie de las hojas (Candelas-Delgado, 2017).

Análisis estadístico. A los datos cuantitativos se les aplicaron análisis de varianza y prueba de Tukey al 95 % de confianza. Los datos de la escala de severidad, al ser cualitativos, se sometieron a un análisis Kruskal-Wallis e intervalo de la mediana al 95 %. Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVII.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sintomatología ocasionada por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*, en plantas de frijol reflejado en el número de hojas con manchas necróticas (Figura 2), y número de manchas por hoja (Figura 3), disminuyó significativamente ($P < 0.05$) por la aspersion del

extracto de ED65, ED66 y ED67, con respecto al control positivo con la bacteria (plantas enfermas).

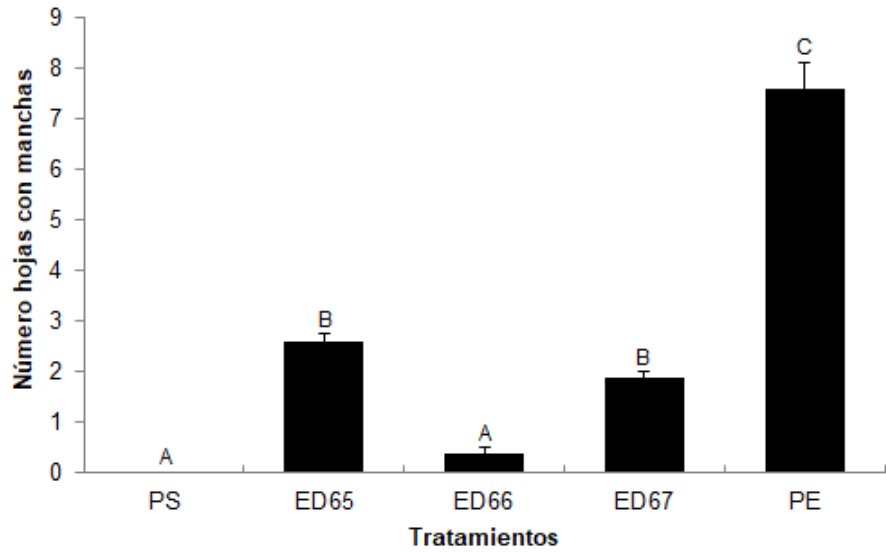


Figura 2. Número de hojas con necrosis a 16 días después de la inoculación con *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en plantas de frijol. PE = planta enferma; PS = planta sana. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P < 0.05$). La línea arriba de las barras (I) representa el error estándar.

Dieciséis días después de la inoculación con el patógeno, el número de hojas con manchas necróticas disminuyó 62 % en plantas tratadas con los extractos de actinomicetos respecto al tratamiento de planta enferma. Por otro lado, las plantas tratadas con ED66, mostraron una disminución en el número de manchas por hoja (Figura 3) de forma estadísticamente similar a las plantas donde no se inoculó el patógeno (plantas sanas).

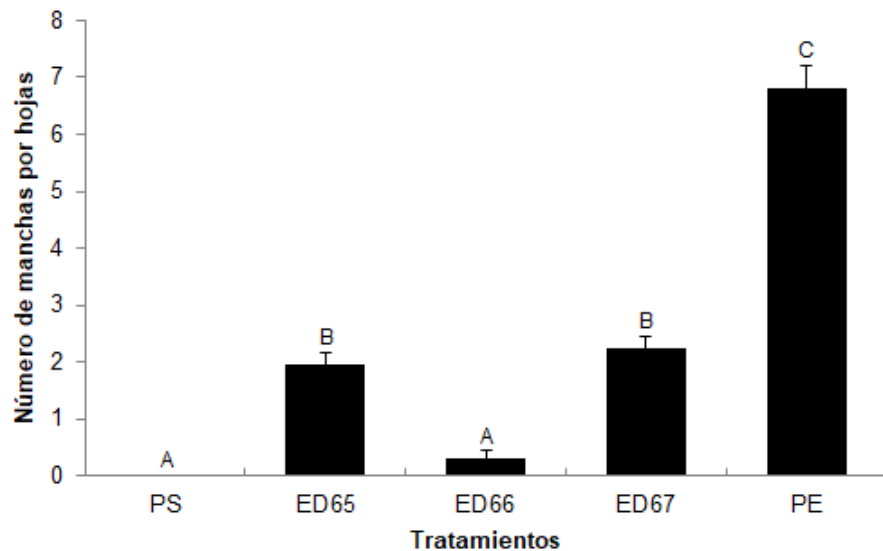


Figura 3. Número de manchas por hoja a 16 días después de la inoculación con *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en plantas de frijol. PE = planta enferma; PS = planta sana. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencia estadística significativa (Tukey, $P < 0.05$). La línea arriba de las barras (I) representa el error estándar.

La aspersión con ED67 y ED65 registró una cantidad similar de hojas con manchas entre las plantas tratadas y fue en promedio un 56 % menor a la cantidad de manchas observadas en las plantas enfermas (control positivo). De acuerdo con lo anterior, es posible que la disminución de la necrosis se deba al efecto de los metabolitos que podría contener el extracto utilizado (Azman *et al.*, 2017; Zang *et al.*, 2023; Wen *et al.*, 2024); lo anterior, limitaría la propagación, capacidad de infección y establecimiento dentro de la planta evitando su reproducción dentro del apoplasto y la aparición de síntomas (O'Leary *et al.*, 2016). Otro posible mecanismo es la inducción del sistema de defensa sistémica de la planta a través de la síntesis de phaseolina, fitoalexinas y otros compuestos fenólicos, inducidos por la inoculación foliar de los extractos de actinomicetos, los cuales pueden contener propágulos de estos y ejercer un mecanismo indirecto de biocontrol de la enfermedad (Sangiogo *et al.*, 2018; Hata *et al.*, 2021).

La cantidad de manchas por hoja presentó una tendencia similar en todos los tratamientos con respecto a la variable de cantidad de hojas con manchas, registrándose datos numéricos similares. Las hojas de las plantas sin aplicación de los extractos presentaron en promedio siete manchas por hoja a los 56 días después de la inoculación con la bacteria patógena. Mientras que, al aplicar ED65, ED66 y ED67, disminuyó la cantidad de manchas por hoja hasta un promedio de 2.5 manchas por hoja. Esta disminución fue del 75 % respecto a las plantas enfermas y nos indica un efecto de control del patógeno por medio de la aplicación de los extractos de actinomicetos (Figura 2). La aspersión con ED66 registró una reducción de las manchas por hoja, de forma similar estadísticamente a las plantas sanas sin el patógeno. Con base en lo anterior, la actividad antimicrobiana de las cepas evaluadas resultó ser eficaz para el control de PSPH, posiblemente debido a la presencia de compuestos bactericidas en los extractos evaluados, resultados similares han sido reportados en cepas de diferentes especies de *Streptomyces* como *S. lydicus* (Atta *et al.*, 2015), *S. bingchenggensis* (Jin *et al.*, 2020) y *S. peucetius* (Nguyen *et al.*, 2021).

En el número de hojas defoliadas, el análisis mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($P < 0,01$). Donde, aquellas plantas que se trataron con los extractos de ED65 y ED67, se incrementó el número de hojas defoliadas, evidenciado un posible efecto herbicida sobre las plantas (Figura 4).

Por otro lado, el tratamiento con la aplicación de ED66, registró una defoliación similar a las plantas inoculadas con PSPH. Lo anterior podría deberse a una posible toxicidad que provocó la caída prematura de las hojas y causar quemaduras del tejido (Kim *et al.*, 2020). Se ha reportado que algunas especies de *Streptomyces* como *S. scopuliridis* tienen propiedades herbicidas (Lee *et al.*, 2013). En este estudio, los resultados sugieren que los extractos podrían tener un efecto negativo en la planta al disminuir el área foliar necesaria para los procesos fotosintéticos (Bo *et al.*, 2019), por lo tanto, se requieren evaluaciones posteriores para analizar el nivel de fitotoxicidad de los extractos filtrados. Una alternativa para el aprovechamiento de los metabolitos antimicrobianos presentes en los extractos de estas cepas como posible herramienta en el control de PSPH, es determinar la dosis mínima inhibitoria del patógeno, la cual podría no causar fitotoxicidad (Julian *et al.*, 2020). Otra estrategia es la caracterización y el aislamiento de los bioactivos que contienen los extractos e identificar al compuesto con mayor eficacia antimicrobiana, sin causar fitotoxicidad en la planta (Tian *et al.*, 2017).

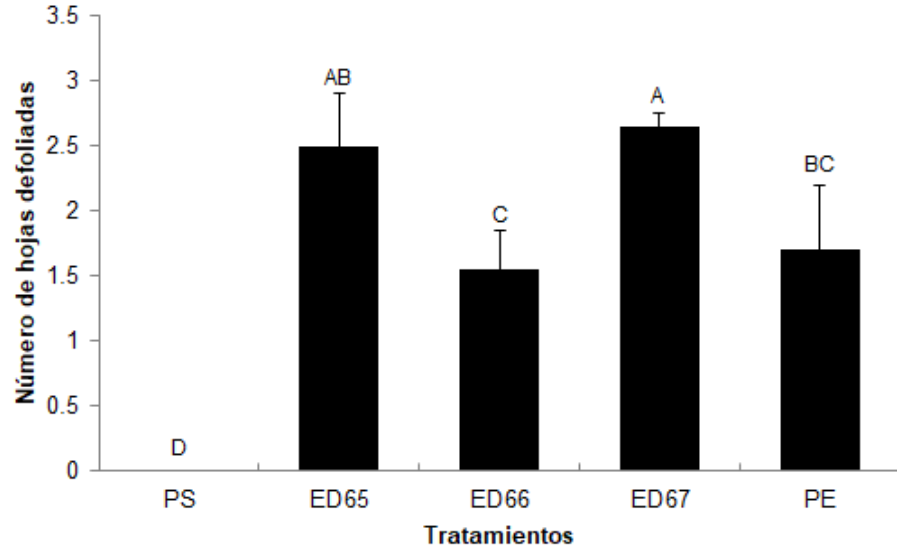


Figura 4. Número de hojas defoliadas en plantas de frijol a 16 días después de la inoculación con *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. PE = planta enferma; PS = planta sana. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P < 0.05$). La línea sobre las barras (I) representa el error estándar.

Por otro lado, para el nivel de severidad ocasionado por PSPH, el análisis Kruskal-Wallis registró diferencias estadísticas entre los tratamientos (estadístico = 22.0906, $P = 0.0002$) (Figura 5).

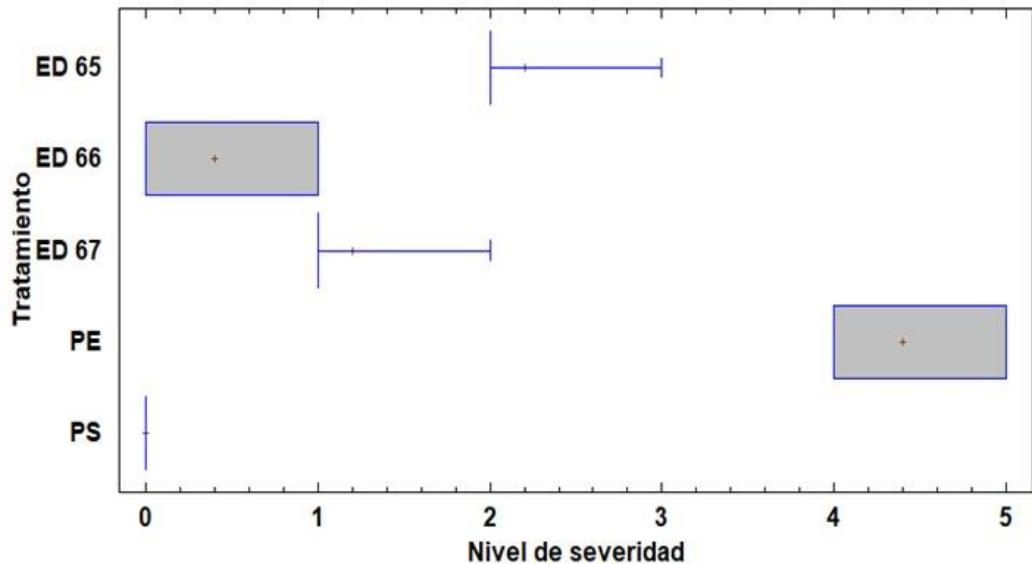


Figura 5. Nivel de severidad del tizón del halo en *Phaseolus vulgaris* a 16 días después de la inoculación de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. PE = Planta enferma; PS = Planta sana.

Las plantas inoculadas solo con el fitopatógeno (planta enferma), presentaron los mayores valores de severidad (nivel 4 y 5 de la escala). Por otro lado, los tratamientos con ED65, ED66 y ED67, presentaron un nivel de severidad menor que los tratamientos

correspondientes a plantas inoculadas solo con el patógeno. Las plantas tratadas con el extracto ED66, mostraron pocos síntomas de la enfermedad reflejado en la presencia de pocas manchas cloróticas y necróticas en las hojas. El extracto ED67, registró un nivel de severidad de 1 al presentar una menor clorosis y necrosis, el extracto ED65 registró una severidad en nivel 2. En las plantas donde se inoculó la bacteria, los síntomas se manifestaron en las hojas basales a pesar de la aspersion completa con los extractos (Figura 6). Lo anterior podría deberse a que las hojas basales translocan nutrientes hacia las hojas jóvenes incrementando su susceptibilidad (Dordas, 2008). Por otro lado, se requiere del establecimiento de condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de la enfermedad, de tal manera que el patógeno pueda desarrollarse y causar los síntomas de forma similar a como lo hace en campo donde se presenta bajo condiciones cercanas al 100 % de humedad relativa y una temperatura entre 16 y 20 °C (Hirano y Upper, 2000; Arnold *et al.*, 2011; Xin *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2017), algunas de estas condiciones, especialmente la temperatura, no coincidieron con las condiciones experimentales del presente trabajo.



Figura 6. Daño causado por el tizón del halo del frijol a los 16 días después de la inoculación de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en plantas tratadas con los actinomicetos (ED67, ED66 y ED65). PS = planta sana (control negativo); PE = planta enferma (control positivo).

CONCLUSIONES

Los extractos de actinomicetos evaluados en el presente trabajo mostraron actividad antimicrobiana sobre PSPH, en especial el extracto del aislado ED66, redujo en más del 90 %, los síntomas del tizón del halo del frijol reflejado en un menor daño foliar. A pesar de que los extractos registraron fitotoxicidad en las hojas, es posible realizar evaluaciones posteriores relacionadas con el aislamiento y caracterización de los compuestos bioactivos y su posible empleo en el desarrollo de productos de control contra PSPH.

Limitaciones

Los resultados de esta investigación esta acotados a las condiciones de trabajo descritas en la metodología y a las cepas utilizadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaramos explícitamente que no existe conflicto de interés en relación con esta investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de investigación científica 2022, 2023 y 2024, de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, al apoyo del ICTI Michoacán a través del programa Apoyo para el Fortalecimiento de las Capacidades Científicas, Humanísticas, Tecnológicas y de innovación en Michoacán; convenio FCCHTI23_ME-4.1.-0011UMSNH/DVSS/77/2023 y a los distintos proyectos de investigación del laboratorio de Fitopatología de la unidad de Biotecnología Vegetal del CIATEJ; por el financiamiento facilitado para esta investigación.

Contribución de Autores

“Idea original, E.E.Q., G.R.E., L.L.P.; metodología, E.E.Q., G.R.E., L.L.P., J.C.R.A.; muestreos y análisis de datos, J.C.R.A., G.R.E., L.L.P., escritura y edición inicial, J.C.R.A., A.R.T., L.L.P.; supervisión, G.R.E., E.E.Q.A.; redacción y edición final, L.L.P., A.R.T.; adquisición de recursos, G.R.E., E.E.Q.A., L.L.P. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.”

REFERENCIAS

- Abbasi S, Spor A, Sadeghi A and Safaie N. 2021. *Streptomyces* strains modulate dynamics of soil bacterial communities and their efficacy in disease suppression caused by *Phytophthora capsici*. Scientific reports, 11(1): 9317. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88495>
- Adinarayana K, Prabhakar T, Srinivasulu V, Rao MA, Lakshmi PJ and Ellaiah P. 2003. Optimization of process parameters for cephalosporin C production under solid state fermentation from *Acremonium chrysogenum*. Process Biochemistry 39:171-177. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00049-9)
- Al-Dhabi NA, Ghilan AKM, Esmail GA, Arasu MV, Duraipandiyan V and Ponmurugan, K. 2019. Environmental friendly synthesis of silver nanomaterials from the promising *Streptomyces parvus* strain Al-Dhabi-91 recovered from the Saudi Arabian marine regions for antimicrobial and antioxidant properties. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 197:111529. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111529>
- Anwar S, Ali B and Sajid I. 2016. Screening of rhizospheric actinomycetes for various in-vitro and in-vivo plant growth promoting (PGP) traits and for agroactive compounds. Frontiers in Microbiology 7:1334. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01334/full>
- Arnold DL, Lovell HC, Jackson RW and Mansfield JW. 2011. *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*: from ‘has bean’ to supermodel. Molecular Plant Pathology 12:617-627. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00697.x>
- Arora N, Kumar S, Satti NK, Ali A, Gupta P and Katoch M. 2018. A strain of *Streptomyces* sp. isolated from rhizospheric soil of *Crataegus oxycantha* producing nalidixic acid, a synthetic antibiotic. Journal of applied microbiology 124:1393-1400. <https://doi.org/10.1111/jam.13736>
- Atta HM, El-Sayed AS, El-Desoukey MA, Hassan M and El-Gazar M. 2015. Biochemical studies on the natamycin antibiotic produced by *Streptomyces lydicus*: Fermentation, extraction and biological activities. Journal of Saudi Chemical Society 19:360-371. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.04.001>
- Azman AS, Othman I, Fang CM, Chan KG, Goh BH and Lee LH. 2017. Antibacterial, anticancer and neuroprotective activities of rare actinobacteria from mangrove forest soils. Indian Journal of Microbiology 57:177-187. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12088-016-0627-z>

- Bérdy J. 2012. Thoughts and facts about antibiotics: where we are now and where we are heading. *The Journal of antibiotics* 65:385-395. <https://www.nature.com/articles/ja201227>
- Bo AB, Kim JD, Kim YS, Sin HT, Kim HJ, Khaitov B, Young K, Park KW and Choi JS. 2019. Isolation, identification and characterization of *Streptomyces* metabolites as a potential bioherbicide. *PLoS One*, 14(9). e0222933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222933>
- Candelas-Delgado IA. 2017. Formulaciones de bacteriófagos para el control del tizón del halo provocado por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* en frijol bajo invernadero. Título profesional, Universidad de Zacatecas. Repositorio Académico de la Universidad de Zacatecas. México. <https://catalogo.uaz.edu.mx/cgi-bin/koha/opac-etail.pl?biblionumber=132900>
- Chen X, Pizzatti C, Bonaldi M, Saracchi M, Erlacher A, Kunova A, Berg B and Cortesi P. 2016. Biological control of lettuce drop and host plant colonization by rhizospheric and endophytic streptomycetes. *Frontiers in Microbiology* 7:714. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00714>
- Donald L, Pipite A, Subramani R, Owen J, Keyzers RA and Taufa T. 2022. *Streptomyces*: Still the biggest producer of new natural secondary metabolites, a current perspective. *Microbiology Research* 13:418-465. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13030031>
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28:33-46. <https://link.springer.com/article/10.1051/agro:2007051>
- Ellaiah P, Srinivasulu B and Adinarayana K. 2004. Optimisation studies on neomycin production by a mutant strain of *Streptomyces marinensis* in solid state fermentation. *Process Biochemistry* 39:529-534. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00188-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00188-7)
- El-Tarabily KA and Sivasithamparam K. 2006. Non-streptomycete actinobacteria as biological agents of soil borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Soil Biology and Biochemistry* 38:1505-1520. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.12.017>
- FAO. Estadísticas de Frijol Seco. [(consultado el 17 de diciembre de 2020)]; Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Hata EM, Yusof MT and Zulperi D. 2021. Induction of systemic resistance against bacterial leaf streak disease and growth promotion in rice plant by *Streptomyces shenzhenensis* TKSC3 and *Streptomyces* sp. SS8. *The plant pathology journal* 37(2): 173. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.05.2020.0083>
- Hirano SS and Upper CD. 2000. Bacteria in the leaf ecosystem with emphasis on *Pseudomonas syringae*—a pathogen, ice nucleus, and epiphyte. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64:624-653. <https://doi.org/10.1128/mmbr.64.3.624-653.2000>
- Jin P, Li S, Zhang Y, Chu L, He H, Dong Z, and Xiang W. 2020. Mining and fine-tuning sugar uptake system for titer improvement of milbemycins in *Streptomyces bingchenggensis*. *Synthetic and systems biotechnology* 5(3): 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2020.07.001>
- Joardar V, Lindeberg M, Jackson RW, Selengut J, Dodson R, Brinkac LM, ... and Buell, CR. 2005. Whole-genome sequence analysis of *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* 1448A reveals divergence among pathovars in genes involved in virulence and transposition. *Journal of bacteriology* 187:6488-6498. <https://doi.org/10.1128/jb.187.18.6488-6498.2005>
- Julian WT, Vasilchenko AV, Shpindyuk DD, Poshvina DV and Vasilchenko AS. 2020. Bacterial-derived plant protection metabolite 2, 4-diacetylphloroglucinol: Effects on bacterial cells at inhibitory and subinhibitory concentrations. *Biomolecules* 11:13. <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/1/13>
- Khushboo KP, Dubey KK, Usmani Z, Sharma M and Gupta VK. 2022. Biotechnological and industrial applications of *Streptomyces* metabolites. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 16:244-264. <https://doi.org/10.1002/bbb.2294>

- Kour D, Rana KL, Yadav N, Yadav AN, Kumar A, Meena VS, Singh B, Chauhan VS, Dhaliwz HS and Saxena AK. 2019. Rhizospheric microbiomes: biodiversity, mechanisms of plant growth promotion, and biotechnological applications for sustainable agriculture. Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability: from theory to practices 19-65. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7553-8_2
- Kim HJ, Bo AB, Kim JD, Kim YS, Khaitov B, Ko YK, Cho KM, Jang KS, Park KW and Choi JS. 2020. Herbicidal characteristics and structural identification of the potential active compounds from *Streptomyces* sp. KRA17-580. Journal of Agricultural and Food Chemistry 68:15373-15380. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01974>
- Lee B, Kim JD, Kim YS, Ko YK, Yon GH, Kim CJ and Choi, J. S. 2013. Identification of *Streptomyces scopuliridis* KR-001 and its herbicidal characteristics. Weed & Turfgrass Science 2:38-46. <http://dx.doi.org/10.5660/WTS.2013.2.1.038>
- Mamoucha S, Prombona A and Galeou A. 2023. Evaluation of the antibacterial activity of essential oil of *Laurus nobilis* against *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* and potential biocidal action. Hellenic Plant Protection Journal 16:29-39. <https://doi.org/10.2478/hppj-2023-0005>
- Miller SA, Ferreira JP, and LeJeune JT. 2022. Antimicrobial use and resistance in plant agriculture: a one health perspective. Agriculture 12(2): 289. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020289>
- Nguyen XH, Naing KW, Lee YS, Kim YH, Moon JH and Kim KY. 2015. Antagonism of antifungal metabolites from *Streptomyces griseus* H7602 against *Phytophthora capsici*. Journal of Basic Microbiology 55:45-53. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300820>
- Nguyen HT, Nguyen CT, Choi YS, Dhakal D, Kim TS, Jung HJ, Yamaguchi T and Sohng JK. 2021. Identification and enhancing production of a novel macrolide compound in engineered *Streptomyces peucetius*. RSC Advances 11:3168-3173. <https://doi.org/10.1039/D0RA06099B>
- Olanrewaju OS and Babalola OO. 2019. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. Applied Microbiology and Biotechnology 103:1179-1188. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577>
- O'Leary BM, Neale HC, Geilfus CM, Jackson RW, Arnold DL and Preston GM. 2016. Early changes in apoplast composition associated with defence and disease in interactions between *Phaseolus vulgaris* and the halo blight pathogen *Pseudomonas syringae* Pv. *phaseolicola*. Plant, Cell & Environment 39:2172-2184. <https://doi.org/10.1111/pce.12770>
- Parte, AC, Carbasse JS, Meier-Kolthoff JP, Reimer LC and Göker M. 2020. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 70:5607. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004332>
- Passari AK, Chandra, P, Mishra VK, Leo VV, Gupta VK, Kumar B and Singh BP. 2016. Detection of biosynthetic gene and phytohormone production by endophytic actinobacteria associated with *Solanum lycopersicum* and their plant-growth-promoting effect. Research in Microbiology 167:692-705. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2016.07.001>
- Qin S, Miao Q, Feng WW, Wang Y, Zhu X, Xing K and Jiang JH. 2015. Biodiversity and plant growth promoting traits of culturable endophytic actinobacteria associated with *Jatropha curcas* L. growing in Panxi dry-hot valley soil. Applied Soil Ecology 93:47-55. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.04.004>
- Sangiogo M, Rodriguez DP, Moccellini R, Bermudez JMM, Corrêa BO and Moura AB. 2018. Foliar spraying with bacterial biocontrol agents for the control of common bacterial blight of bean. Pesquisa Agropecuária Brasileira 53:1101-1108.
- Sharma V and Salwan R. 2018. Biocontrol potential and applications of actinobacteria in agriculture. In: Singh, BP, Gupta VK and Passari AK. (Eds.) New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering pp. 93-108. India: Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-63994-3.00006-0>

- Shrivastava P and Kumar R 2018. Actinobacteria: eco-friendly candidates for control of plant diseases in a sustainable manner, in New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Elsevier Science, USA. pp. 79-91.
- Singh SP and Gaur R. 2016. Evaluation of antagonistic and plant growth promoting activities of chitinolytic endophytic actinomycetes associated with medicinal plants against *Sclerotium rolfsii* in chickpea. Journal of Applied Microbiology 121:506-518. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.13176>.
- Sun S, Zhi Y, Zhu Z, Jin J, Duan C, Wu X and Xiaoming W. 2017. An emerging disease caused by *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* threatens mung bean production in China. Plant disease 101:95-102.
- Teverson DM. 1991. Genetics of pathogenicity and resistance in the halo-blight disease of beans in Africa (Doctoral dissertation, The University of Birmingham).
- Tian H, Shafi J, Ji M, Bi Y and Yu Z. 2017. Antimicrobial metabolites from *Streptomyces* sp. SN0280. Journal of Natural Products, 80:1015-1019. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01016>
- Trinidad-Cruz JR, Rincón-Enríquez G, Evangelista-Martínez Z and Quiñones-Aguilar EE. 2021. Biorational control of *Phytophthora capsici* in pepper plants using *Streptomyces* spp. Revista Chapingo. Serie horticultura, 27:85-99. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-52X2021000200085&script=sci_arttext
- Wen X, Wang L, Li J, Chen Y, Zhuo D, Anjago WM, Jiu M, Zhu H, Zhang Q, Zhang J, Wang X, Wei L, Peng H, Daly P and Zhou D. 2024. Staurosporine-producing *Streptomyces* sp. strain 11 × 1 cell-free culture filtrates control diseases caused by the oomycete plant pathogens *Pythium myriotylum* and *Phytophthora sojae*. Biocontrol Science and Technology 34(2): 123-147. <https://doi.org/10.1080/09583157.2023.2301646>
- Westhoff S, Kloosterman AM, van Hoesel SF, van Wezel GP and Rozen DE. 2021. Competition sensing changes antibiotic production in streptomyces. Microbial Ecology 12:e02729-20. <https://doi.org/10.1128/mbio.02729-20>
- Wohlleben W, Mast Y, Stegmann E and Ziemert N. 2016. Antibiotic drug discovery. Microbial Biotechnology, 9:541-548. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12388>
- Xin XF, Nomura K, Aung K, Velásquez AC, Yao J, Boutrot F, Chang JH, Zipfel C and He SY. 2016. Bacteria establish an aqueous living space in plants crucial for virulence. Nature 539:524-529. <https://www.nature.com/articles/nature20166>
- Xin XF Kvitko B and He SY. 2018. *Pseudomonas syringae*: what it takes to be a pathogen. Nature Reviews Microbiology, 16:316-328.
- Yan Y, Zhang S and Li K. 2019. Antagonistic activity and mechanism of an isolated *Streptomyces corchorusii* strain AUH-1 against phytopathogenic fungi. World Journal of Microbiology and Biotechnology 35:145. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-019-2720-z>
- Yang C, Zhou X, Meng Q, Wang M, Zhang Y and Fu S. 2019. Secondary metabolites and antiradical activity of liquid fermentation of *Morchella* sp. isolated from Southwest China. Molecules 24(9): 1706. <https://doi.org/10.3390/molecules24091706>
- Zang C, Kong T, Liang B, Liu X, Xie J, Lin Y, Pei X, Yu S and Liang C. 2023. Evaluation of imide substance from *Streptomyces atratus* PY-1 for the biocontrol of *Phytophthora blight*. European Journal of Plant Pathology 165(4): 725-734. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02648-5>