

ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE *Bacillus* SPP. CONTRA *Fusarium verticillioides* Y *Alternaria solani*

Raquel Rubio-González, Israel Méndez-Meza, Lucina Hernández-Martínez,
Alejandro Hernández-Morales*

Escuela de Bioquímica, Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

*alejandro.hernandez@uaslp.mx

Resumen

Fusarium verticillioides y *Alternaria solani* son dos hongos fitopatógenos que causan enfermedades en cereales y solanáceas. Una alternativa para el control de estos fitopatógenos son las bacterias del género *Bacillus* que producen lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos. El objetivo de este trabajo fue determinar la actividad inhibitoria de cinco aislados de *Bacillus* spp. contra *F. verticillioides* y *A. solani*. Para evaluar la inhibición, los hongos se sembraron en placas de PDA envenenadas con sobrenadante de los cultivos bacterianos; mientras que el efecto de los volátiles se determinó mediante la técnica de placa dividida. Se realizaron tres réplicas por tratamiento más un control positivo con la cepa *Bacillus subtilis* Q11. Además, se amplificaron los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos mediante la reacción de PCR. Los resultados obtenidos indican que *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 poseen los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos del tipo iturinas, surfactinas y fengicinas; mientras que *Bacillus* sp. CIS45, iturinas y surfactinas; *Bacillus* sp. CIS49 fengicinas y *B. subtilis* Q11, iturinas; sugiriendo que pueden sintetizar al menos un tipo de lipopéptido. Aunque los aislados sintetizan lipopéptidos, solo inhibieron el desarrollo de *F. verticillioides*, siendo *Bacillus* sp. CIS49 la bacteria con mejor efecto. Respecto a los volátiles, sólo se observó inhibición de *A. solani* en un rango del 48.75 % al 67.73 %. Los resultados indican que *F. verticillioides* es inhibido por compuestos tipo lipopéptidos, mientras que *A. solani* es inhibido por volátiles sintetizados por *Bacillus* sp. En conclusión, los aislados de *Bacillus* spp. poseen actividad inhibitoria contra *F. verticillioides* y *A. solani*.

Palabras clave: Biocontrol, inhibición, hongos fitopatógenos.

Introducción

La actividad agrícola genera aproximadamente el 80% de los alimentos que se consumen a nivel mundial y contribuye al desarrollo económico, social y ambiental (Villarreal *et al.*, 2018). Sin embargo, es afectada por diferentes factores ambientales entre los que se encuentran las enfermedades causadas por fitopatógenos. Las enfermedades en plantas provocan pérdidas anuales estimadas entre el 10 al 15 % en los principales cultivos del mundo, con pérdidas económicas directas de hasta cientos de miles de millones de dólares. De estas enfermedades, el 70-80% son causadas por hongos fitopatógenos.

En los últimos años, las enfermedades fúngicas de los cultivos se han vuelto cada vez más graves, ya que afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos (Peng *et al.*, 2021), entre estas se encuentran las patologías causadas por *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani*.

F. verticillioides es un patógeno necrótrofo por la capacidad que tiene de causar la muerte del tejido hospedero y sobrevive como saprófito en el rastrojo, siendo transmitido por el suelo hacia la planta hospedera, el maíz (*Zea mays* L.). *F. verticillioides* es responsable de importantes pérdidas de rendimiento al causar pudrición de raíces, tallos y mazorcas, y pérdidas en la calidad debido a la acumulación de micotoxinas en los granos (Einloft *et al.*, 2021). Las fumonisinas son las principales toxinas que se sintetizan en el tejido del hospedero y en los granos del maíz, disminuyen la calidad e inducen toxicidad pleiotrópica en animales, incluyendo neurotoxicidad, nefrotoxicidad y hepatotoxicidad con un impacto relevante en la salud humana (Liu *et al.*, 2019).

A. solani causa enfermedades en el follaje (tizón temprano), tallos basales de plántulas (podredumbre del cuello), tallos de plantas adultas (lesiones del tallo) y frutos (podredumbre del fruto) del tomate. El tizón temprano es la enfermedad más destructiva en especies de la familia de las solanáceas entre las cuales se encuentra el tomate, la berenjena y la papa (Chaerani y Voorrips, 2006). En las plántulas,

primero se desarrollan manchas oscuras en los cotiledones, tallos y hojas verdaderas, mientras que en las hojas de la parte inferior de las plantas más viejas aparecen manchas de color marrón oscuro con anillos concéntricos oscuros. Luego se produce una defoliación severa debido a la muerte de las hojas afectadas (Muimba, 2018). Existen diversos compuestos químicos tales como plaguicidas y fungicidas para controlar a los hongos fitopatógenos. Sin embargo, son tóxicos para el ser humano, contaminan los suelos y mantos acuíferos e incrementan el costo de la producción. Asimismo, se ha demostrado que contribuyen a la generación de resistencia en hongos fitopatógenos. Por lo que es necesario buscar alternativas sustentables para el control de los fitopatógenos fúngicos (Villarreal *et al.*, 2018). Una alternativa sustentable es el uso de bacterias del género *Bacillus*, las cuales producen lipopéptidos antifúngicos como las fengicinas, surfactinas e iturinas que inhiben el desarrollo de gran variedad de hongos fitopatógenos (Harwood *et al.*, 2018). Adicionalmente se ha demostrado que especies pertenecientes al género *Bacillus* producen compuestos orgánicos volátiles entre los que se encuentran la acetoína, benzaldehído, benzotiazol y acetofenona que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos (Grahovac *et al.*, 2023). Debido a las características mencionadas, el género *Bacillus* spp. posee amplio potencial para el desarrollo de bioformulados con efecto antifúngico. Por lo que el propósito de esta investigación es evaluar el efecto inhibitorio de cinco aislados de *Bacillus* spp. contra *F. verticillioides* y *A. solani* y determinar si el efecto antifúngico es mediado por lipopéptidos o compuestos orgánicos volátiles.

Objetivo

Determinar el efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani*.

Materiales y métodos

Microorganismos utilizados

Los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 se recuperaron del cepario del Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Estudios Profesionales

Zona Huasteca. Las cepas de *Bacillus subtilis* Q11, *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani* fueron donadas por la empresa SinQuimia SA de CV.

Obtención de lipopéptidos y técnica de alimento envenenado

Los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 se inocularon en 10 mL de caldo LB y se incubaron a 30 °C con agitación a 200 rpm durante toda la noche. Una alícuota de los cultivos se transfirió a 200 mL de caldo LB y se incubó a 30 °C con agitación a 200 rpm durante 120 h de fermentación (Cao *et al.*, 2012). Transcurrido el tiempo de incubación, se recuperó el sobrenadante mediante centrifugación a 13000 rpm durante 30 min y se guardó en refrigeración hasta su uso. Para la técnica de alimento envenenado se utilizó la metodología propuesta por Erhonyota *et al.* (2023). Para ello, se pesó el agar dextrosa papa (PDA) y se disolvió en el sobrenadante recuperado de cada cultivo. El medio se esterilizó a 120 °C, 15 lb de presión durante 15 minutos. El medio se dejó enfriar y se vertió en placas de Petri de 100 x 15 mm. Para el ensayo de inhibición, un disco de micelio de 0.5 cm de cada uno de los hongos se inoculó en el centro de las placas de PDA envenenadas. Como control positivo se utilizaron placas de PDA preparadas con el sobrenadante de *B. subtilis* Q11. Para el control negativo el disco de micelio de cada hongo se sembró en placas de PDA que no contenían sobrenadante. Las placas se incubaron a 30 °C durante una semana y se monitoreó comparando el desarrollo de los tratamientos con respecto a la placa control en medio PDA. Se realizaron tres réplicas por tratamiento, incluyendo el control positivo y negativo. El análisis estadístico se realizó en el programa Graphad V10. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó mediante la comparación de medias por el método Tukey. *terminación de genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos*

Se obtuvo DNA de los cinco aislados de *Bacillus* sp. y *B. subtilis* Q11 utilizando el kit GeneJET Genomic DNA Purification K0721 (Thermo SCIENTIFIC). Se utilizaron los oligonucleótidos reportados por Cao *et al.*, (2012) para amplificar los genes de las principales familias de lipopéptidos (*ituD* y *bamC*), surfactinas (*srfAB*) y fengicinas (*fenB*). Las condiciones para la reacción en cadena de la polimerasa fueron las siguientes, desnaturalización: 95 °C -10 min, 35 ciclos de 95 °C -30 segundos, 55 °C

-30 segundos, 72 °C -1 min, extensión final 72 °C -5 min. Los productos obtenidos se tiñeron GelRed (Química Valaner) y se visualizaron en un transluminador Solo Elite Vision.

Evaluación del efecto de los compuestos orgánicos volátiles

La técnica de placa dividida se realizó de acuerdo con lo reportado por Kong *et al.* (2020). En una placa de Petri con dos divisiones se vertió agar LB y PDA de manera independiente. En el medio LB se inoculó cada una de las bacterias a evaluar, mientras que en el agar PDA se colocó un disco de micelio de *F. verticillioides* o *A. solani*. Se realizaron tres réplicas por tratamiento más el control positivo con *B. subtilis* Q11 y un control negativo en el cual se inoculó el disco de micelio en agar PDA, mientras que en la división con agar LB sin inoculación. El análisis estadístico se realizó en el programa Graphad V10. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó mediante la comparación de medias por el método Tukey.

Resultados

Determinación del efecto de Bacillus spp. contra F. verticillioides

Para determinar si los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 producen lipopéptidos, se obtuvieron compuestos extracelulares sintetizados durante 120 h de fermentación en caldo LB. *F. verticillioides* se cultivó en las placas envenenadas y se monitoreó el desarrollo del hongo en cada uno de los tratamientos y se comparó con el crecimiento en las placas de PDA utilizadas como control negativo. Los resultados indican que *Bacillus* sp. CIS49 es el aislado que muestra mayor efecto inhibitorio en el desarrollo de *F. verticillioides* en un 34% ($p < 0.05$), mientras que los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 ejercen menor inhibición en un 20% aproximadamente (Figura 1).

Para determinar el efecto antagónico mediado por compuestos orgánicos volátiles los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 se co-cultivaron con *F. verticillioides*, utilizando la técnica de placa dividida. Los resultados mostraron desarrollo similar de *F. verticillioides* en los tratamientos y en el control negativo, sugiriendo que los compuestos orgánicos volátiles producidos por

los aislados de *Bacillus* spp. y *B. subtilis* SQ11 carecen de efecto inhibitorio contra el hongo (Figura 1).

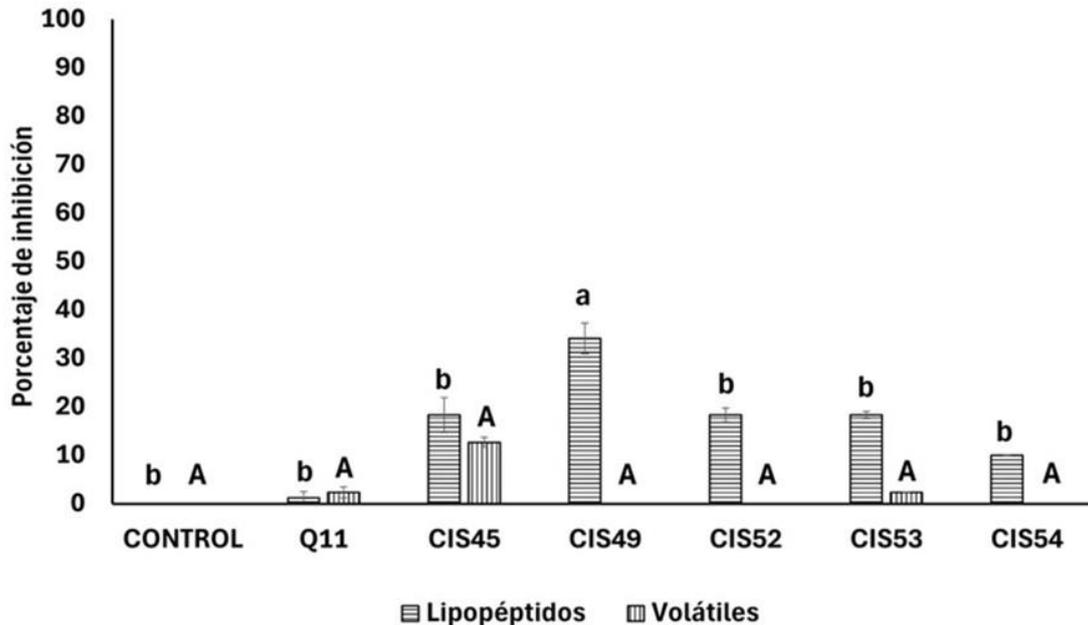


Figura 1. Efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Fusarium verticillioides*. Nota: Letras distintas indican diferencia significativa $p < 0.05$.

Determinación del efecto de *Bacillus* spp. contra *A. solani*

Para determinar el efecto inhibitorio de los lipopéptidos sintetizados por *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 contra *A. solani*, se obtuvieron compuestos extracelulares producidos durante 120 h de fermentación en caldo LB. *A. solani* se cultivó en las placas envenenadas y se monitoreó el desarrollo en cada uno de los tratamientos con respecto al crecimiento en las placas control. Los resultados muestran desarrollo similar de *A. solani* en los tratamientos y en los controles, sugiriendo que los compuestos extracelulares producidos por los cinco aislados de *Bacillus* spp. carecen de efecto inhibitorio contra el hongo. El análisis estadístico muestra que el desarrollo de *A. solani* en los tratamientos es no significativo con respecto a los controles.

En lo que respecta al efecto de los compuestos orgánicos volátiles los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 se co-cultivaron con *A. solani* en placas con dos divisiones. Se observó inhibición del desarrollo de *A. solani* cuando se co-cultivó con los aislados y con la cepa *B. subtilis* Q11, con porcentajes de inhibición desde $48.75 \pm 10.62\%$ para *Bacillus* sp. CIS45, mientras que, para el resto de los aislados y la cepa *B. subtilis* Q11 se observaron porcentajes de inhibición mayores al 60%. El análisis estadístico muestra que todos los tratamientos son similares entre sí, pero diferentes al control negativo, lo cual indica que los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 inhiben el desarrollo de *A. solani* (Figura 2).

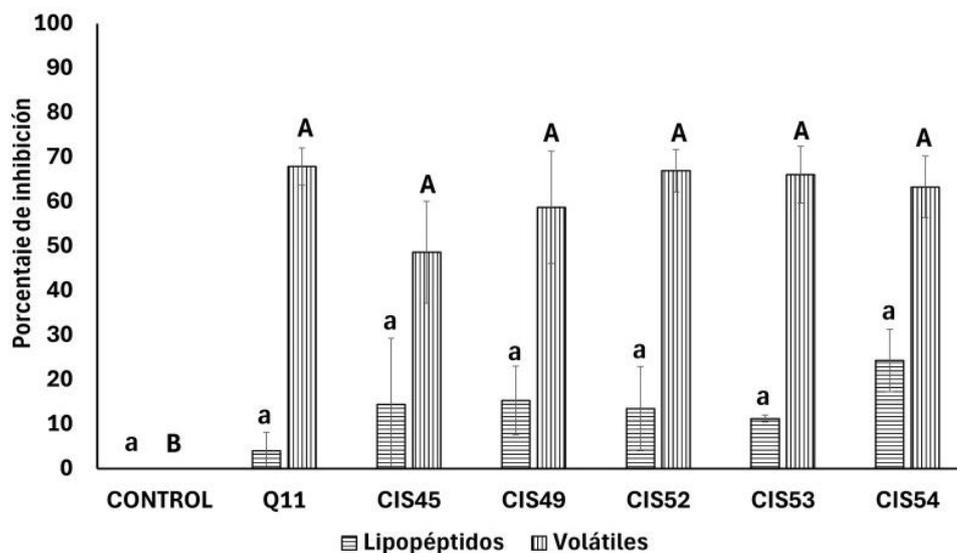


Figura 2. Efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Alternaria solani*. Nota: Letras distintas indican diferencia significativa $p < 0.05$.

Identificación de los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos

Uno de los principales metabolitos que producen los *Bacillus* sp. son los lipopéptidos, los cuales han sido clasificados en tres familias iturinas, surfactinas y fengicinas. Para determinar si los *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 poseen los genes para la síntesis de lipopéptidos se extrajo DNA y se amplificaron los genes involucrados en la síntesis lipopéptidos. Se amplificaron los genes *bamC* e *ituD*

involucrados en la síntesis de iturinas, *srfAB* para la síntesis de surfactinas y *fenB* para las fengicinas. En la reacción de PCR se obtuvieron productos de amplificación con los tamaños esperados *bamC*, 850 pb; *ituD*, 647 pb; *srfAB*, 308 pb y *fenB*, 767 pb. En *Bacillus* sp. CIS45 se identificaron los genes *ituD* y *srfAB*, mientras que en *Bacillus* sp. CIS49 se identificó el gen *fenB*. Para el resto de los aislados *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 se amplificaron los cuatro genes *bamC*, *ituD*, *srfAB* y *fenB* (Tabla 1). Los resultados sugieren que los cinco aislados podrían producir al menos un tipo de lipopéptido. En cuanto a la cepa *B. subtilis* Q11 solo se identificó el gen *ituD*.

Tabla 1. Genes identificados en *Bacillus* spp.

Familia	Gen	Q11	CIS45	CIS49	CIS52	CIS53	CIS54
Iturinas	<i>bamC</i>	nd	nd	Nd	+	+	+
	<i>ituD</i>	+	+	Nd	+	+	+
Surfactinas	<i>srfAB</i>	nd	+	Nd	+	+	+
Fengicinas	<i>fenB</i>	nd	nd	+	+	+	+

Discusión

El género *Bacillus* comprende más de 60 especies ampliamente distribuidas en la naturaleza, se encuentran en el suelo, asociados a las raíces de las plantas y se propagan hacia el agua, plantas y animales (Villarreal et al., 2018). La colonización de las raíces por bacterias del género *Bacillus* es benéfica para la planta huésped. Las plantas proporcionan los nutrientes, mientras que *Bacillus* proporciona compuestos bacterianos y actividades que estimulan el crecimiento vegetal y brindan protección contra fitopatógenos (Hashem et al., 2019). La capacidad antagónica de los *Bacillus* está mediada por compuestos denominados lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos (Shafi et al., 2017; Villarreal et al., 2018; Valenzuela et al., 2024). Los lipopéptidos se han clasificado en tres familias iturinas, surfactinas y fengicinas, son potentes disruptores de la integridad estructural, al digerir componentes de la envoltura celular, ya sea por lisis o inhibición de la biosíntesis de membrana. Los lipopéptidos pueden agregarse

de manera selectiva, formando poros que permiten el paso descontrolado de iones y otros solutos a través de los canales, conduciendo a la muerte celular.

Para determinar si los cinco aislados de *Bacillus* sintetizan lipopéptidos, se amplificaron los genes involucrados en la síntesis de iturinas, surfactinas y fengicinas. Los resultados obtenidos sugieren que *Bacillus* sp. CIS45 sintetiza iturinas y surfactinas, *Bacillus* sp. CIS49 fengicinas, mientras que *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 los tres tipos de lipopéptidos iturinas, surfactinas y fengicinas. En lo que respecta al efecto antagónico se encontró efecto moderado de *Bacillus* sp. CIS49 contra *F. verticillioides*; mientras que el resto de los aislados y la cepa *B. subtilis* Q11 carecen de efecto inhibitorio. Respecto a *A. solani* ninguno de los cinco aislados ni la cepa *B. subtilis* Q11 mostraron efecto inhibitorio. Los resultados difieren de los reportados previamente por otros autores quienes reportaron una fuerte inhibición de *F. verticillioides* por lipopéptidos de *B. velezensis* sintetizados durante 72 h de fermentación (Dinitz *et al.*, 2024). Mientras que Zhang *et al.* (2022) reportaron la inhibición de *A. solani* por lipopéptidos de *B. subtilis* producidos durante 12 horas de fermentación. Por lo que es necesario reducir los tiempos de fermentación, analizar la expresión de los genes y comprobar la producción de los lipopéptidos por los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54.

En lo que respecta a la inhibición mediada por compuestos orgánicos volátiles se observó que los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 inhiben el desarrollo de *A. solani*, mientras que en *F. verticillioides* no se observó inhibición. Se han reportado que *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. cereus* producen compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos. En general los volátiles se clasifican en el grupo de alcoholes, cetonas y benzotiazoles (Grahovac *et al.*, 2023). Si bien, en este estudio no se identificaron los compuestos orgánicos volátiles es probable que el efecto observado en *A. solani* se deba a metabolitos previamente reportados para el género *Bacillus* sp. Finalmente, es necesario identificar los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54.

Conclusión

Los bacilos estudiados inhiben el desarrollo de los hongos fitopatógenos, siendo *Bacillus* sp. CIS49 el aislado que muestra mayor efecto inhibitorio contra *F. verticillioides*, este efecto podría deberse a lipopéptidos de la familia de las fengicinas. Respecto a los volátiles, *A. solani* es inhibido por los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54. En general, los lipopéptidos inhiben el desarrollo de *F. verticillioides* y los compuestos orgánicos volátiles inhiben el desarrollo de *A. solani*.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con el apoyo del Programa Presupuestario F003 CB2017-2018 (antes Fondo Sectorial de Investigación para la Educación CONACYT). Número de proyecto A1-S-40454. Lucina Hernández-Martínez agradece a CONAHCYT por la beca otorgada para los estudios de Maestría en Ciencias Bioquímicas con número de CVU 1230688.

Referencias

Cao, Y., Xu, Z., Ling, N., Yuan, Y., Yang, X., Chen, L., Shen, B., Shen, Q. (2012). Isolation and identification of lipopeptides produced by *B. subtilis* SQR 9 for suppressing *Fusarium* wilt of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.002>

Chaerani, R., Voorrips, R.E. (2006). Tomato early blight (*Alternaria solani*): The pathogen, genetics, and breeding for resistance. In *Journal of General Plant Pathology*, 72(6). <https://doi.org/10.1007/s10327-006-0299-3>

Diniz, G. de F.D., Figueiredo, J.E.F., Canuto, K.M., Cota, L.V., Souza, A.S. de Q., Simeone, M.L.F., Tinoco, S.M. de S., Ribeiro, P.R.V., Ferreira, L.V.S., Marins, M.S., Oliveira, P.C.A., Dos Santos, V.L. (2024). Chemical and genetic characterization of lipopeptides from *Bacillus velezensis* and *Paenibacillus ottowii* with activity against *Fusarium verticillioides*. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1443327>

Einloft, T.C., Hartke, S., De Oliveira, P.B., Saraiva, P.S., Dionello, R.G. (2021). Selection of rhizobacteria for biocontrol of *Fusarium verticillioides* on non-

rhizospheric soil and maize seedlings roots. In *European Journal of Plant Pathology*, 160(3). <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02259-y>

Erhonyota, C., Edo, G.I., Onoharigho, F.O. (2023). Comparison of poison plate and agar well diffusion method determining the antifungal activity of protein fractions. *Acta Ecologica Sinica*, 43(4): 684-689.
<https://doi.org/10.1016/J.CHNAES.2022.08.006>

Grahovac, J., Pajčin, I., Vlajkov, V. (2023). Bacillus VOCs in the Context of Biological Control. In *Antibiotics*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030581>

Harwood, C.R., Mouillon, J.M., Pohl, S., Arnau, J. (2018). Secondary metabolite production and the safety of industrially important members of the *Bacillus subtilis* group. In *FEMS Microbiology Reviews*. 42(6). <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy028>

Hashem, A., Tabassum, B., Fathi Abd_Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. In *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26(6). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>

Kong, W.L., Rui, L., Ni, H., Wu, X.Q. (2020). Antifungal Effects of Volatile Organic Compounds Produced by *Rahnella aquatilis* JZ-GX1 Against *Colletotrichum gloeosporioides* in *Liriodendron chinense* × *tulipifera*. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01114>

Liu, X., Fan, L., Yin, S., Chen, H., Hu, H. (2019). Molecular mechanisms of fumonisin B1-induced toxicities and its applications in the mechanism-based interventions. In *Toxicon*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.06.009>

Mumba, K.A. (2018). Vegetable Production. *Food Crop Production by Smallholder Farmers in Southern Africa*, 205-274. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814383-4.00011-6>

Peng, Y., Li, S.J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J.P., Gao, A.J., Yao, X., Ruan, J.J., Xu, B.L. (2021). Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. In *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135>

Shafi, J., Tian, H., Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. In *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 31(3). <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>

Valenzuela, R.V., Gándara, L.A., Villarreal, D.M.F., Villa, R.E.D., Parra, C.F.I., Santoyo, G., Gómez, G.L.J., Cira, C.L.A., De los Santos, V.S. (2024). Regulation, Biosynthesis, and Extraction of *Bacillus*-Derived Lipopeptides and Its Implications in

Biological Control of Phytopathogens. In *Stresses*, 4(1).
<https://doi.org/10.3390/stresses4010007>

Villarreal, D.M.F., Villa, R.E.D., Cira, C.L.A., Estrada, A.M.I., Parra, C.F.I., De los Santos, V.S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

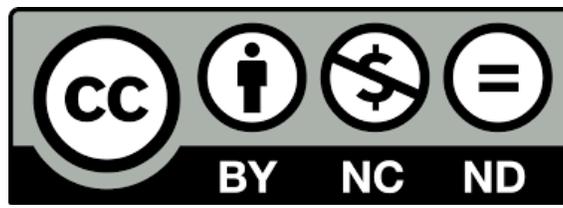
Zhang, D., Qiang, R., Zhou, Z., Pan, Y., Yu, S., Yuan, W., Cheng, J., Wang, J., Zhao, D., Zhu, J., Yang, Z. (2022). Biocontrol and Action Mechanism of *Bacillus subtilis* Lipopeptides' Fengycins Against *Alternaria solani* in Potato as Assessed by a Transcriptome Analysis. *Frontiers in Microbiology*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.861113>



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Rubio-González, R., Méndez-Meza, I., Hernández-Martínez, L., y Hernández-Morales, A. (2024). **ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE *Bacillus* SPP. CONTRA *Fusarium verticillioides* Y *Alternaria solani***. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024_Paper12.html