

Evaluación de la capacidad promotora del crecimiento vegetal y actividad antagonista contra hongos fitopatógenos de las bacterias *Streptomyces*

Fabiola Islas-Lugo¹, Valeria Gutiérrez-García², Andrés Cruz-Arredondo², Diana E. Ríos-Muñiz¹ y Zahaed Evangelista-Martínez^{1*}

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Subsede Sureste.

²Universidad Anáhuac Mayab.

*Autor de correspondencia: zevangelista@ciatej.mx

Palabras clave:

actinobacterias, antagonismo, bioinsumos, control biológico, hongos fitopatógenos

Enfoques Transdisciplinarios:
Ciencia y Sociedad, 2(2),
137-148. ISSN: 3061-709X.
[https://doi.org/10.5281/
zenodo.12766054](https://doi.org/10.5281/zenodo.12766054)

Recibido: 13 abril 2024
Revisado: 20 de mayo 2024
Aceptado: 02 de julio 2024
Publicado: 18 de julio 2024



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Resumen

Las bacterias *Streptomyces* son microorganismos que se encargan de degradar la materia orgánica acumulada en el suelo y transformarla en compuestos asimilables por las plantas. Son bacterias que controlan microorganismos fitopatógenos y participan como promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). El objetivo fue evaluar en cepas de *Streptomyces* la capacidad PGPR y antagonista de hongos fitopatógenos. A 10 cepas se les determinó la actividad de solubilización de fosfatos, producción de sideróforos y capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Se observó que todas fijaron nitrógeno, 5/10 cepas solubilizaron fosfatos y 9/10 produjeron sideróforos. En cuanto al antagonismo, 4/10 cepas inhibieron el crecimiento de *Fusarium oxysporum* destacando la cepa B153. La cepa B153 mostró más altos porcentajes de inhibición (estadísticamente significativos) contra diversos hongos fitopatógenos respecto a la cepa comercial *S. lydicus* WYEC108. *Streptomyces* sp B153 se puede considerar como una cepa con potencial capacidad de promover el crecimiento vegetal y controlar el desarrollo de hongos fitopatógenos.

Introducción

Los bioinsumos microbianos son todos aquellos productos que contienen microorganismos benéficos que desempeñan un importante papel en la producción de alimentos de origen vegetal, libres de compuestos tóxicos contenidos en los agroinsumos de origen



químico sintético. Entre las funciones principales que los bioinsumos realizan están las relacionadas a mejorar la fertilidad del suelo, mantener una buena productividad agrícola usando menos productos químicos, contribuir en evitar el uso de pesticidas químicos y su dispersión al ambiente y proporcionar mejoras sustanciales en la inocuidad de los alimentos de origen agrícola (Nosheen, Ajmal, & Song, 2021). El efecto benéfico de los bioinsumos en el suelo se ve reflejado por la presencia de una mayor cantidad de nutrientes asimilables por las plantas y menor presencia de microorganismos patógenos que les causan enfermedades. Los microorganismos que forman parte de los bioinsumos contribuyen en el crecimiento vegetal y su productividad realizando diversas actividades de manera directa o indirecta, entre las que destacan: fijación biológica de nitrógeno en vida libre o en simbiosis, solubilización de fosfato, producción de fitohormonas, supresión de enfermedades por medio de agentes de control biológico, disminución del estrés abiótico y biorremediación de contaminantes (Glick & Gamalero, 2021; Santoyo *et al.*, 2021; Sehrawat, Sindhu, & Glick, 2022; Kumar *et al.*, 2022)

A nivel mundial, la producción agrícola en los campos de cultivo es afectada por la presencia de hongos y omicetos patógenos, los cuales causan pérdidas en la productividad de alrededor el 70 al 80%, además de que se ve drásticamente reducida la calidad e inocuidad de los productos hortofrutícolas (Yang, Shuai-Wen & Kun-Tai, 2019). Los hongos son un grupo diverso de microorganismos que cumplen funciones biológicas y ecológicas muy importantes; sin embargo, poco más de 8 000 especies son patógenos de plantas (Shuping & Eloff, 2017). Esta diversidad de hongos fitopatógenos provoca afectaciones sobre las raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas. Algunas de las especies más importantes son *Botrytis cinerea* o moho gris, que causa daño en un amplio rango de especies vegetales, incluyendo muchas especies que producen granos (De Angelis *et al.*, 2022). La antracnosis es una enfermedad provocada por muchas especies del género *Colletotrichum*, que afectan flores, hojas y frutos provocando severos daños en los cultivos, principalmente frutales. *C. gloeosporioides* es considerada la principal especie patógena que afecta frutos como mango y papaya en la etapa postcosecha, aunque se ha reportado que *C. siamense* y *C. asianum* han causado daños severos en mango (Kamle *et al.*, 2013; Tovar-Pedraza *et al.*, 2020). Por otra parte, existen hongos, entre los que se puede señalar a *Fusarium oxysporum*, que causan daños severos a nivel del sistema radicular de la planta. En particular, este patógeno afecta una gran variedad de cultivos provocando marchitamiento en las plantas y su muerte (Dean *et al.*, 2012). Finalmente, otro de los hongos importantes es *Lasiodiplodia theobromae*, que es una especie que provoca la llamada muerte descendente y pudrición del pedúnculo en frutos de mango, papaya, aguacate, entre otros (Picos-Muñoz *et al.*, 2015).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar en diferentes cepas de *Streptomyces* la potencial capacidad de actuar como PGPR y antagonizar el crecimiento de hongos fitopatógenos.



Materiales y métodos

Microorganismos empleados en el estudio

Las cepas de *Streptomyces* empleadas en el estudio se encuentran conservadas en el Banco de Germoplasma de Actinomicetos en la Subsección Sureste del CIATEJ. Todas ellas se aislaron de muestras de suelos rizosféricos obtenidas de localidades ubicadas en los estados de Campeche, Chiapas, Hidalgo y Yucatán. La cepa comercial *S. lydicus* WYEC108 se usó en los experimentos de antagonismo como control positivo.

Los hongos fitopatógenos utilizados fueron cultivos monospóricos de *F. oxysporum*, *F. oxysporum* f. sp. lycopersici, *F. oxysporum* f. sp. gladioli, *B. cinerea*, *Aspergillus* sp., *L. theobromae* y *C. siamense* (Evangelista-Martínez *et al.*, 2022).

Actividad antagonista

La búsqueda inicial de estreptomicetos antagonistas sobre el crecimiento de los hongos fitopatógenos se realizó mediante experimentos de confrontación dual en placas Petri con medio de crecimiento ISP No. 2, empleando a *Fusarium oxysporum* f. sp. gladioli (Bredholdt *et al.*, 2007; Rios-Hernández, Uc-Vázquez, & Evangelista-Martínez, 2021). Para ello, se depositaron 3 µl de la SE (suspensión de esporas) de cada cepa hacia un lado de la placa Petri, aproximadamente 0.5 cm del borde, y en el lado opuesto 3 µl de la SE de *S. lydicus* WYEC108. Después de 20 min, se depositó al centro de cada placa Petri un disco de agar de 9 mm de diámetro cubierto con micelio activo de los hongos fitopatógenos. Un disco de agar cubierto con micelio activo de los hongos depositado al centro de una placa Petri sin los estreptomicetos se usó como control del crecimiento. Las cepas se consideraron antagonistas cuando se observó que el crecimiento del micelio del hongo en dirección al estreptomiceto se detuvo y quedó separado del borde de la colonia. El efecto se determinó como (-), sin antagonismo; (+) actividad antagónica baja; (++) actividad antagónica media; (+++), actividad antagónica alta. Se realizaron tres repeticiones por cada cepa evaluada.

Experimentos posteriores para evaluar el Porcentaje de inhibición (PI) de las cepas seleccionadas sobre otros hongos fitopatógenos se realizaron tal como se describió previamente. El experimento concluyó cuando el crecimiento micelial del hongo en el control alcanzó el borde de la placa Petri, momento en el cual se registró el crecimiento del hongo con un vernier. El porcentaje de inhibición (PI) se determinó con la fórmula: $PI (\%) = (CH - CE) / CH \times 100$, en donde CH representa el crecimiento radial del hongo (mm) de la placa control, y CE, representa el crecimiento radial del hongo (mm) en la dirección de la bacteria antagonista (Evangelista-Martínez *et al.*, 2020). El experimento consistió de tres replicas por cada hongo evaluado.



Evaluación de las propiedades promotoras de crecimiento vegetal

a) Solubilización de fosfatos

La determinación cualitativa de la solubilización de fosfatos se llevó a cabo en el agar NBRIP (Nautiyal, 1999). Se depositaron 3 μ l de la SE de las cepas aisladas a una placa Petri con el medio, se dejaron secar y enseguida se colocaron en una incubadora mantenida a 37 °C durante 10 días hasta la aparición de halos claros alrededor de las colonias. Los aislados que presentaron halos claros se seleccionaron y enseguida se repitió el proceso previamente descrito. Posterior al tiempo de incubación, se midió con un vernier el diámetro de las colonias y del halo claro a su alrededor. La eficiencia de solubilización de fosfatos se determinó como: Índice de solubilización de fosfatos (ISF) = Diámetro Total (DT, colonia + halo) / Diámetro de la Colonia (DC) (Tariq *et al.*, 2022).

b) Producción de sideróforos

La detección de sideróforos producidos por los estreptomicetos seleccionados se realizó empleando medio agar azul CAS (Cromo azurol S) (Louden *et al.*, 2011). Inicialmente, se inocularon cajas de ISP 2 con las distintas cepas dejándolas crecer a 29 °C por 12 días; de cada placa Petri se obtuvo un disco de agar de 9 mm de diámetro que se colocó sobre las placas Petri con el medio CAS. Las placas se mantuvieron a 29 °C por 10 días. La aparición de halos amarillos a translucidos alrededor de los discos de agar se consideró evidencia de la producción de sideróforos. El Índice de producción de sideróforos (ISid) se determinó como: ISid) = Diámetro Total (DT, disco de agar + halo claro) / Diámetro del disco de agar (DDA). Los experimentos se realizaron por duplicado.

c) Fijación biológica de nitrógeno

El experimento para determinar que las cepas realizan fijación biológica de nitrógeno consistió en inocular 3 μ l de la SE de las cepas aisladas a una placa Petri con el medio Ashby, medio de cultivo libre de nitrógeno (Roy, 1958). Las placas se mantuvieron a 29 °C por 10 días. Las colonias que lograron crecer en el medio de cultivo fueron consideradas como capaces de crecer en un medio sin nitrógeno.

d) Análisis estadístico

El porcentaje de inhibición se expresó como la media \pm la desviación estándar. Las medias se compararon mediante una prueba de Análisis de Varianza de dos vías seguido por la prueba de Tukey (P = 0.05), usando el software MiniTab v18 (Minitab, LLC).



Resultados y Discusión

Selección preliminar de los estreptomicetos con actividad antagonista

La selección de las cepas de *Streptomyces* con actividad antagonista contra hongos fitopatógenos se evaluó de manera cualitativa sólo contra *F. oxysporum* f. sp. gladioli (Foxy), una especie patógena muy virulenta que causa la pudrición de los cormos de gladiolo (Rios-Hernández *et al.*, 2021). De las 10 cepas evaluadas cualitativamente, en cuatro se observó actividad inhibitoria del crecimiento de Foxy, de las cuales dos mostraron actividad antagónica baja (CHS20 y CACIA-3.39HGO, +), una cepa con actividad media (G1512, ++) y una con actividad alta (G153, +++) (Tabla 1). A estas cuatro especies se les realizaron experimentos de antagonismo adicionales con la finalidad de determinar su potencial como agentes de control biológico contra diversos hongos fitopatógenos.

Actividad preliminar de PGPR en *Streptomyces* spp

La exploración de la actividad *in vitro* de PGPR de los estreptomicetos se evaluó para las 10 cepas. Todas las cepas fueron capaces de crecer en el medio de crecimiento Ashby que carece de fuente de nitrógeno; sin embargo, algunas cepas se diferenciaron de otras porque mostraron un crecimiento de la colonia más robusto y vigoroso, tal como las cepas CACIA-1.7HGO, CACIA-1.33HGO y CACIA-3.39HGO. Respecto al índice de solubilización de fosfatos (ISF) en el medio NBRIP, cinco de las cepas mostraron actividad de solubilización, siendo la cepa CHS20 la que mostró un halo traslucido alrededor de la colonia y con el índice más elevado (1.88 ± 0.16). Respecto a la producción de sideróforos, se observó en 9 de las 10 cepas evaluadas la presencia de un halo claro alrededor del disco de agar colocado en el medio CAS, con valores del ISid que fluctuaron entre 1.43 a 2.04 (Tabla 1 y Figura 1).

De las cepas evaluadas, CHS-20 y CACIA-1.7HGO parecen ser las mejores especies que *in vitro* presentan actividad de PGPR, tomando en cuenta que ambas fijan el nitrógeno atmosférico, ambas solubilizan PO_4 , aunque CHS-20 es la que mejor lo solubiliza y CACIA-1.7HGO es la que muestra una mejor producción de sideróforos (Tabla 1).

Tabla 1. Actividad promotora del crecimiento de las plantas (PGPR) *in vitro* de *Streptomyces* spp.

<i>Streptomyces</i> sp Cepa	Antagonismo vs Foxy	Fijación N_2 at- mosférico	Solubilización de PO_4 (ISF)	Sideróforos (ISid)
CACIA-1.7HGO	-	+++	1.21 ± 0.14	2.04 ± 0.20
CACIA-1.33HGO	-	+++	1.26 ± 0.02	1.63 ± 0.16
CACIA-3.39HGO	+	+++	1.16 ± 0.02	ND
ACTINO Y36	-	++	ND	1.47 ± 0.07
CHS-20	+	++	1.88 ± 0.16	1.84 ± 0.07



G153	+++	+	1.38 ± 0.12	1.76 ± 0.05
G155	-	++	ND	2.02 ± 0.27
G158	-	++	ND	1.43 ± 0
G1510	-	+	ND	1.57 ± 0.20
G1512	++	+	ND	1.84 ± 0.30

Antagonismo: Foxy, *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*; (-), sin antagonismo; (+), antagonismo bajo; (++) , antagonismo moderado; (+++) , antagonismo alto. Fijación de N₂: (+), poco crecimiento de la colonia; (++) , crecimiento moderado de la colonia; (+++) , crecimiento robusto de la colonia. ND, actividad no detectada.

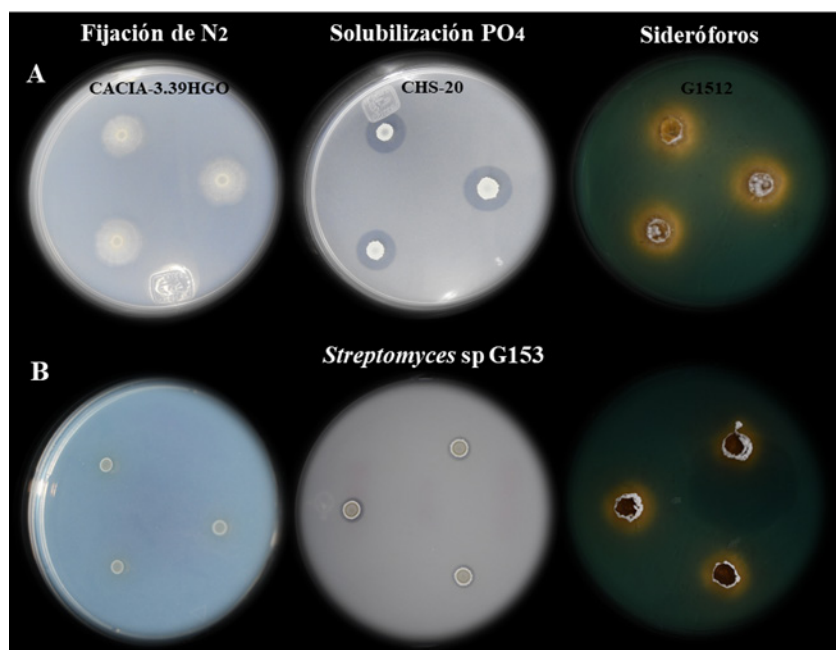


Figura 1. Actividad PGPR de diferentes especies de *Streptomyces* spp. A) Cepas de *Streptomyces* con las mejores actividades de fijación de N₂ (CACIS-3.39HGO), solubilización de fosfatos (CHS-20) y producción de sideróforos (G1512). B) Actividad PGPR *in vitro* de *Streptomyces* sp G153

Se conoce que un buen número de especies de *Streptomyces* participan en promover el crecimiento vegetal, en el control biológico de plagas y microorganismos fitopatógenos a través de la producción de fitohormonas, sideróforos, enzimas extracelulares, compuestos volátiles, compuestos antimicrobianos, entre otros. Además, participan en incrementar la biodisponibilidad de los nutrientes del suelo y disminuir los efectos abióticos negativos (salinidad, sequía, contaminantes) que afectan a las plantas (Nazari *et al.*, 2023). Tal es el caso de la especie *Streptomyces cirratus* (ST3E), la cual indujo un aumento del tamaño del vástago y peso seco de plantas de ajo, mientras que con otras cepas como *Streptomyces* sp (ST2A) se observó un aumento del tamaño de la raíz, y con las cepas *Streptomyces* sp (ST8A) y *Streptomyces* sp (ST8B) se logró un aumento en el diámetro del bulbo del ajo (Condori-Pacsi, Fernández-Guzman, & Valderrama-Valencia, 2019).



Actividad antagonista *in vitro* de *Streptomyces* sp G153 contra diversos hongos fitopatógenos

Con las cuatro cepas que mostraron actividad antagonista cualitativa contra *F. oxysporum* f. sp. gladioli se realizó un experimento de antagonismo contra diversos hongos fitopatógenos y los resultados se muestran en la Tabla 2. Se observa que la cepa G153 fue la que inhibió el crecimiento de las siete especies de hongos fitopatógenos, en comparación con las otras tres cepas de estreptomicetos, con PI mayores al 80%, le siguió la cepa G1512 inhibiendo el crecimiento de cinco especies, *S. lydicus* WYEC108 (cuatro especies) y posteriormente CACIA-3.39HGO y CHS20, mostrando antagonismo contra dos y una especie de hongo, respectivamente. De manera general, tomando en cuenta los PI observados con todos los hongos, se observaron diferencias estadísticas entre las cepas de *Streptomyces* ($P < 0.05$, letras en mayúsculas). La cepa G153 mostró una amplia actividad inhibitoria contra los hongos fitopatógenos evaluados que se diferencia del resto por contar con valores de PI mayores a los de la cepa comercial *S. lydicus* WYEC108 (Tabla 2 y Figura 2). Inclusive la cepa G1512 superó a la especie comercial usada como control.

Respecto a los hongos fitopatógenos más susceptibles a la inhibición por las cepas de *Streptomyces*, se observó que *Aspergillus* sp resultó el más susceptible (4/5 cepas), seguido de *F. oxysporum* f. sp. gladioli, *B. cinerea* y *C. siamense* (3/5 cepas).

Tabla 2. Porcentaje de inhibición (PI) de las cepas de *Streptomyces* seleccionadas contra diversos hongos fitopatógenos

Hongo	<i>Streptomyces</i> sp CACIA-3.39HGO ^c	<i>Streptomyces</i> sp CHS-20 ^c	<i>Streptomyces</i> sp G153 ^a	<i>Streptomyces</i> sp G1512 ^b	<i>S. lydicus</i> WYEC108 ^b
I	4.02 ± 2.2 °	3.13 ± 2.0 °	80.11 ± 0.6 ^a	68.40 ± 1.3 ^b	1.87 ± 0.6 °
II	1.23 ± 0.7 °	2.81 ± 0.2 °	86.09 ± 2.1 ^a	68.62 ± 2.5 ^b	5.89 ± 1.7 °
III	1.58 ± 0.6 °	2.98 ± 0.8 °	84.65 ± 0.3 ^a	70.46 ± 1.8 ^{ab}	65.64 ± 0.5 ^b
IV	53.98 ± 2.6 °	3.37 ± 1.6 ^d	95.35 ± 0.8 ^a	2.35 ± 1.4 ^d	74.54 ± 2.9 ^{bb}
V	16.05 ± 2.9 °	39.45 ± 1.8 ^b	87.09 ± 4.8 ^a	83.39 ± 1.9 ^a	45.95 ± 2.1 ^b
VI	53.98 ± 1.2 °	3.37 ± 0.3 ^d	95.35 ± 0.6 ^a	2.35 ± 2.2 ^d	74.54 ± 1.5 ^b
VII	2.97 ± 1.6 °	4.82 ± 2.5 °	89.74 ± 1.4 ^a	71.37 ± 5.2 ^b	3.95 ± 0.7 °

I-*Fusarium oxysporum*; II- *F. oxysporum* f. sp. lycopersici; III-*F. oxysporum* f. sp. gladioli; IV-*Botrytis cinerea*; V-*Aspergillus* sp.; VI-*Lasiodiplodia theobromae*; VII-*Colletotrichum siamense*. *Las medias con letras diferentes difieren significativamente ($P = 0.05$).

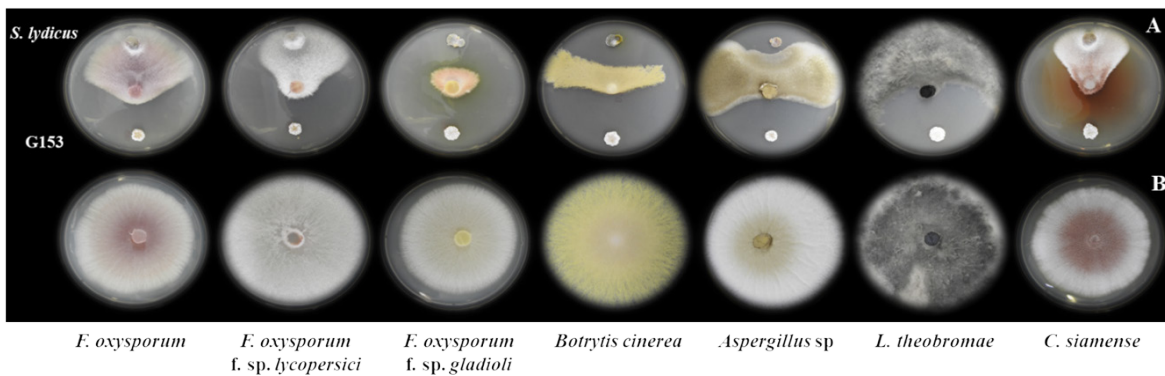


Figura 2. Actividad antagonista *in vitro* de *Streptomyces* sp B153 contra diversos hongos fitopatógenos. A) Antagonismo por medio de confrontación dual en placas Petri de la cepa B153 en comparación con *S. lydicus* WYEC108. B) Control de crecimiento de los hongos evaluados

Algunas cepas de *Streptomyces* sp. (CACIS-1.5CA y CACIS-2.15CA) han mostrado actividad antagonista contra hongos fitopatógenos de las especies *C. musae*, *C. siamense*, *B. cinerea*, *L. theobromae*, *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp. que causan pudriciones en frutos, así como en contra de especies de hongos de los géneros *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Phytophthora*, que causan daño en otros tejidos vegetales como en raíz (Evangelista-Martínez *et al.*, 2020; Rios-Muñiz & Evangelista-Martínez, 2022).

Las bacterias del género *Streptomyces* se caracterizan por estar distribuidas en todos los ambientes, tanto terrestres como acuáticos. Este grupo de bacterias Gram positivas se caracterizan por desarrollar un micelio filamentoso, formar esporas y producir una gran variedad de metabolitos secundarios con actividades diversas, destacando las actividades antibacterianas, antifúngicas, antitumorales, citotóxicas, entre otras (Law *et al.*, 2017; Qi *et al.*, 2019). En los suelos desempeñan un papel muy importante en la degradación de la materia orgánica a través del amplio repertorio de enzimas extracelulares que excreta, entre las que se pueden nombrar a proteasas, celulasas, xilanasas, quitinasas, lipasas, entre otras más (Kumar *et al.*, 2020).

Conclusiones

El uso de las bacterias del género *Streptomyces* en la agricultura es una alternativa prometedora para poder reducir la demanda de los agroquímicos tomando en consideración el potencial que tienen estas bacterias para ser empleadas en actividades de promoción de crecimiento vegetal y en el control de organismos fitopatógenos.

La cepa *Streptomyces* sp G153 mostró los mejores PI contra todos los hongos fitopatógenos, además de mostrar actividades *in vitro* relacionadas a la promoción de crecimiento vegetal, un poco limitadas. Por lo que resulta importante avanzar en el desarrollo de una formulación de un bioinsumo agrícola que pueda ser evaluada en invernadero y campo.



Conflicto de interes

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

El trabajo fue financiado con los proyectos CONACYT-PN-2016-2900 y Proyecto CF-2022-320612: Paradigmas y controversias de la Ciencia.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por otorgar el financiamiento de las becas de estudios de posdoctorado de la Dra. Diana E. Rios-Muñiz (CVU 391737) y de la Dra. Fabiola Islas Lugo (CVU 172926).

Referencias

- Bredholdt, H., Galatenko, O. A., Engelhardt, K., Fjaervik, E., Terekhova, L. P. & Zotchev, S. B. (2007). Rare actinomycete bacteria from the shallow water sediments of the Trondheim fjord, Norway: isolation, diversity, and biological activity. *Environmental Microbiology*, 9, 2756–2764. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01387.x>
- Condori-Pacsi, S. J., Fernández-Guzman, P. R., & Valderrama-Valencia, M. R. (2019). Aislamiento y caracterización de *Streptomyces* spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal. *Idesia (Arica)*, 37(2), 109-116. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200109>
- De Angelis, G., Simonetti, G., Chronopoulou, L., Orekhova, A., Badiali, C., Petrucci, V., Portoghesi, F., D'Angeli, S., Brasili, E., Pasqua, G., & Palocci, C. (2022). A novel approach to control *Botrytis cinerea* fungal infections: uptake and biological activity of antifungals encapsulated in nanoparticle based vectors. *Scientific reports*, 12(1), 7989. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11533-w>
- Dean, R., Van Kan, J.A., Pretorius, Z.A., Hammond-Kosack, K.E., Di Pietro, A., Spanu P.D., Rudd, J.J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J., Foster, G.D. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 414–430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>
- Evangelista-Martínez, Z., Contreras-Leal, E.A., Corona-Pedraza, L.F., & Gastélum-Martínez, E. (2020). Biocontrol potential of *Streptomyces* sp. CA-CIS-1.5CA against phytopathogenic fungi causing postharvest fruit diseases. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30, 117. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00319-9>



- Evangelista-Martínez, Z., Ek-Cen, A., Torres-Calzada, C., Uc-Vázquez, A. (2022). Potential of *Streptomyces* sp. strain AGS-58 in controlling anthracnose causing *Colletotrichum siamense* from post-harvest mango fruits. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 553–563. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01104-3>.
- Glick, B.R., Gamalaro, E., (2021). Recent developments in the study of plant microbiomes. *Microorganisms*, 9(7), 1533. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071533>.
- Kamle, M., Kumar, P., Gupta, V. K., Tiwari, A. K., Misra, A. K., Pandey, B. K. (2013). Identification and phylogenetic correlation among *Colletotrichum gloeosporioides* pathogen of anthracnose for mango. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2(3), 285-287, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.04.001>.
- Kumar, M., Kumar, P., Das, P. Renu Solanki, Monisha Khanna Kapur1. (2020). Potential applications of extracellular enzymes from *Streptomyces* spp. in various industries. *Archives of Microbiology*, 202, 1597–1615. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01898-9>
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S., & Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094, <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>
- Law J.W., Ser, H.L., Khan, T.M., Chuah, L.H., Pusparajah, P., Chan, K.G., Goh, B.H., Lee, L.H. (2017). The potential of *Streptomyces* as biocontrol agents against the rice blast fungus, *Magnaporthe oryzae* (*Pyricularia oryzae*). *Frontiers in Microbiology*, 8, 3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00003>
- Louden, B.C., Haarmann, D., Lynne, A.M. (2011). Use of Blue Agar CAS Assay for Siderophore Detection. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(1), 51-53. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v12i1.249>
- Nautiyal, C.S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 170(1), 265-270. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>
- Nazari, M.T., Schommer, V.A., Braun, J.C.A., dos Santos, L.F., Lopes, S.T., Simon, V. Machado, B.S., Ferrari, V., Colla, L.M., & Piccin, J.S. (2023). Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. *Rhizosphere*, 27, 100741. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100741>
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13(4),1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>
- Picos-Munoz, P.A, García-Estrada, R.S., Leon-Felix, J., Sanudo-Barajas, A., Allende-Molar, R. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* in agricultural crops in Mexi-



- co: taxonomy, host, diversity and control. *Revista mexicana de fitopatología*, 33(1), 54-74. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000100054&lng=es&tlng=en.
- Qi, D., Zou, L., Zhou, D., Chen, Y., Gao, Z., Feng, R., Zhang, M., Li, K., Xie, J., & Wang, W. (2019). Taxonomy and broad-spectrum antifungal activity of *Streptomyces* sp. SCA3–4 isolated from rhizosphere soil of opuntia stricta. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1390. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01390>
- Rios-Hernández, T.A., Uc-Vázquez, A., & Evangelista-Martínez, Z. (2021). Biological control of *Fusarium oxysporum* causal agent of gladiolus corm rot by streptomycetes. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(3), 391-413. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2105-3>
- Rios-Muñiz, D.E. & Evangelista-Martínez, Z. (2020). Antifungal activity of *Streptomyces* sp. CACIS-2.15CA, as a potential biocontrol agent, against some soil-borne fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00630-7>
- Roy, A. B. (1958). A new species of *Azotobacter* producing heavy slime and acid. *Nature*, 182, 120–121. <https://doi.org/10.1038/182120a0>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F.I., de los Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M.C., & Glick, B.R., (2021b). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11, 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>.
- Sehrawat, A., Sindhu, S.S., & Glick, B.R., (2022). Hydrogen cyanide production by soil bacteria: Biological control of pests and promotion of plant growth in sustainable agriculture. *Pedosphere*, 32 (1), 15–38. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60058-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60058-9)
- Shuping, D. S. S., & Eloff, J. N. (2017). THE USE OF PLANTS TO PROTECT PLANTS AND FOOD AGAINST FUNGAL PATHOGENS: A REVIEW. *African journal of traditional, complementary, and alternative medicines : AJTCAM*, 14(4), 120–127. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i4.14>
- Tariq, M. R., Shaheen, F., Mustafa, S., Ali, S., Fatima, A., Shafiq, M., Safdar, W., Sheas, M. N., Hameed, A., & Nasir, M. A. (2022). Phosphate solubilizing microorganisms isolated from medicinal plants improve growth of mint. *PeerJ*, 17, 10:e13782. <https://doi.org/10.7717/peerj.13782>
- Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Lima, N. B., Michereff, S. J. Sandoval-Islas, J. S., Câmara, M. P. S. Téliz-Ortiz, D. & Leyva-Mir, S. G. (2020). Distribution and Pathogenicity of *Colletotrichum* Species Associated With Mango Anthracnose in Mexico. *Plant Disease*, 104 (1), 137-146. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0178-RE>



Yang, Y., Shuai-Wen, Z., Kun-Tai, L. (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://doi.org/10.1007/s11274-019-2720-z>