





Actividad antifúngica de bacterias endófitas para el control de *Fusarium verticillioides* en maíz

Antifungal activity of endophytic bacteria controlling *Fusarium verticillioides* in maize

Epifanio Castro del Ángel¹ ,
Francisco Daniel Hernández-Castillo^{1*} ,
Gabriel Gallegos-Morales¹ ,
Yisa María Ochoa-Fuentes¹ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro 1923. CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

*Autor de correspondencia:
fdanielhc@hotmail.com

Nota científica

Recibida: 08 de enero 2021

Aceptada: 03 de agosto 2021

Como citar: Castro del Ángel E, Hernández-Castillo FD, Gallegos-Morales G, Ochoa-Fuentes YM (2021) Actividad antifúngica de bacterias endófitas para el control de *Fusarium verticillioides* en maíz. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2): e2790. DOI: 10.19136/era.a8n2.2790

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue conocer la actividad antifúngica de dos aislamientos endófitos de *Bacillus amyloliquefaciens* contra *Fusarium verticillioides* bajo condiciones de laboratorio e invernadero. La inhibición *in vitro* en cultivos duales del hongo fitopatógeno se obtuvo en un rango del 59 al 62%. Las bacterias endófitas redujeron la incidencia y la severidad de *F. verticillioides* más del 80% en las plantas que recibieron el tratamiento con respecto al testigo. La aplicación individual de las bacterias endófitas incrementó el contenido de clorofila en las hojas más del 150% que el testigo. Los niveles de clorofila, el diámetro de tallo y el peso del fruto incrementó en las plantas que recibieron el tratamiento de las cepas antagonistas. La corroboración molecular de las cepas bacterianas indicó el 99% de identidad con *Bacillus amyloliquefaciens* contenidas en el banco de datos del GenBank con clave de acceso KU570451.1 y KX665550.1.

Palabras clave: Biocontrol, *Bacillus amyloliquefaciens*, incidencia, promoción de crecimiento, severidad.

ABSTRACT. The objective of this research was to know the antifungal activity of two endophytic isolates of *Bacillus amyloliquefaciens* against *Fusarium verticillioides* under laboratory and greenhouse conditions. *In vitro* dual cultures inhibition of phytopathogenic fungus was detected in a range of 59 to 62%. The endophytic bacteria reduced *F. verticillioides* incidence and severity more than 80% in plants that received the treatment compared to the control. The individual application of endophytic bacteria increased the chlorophyll content in leaves more than 150% compared to the control. Chlorophyll levels, stem diameter and fruit weight increased in all plants that received the antagonist strains treatment. The molecular corroboration of bacterial strains indicated 99% of identity with *Bacillus amyloliquefaciens* contained in GenBank database with access codes KU570451.1 and KX665550.1.

Key words: Biocontrol, *Bacillus amyloliquefaciens*, growth promotion, incidence, severity.

INTRODUCCIÓN

La pudrición del tallo, la mazorca y la raíz del maíz causada por *Fusarium verticillioides* afecta la producción de cultivos en las regiones tropicales y subtropicales (Figuerola-López *et al.* 2016, Kuki *et al.* 2020); se transmite por el suelo y es responsable de las principales pérdidas de rendimiento además de causar pérdidas de calidad debido a la acumulación de micotoxinas en los granos (Einloft *et al.* 2021). Las micotoxinas son un grupo de metabolitos secundarios producidas por hongos filamentosos, las cuales causan daños a la salud humana y animal (Caglayan *et al.* 2020).

Una de las toxinas mayormente producidas por *F. verticillioides* son las fumonisinas (Kamle *et al.* 2019), que inducen toxicidad pleiotrópica en animales, incluyendo neurotoxicidad, nefrotoxicidad y hepatotoxicidad con un impacto relevante en la salud humana (Liu *et al.* 2019). En humanos están asociadas con apoptosis, cáncer de esófago y defectos del tubo neural (Ahangarkani *et al.* 2014). La falta y escasa accesibilidad de métodos de control eficaces y ambientalmente seguros han llevado a un mayor interés en alternativas prácticas y biológicas para reducir la ingesta de fumonisinas; los métodos químicos y agronómicos que previenen la pudrición de la mazorca de maíz no son eficientes debido a que *F. verticillioides* infecta sistémicamente sin producir síntomas, pudiéndose propagar desde la semilla al grano (Wang *et al.* 2016).

El control biológico es una alternativa prometedora y ecológicamente amigable en el manejo de enfermedades de las plantas, se reportan varios agentes de control biológico como posibles biofungicidas (Nasir *et al.* 2018). Los microorganismos endófitos se asocian con plantas hospedadoras compatibles y brindan beneficios a través de la producción de fitohormonas, la suplementación de nutrientes y la supresión del acceso de patógenos al hospedero (Singh *et al.* 2020). El género *Bacillus* es uno de los más predominantes que se encuentra en el suelo, y se han reportado diferentes especies en diversos nichos ecológicos; se sabe que los miembros de este género tienen múltiples rasgos

benéficos que ayudan a las plantas directa o indirectamente a través de la adquisición de nutrientes, inducción del crecimiento mediante la producción de fitohormonas, protección contra patógenos y otros factores abióticos (Saxena *et al.* 2019). Las especies de *Bacillus* muestran actividad antimicrobiana de amplio espectro y se han utilizado como agentes de control biológico en la agricultura (Chen *et al.* 2020). Recientemente, se ha reportado que *B. amyloliquefaciens* posee actividad de biocontrol y es eficaz para controlar patógenos como: *Erysiphe cichoracearum*, *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*, *Fusarium avenaceum* f. sp. *fabae*, *Streptomyces scabies*, *Monilinia fructigena*, *F. graminearum*, *Gaeumannomyces graminis*, *Setosphaeria turcica*, *Verticillium dahliae*, *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycoperisci*, *Botrytis cinerea* y *F. solani* (Jiao *et al.* 2020). Por lo cual, el objetivo de esta investigación fue conocer la actividad antifúngica de dos aislamientos endófitos de *Bacillus amyloliquefaciens* contra *Fusarium verticillioides* bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de bacterias endófitas

El aislamiento se realizó de plantas de papa variedad Fiana de acuerdo con la metodología de Pérez *et al.* (2010). Las cepas se caracterizaron bioquímicamente de acuerdo con las características reportadas por Schaad *et al.* (2001) y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su corroboración molecular.

Aislamiento e identificación del fitopatógeno

F. verticillioides se aisló de plantas de maíz con síntomas de marchitez y acame. El hongo se identificó por sus características morfológicas y fenotípicas en medio de cultivo PDA y Carnation Leaf Agar (CLA) (Leslie y Summerell 2006).

Corroboración molecular de las cepas

La cepa de *F. verticillioides* fue cultivada durante 12 días en medio Czapek-Dox (Correll *et al.* 1989), las bacterias en caldo LB durante 48 h en

un agitador rotatorio a 26 °C. La extracción del ADN genómico se realizó con la metodología de Nicholson *et al.* (2001). La secuenciación de las regiones parciales del gen 16S rRNA e ITS1-ITS4 se llevó a cabo por el laboratorio Macrogen. Las secuencias obtenidas se compararon con las reportadas en la base de datos del NCBI del GenBank.

Capacidad antagonista *in vitro*

Se estableció un ensayo en cultivo dual por triplicado (Hernández-Castillo *et al.* 2014). La inhibición, se calculó con la siguiente ecuación: $PI = 100 - [(Cr * 100) / Rp]$. Donde: PI = inhibición del crecimiento del hongo, Cr = crecimiento micelial del hongo y Rp = radio de la placa (Hernández-Castillo *et al.* 2008).

Efecto del biocontrol *in planta* bajo condiciones de invernadero

El cultivo de maíz (UA-Vanta) se desarrolló en un invernadero con cubierta de polipropileno. Se utilizaron macetas de 10 Kg de capacidad con suelo pasteurizado. Al momento de la siembra se inocularon 25 mL de la suspensión de 1×10^9 conidios mL^{-1} de *F. verticillioides* y simultáneamente aspersión de 1×10^8 ufc mL^{-1} de *B. amyloliquefaciens* al momento de la siembra, la segunda aplicación cuando las plantas alcanzaron 15 cm de altura y la última 15 días después de la segunda. Los tratamientos evaluados fueron: (Fv+Ba 21) *F. verticillioides* + *B. amyloliquefaciens* cepa 21, (Fv+Ba 53) *F. verticillioides* + *B. amyloliquefaciens* cepa 53, (Ba 21) *B. amyloliquefaciens* cepa 21, (Ba 53) *B. amyloliquefaciens* cepa 53, (Fv) *Fusarium verticillioides*, (T) Testigo absoluto. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. La incidencia de la enfermedad se evaluó como porcentaje; la severidad con una escala arbitraria de seis clases reportada por Castro *et al.* (2017).

B. amyloliquefaciens en la promoción de crecimiento

Cien días después de la emergencia se determinó el peso del fruto en etapa R2, diámetro de tallo,

peso seco del follaje y el contenido de clorofila en las hojas expresado en unidades SPAD.

Análisis estadístico

Las diferencias en inhibición, incidencia de la enfermedad, el peso del fruto, diámetro de tallo, peso seco del follaje y el contenido de clorofila se determinaron por la prueba de medias de Tukey (P = 0.05). La severidad fue analizada con la prueba de Kruskal-Wallis. Los análisis se realizaron con el programa SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento e identificación de las cepas

Se aislaron 28 cepas de bacterias endófitas, de las cuales *Bacillus amyloliquefaciens* cepa 21 y *B. amyloliquefaciens* cepa 53 presentaron el más alto porcentaje de inhibición; las cuales se identificaron con tinción de Gram positiva, presencia de flagelos peritricos, prueba de RYU y oxidasa negativa, resultado positivo en catalasa, oxidación, fermentación y motilidad. La espora se encontró al centro del cuerpo bacteriano. Crecieron a temperaturas de 45 °C-65 °C, en pH 5.7 y en concentraciones de NaCl a 7%, pero no en 5% y 3%. Tuvieron crecimiento anaeróbico en glucosa. Produjeron ácido a partir de arabinosa y negativo en manitol. Fueron positivas en la reacción Voges-Proskauer, hidrólisis de almidón y citrato. La corroboración molecular se basó en el análisis de la secuencia del gen 16S rRNA, mostrando 99% de homología con las secuencias contenidas en la base de datos del GenBank con clave de acceso KU570451.1 y KX665550.1, respectivamente.

F. verticillioides se aisló de tallos de maíz infectados y se identificó en base a la formación de microconidios y macroconidios (Leslie y Summerell 2006, Sameer *et al.* 2018); la corroboración molecular arrojó 99.60% de identidad con las secuencias de *F. verticillioides* cepa QN0629 contenida en el Genbank con clave de acceso MN121060. El hongo *F. verticillioides* se identificó como el agente causal de pudrición de tallo y acame en el cultivo del maíz lo que coincide con reportes realizados por Figueroa-

López *et al.* (2016).

Capacidad antagonista *in vitro*

Los resultados de la actividad antifúngica se reportan visualmente en la Figura 1, representa la experimentación con clara indicación de la zona de inhibición que fue medida en centímetros y comparados con el testigo. La inhibición de crecimiento radial del patógeno causado por las cepas antagonistas osciló de 59 a 62%. La máxima inhibición de crecimiento radial se detectó con la cepa *B. amyloliquefaciens* cepa 53 contra *F. verticillioides* con 62% de inhibición, seguida de la cepa 21 (59%). Otros aspectos de la interacción entre los antagonistas y el fitopatógeno durante el ensayo de cultivo dual fue notorio que a partir del sexto día se detuvo el crecimiento del hongo, indicando una alta competencia por el espacio y los nutrientes (Figura 2).

La capacidad de inhibición de *Bacillus* se atribuye a la producción de compuestos antimicrobianos, como policétidos; síntesis de enzimas líticas, producción de hormonas, de compuestos orgánicos volátiles, competencia por espacio y nutrientes e inducción de resistencia sistémica (Pedraza *et al.* 2020). *Bacillus amyloliquefaciens* puede actuar contra *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *F. proliferatum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *F. equiseti* y *F. semitectum* (Xu *et al.* 2021). Otros géneros como *Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Brevibacillus*, *Geobacillus*, *Paenibacillus* y *Terribacillus* también son antagonistas de *F. verticillioides* (Figuroa-López *et al.* 2016).

Efecto de biocontrol *in planta*

B. amyloliquefaciens redujo significativamente la incidencia y severidad del fitopatógeno ($P < 0.0001$). La cepa 53 presentó 20% de incidencia, mientras que la cepa 21 presenta 80% en comparación con las plantas inoculadas solo con el patógeno (100%). La severidad fue de 2.5 en los tratamientos de la cepa 53 y de 14.38 en la cepa 21 con relación al patógeno (40.83). Al respecto Martínez-Álvarez *et al.* (2016) reportan una formulación a base de *Bacillus* capaz de controlar *F. verticillioides* en invernadero. El recubrimiento de semillas de tomate con bacte-

rias endofíticas redujo la incidencia y severidad de *F. oxysporum* en campo y estimularon el crecimiento de las plantas (Koohakan *et al.* 2020). En adición a lo anterior, se puede mencionar que las cepas de los antagonistas endófitos estudiados son promisorios para reducir la severidad de la enfermedad contra *F. verticillioides*.

B. amyloliquefaciens en la promoción de crecimiento

El análisis en la actividad de las cepas de *B. amyloliquefaciens* contra *F. verticillioides* incrementó significativamente el contenido de clorofila en comparación con el testigo (Tabla 1). La clorofila es un pigmento fotosintético importante para la planta, que determina en gran medida la capacidad fotosintética y, por lo tanto, el crecimiento de la planta (Li *et al.* 2018). La inoculación de plantas con *B. cereus*, *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* influyó positivamente en el desempeño del mecanismo fotosintético en plantas de pimiento para aumentar la fluorescencia de la clorofila y los parámetros de intercambio de gases (Samaniego *et al.* 2016). La aplicación de *B. thuringiensis* y quitosano mejoró el crecimiento de plantas de pimiento y aumentó significativamente el contenido de clorofila, el parámetro de fluorescencia de la clorofila y el rendimiento de frutos (ALKahtani *et al.* 2020). La degradación de la clorofila se reduce en hojas de arroz por el efecto de *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* durante la infección (Atta *et al.* 2018), lo que demuestra que las plantas enfermas por algún fitopatógeno tienen menos clorofila que las sanas. Por su parte, Cunha *et al.* (2015) mencionan que el período de más necesidad de nitrógeno es establecido en función del SPAD, comprobado al realizar la fertilización nitrogenada. Es importante mencionar que el experimento se mantuvo libre de fertilización química y los valores más altos del contenido de clorofila es por el efecto de la inoculación de las bacterias endófitas.

Dentro de las bondades del género *Bacillus* se encuentra la promoción del crecimiento vegetal; por lo que las plantas de maíz inoculadas con las cepas endófitas de *B. amyloliquefaciens* en ausencia del fitopatógeno se observó un incremento del peso fresco

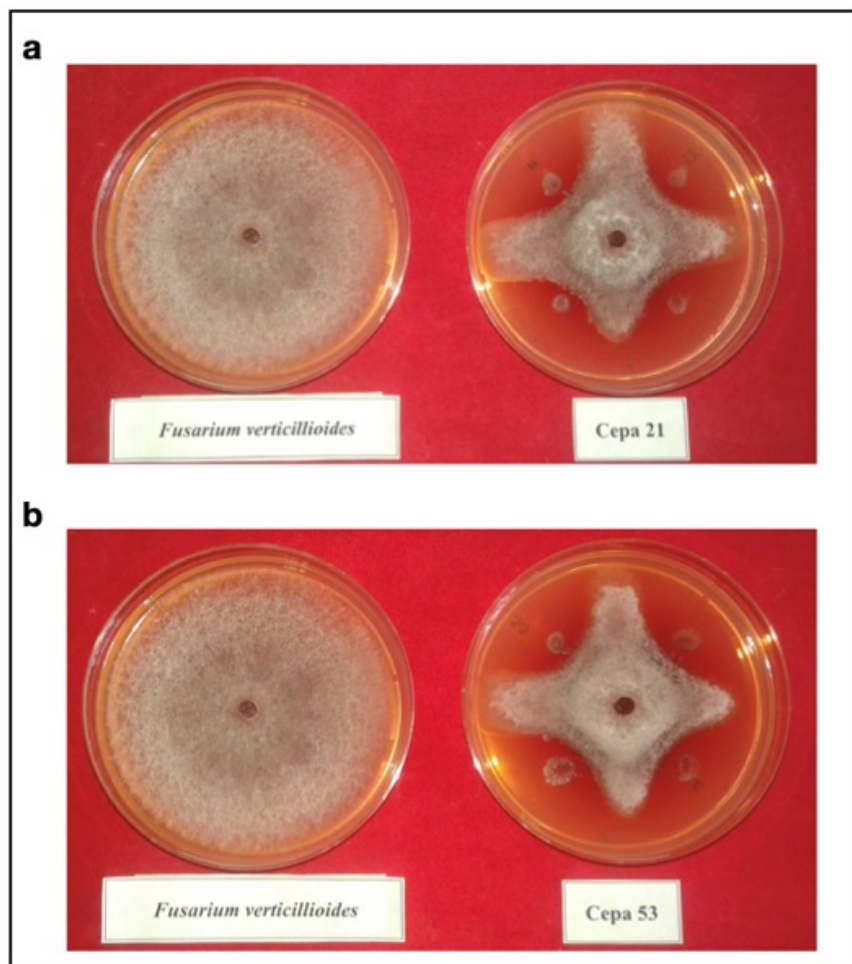


Figura 1. Antagonismo *in vitro* de *Bacillus amyloliquefaciens* cepa 21 (a) y *B. amyloliquefaciens* cepa 53 (b) sobre el crecimiento micelial de *F. verticillioides* en cultivos duales, evaluado a los 11 días de incubación.

del fruto, diámetro de tallo y peso seco de biomasa aérea en comparación con el testigo (Tabla 1). La mejora de estas variables fue notoria por la cepa 53 al sobreponerse sobre el testigo y el resto de los tratamientos. *Bacillus* produce 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa que confiere la inducción de tolerancia al estrés por sequía y promoción del crecimiento vegetal en *Solanum lycopersicum* (Gowtham *et al.* 2020). La altura y el peso fresco de biomasa de plántulas de *S. lycopersicum* se pueden incrementar con la aplicación de filtrados libres de células de *B. subtilis* (Cabello *et al.* 2019). El género *Bacillus* exhibe propiedades bioquímicas como la solubilización de fosfatos, producción de

ácido indolacético y actividad ACC deaminasa, relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal (Chávez-Ambriz *et al.* 2016). Por lo que es importante mencionar que el experimento se mantuvo libre de la aplicación de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas). Por lo que la cepa 53 sobresalió por su efecto estimulador del crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz en invernadero.

Se aisló e identificó a *F. verticillioides* como agente causal de pudrición y acame del cultivo de maíz. La cepa 53 de *Bacillus amyloliquefaciens* exhibió una alta actividad antagonista contra *F. verticillioides* en cultivos duales. La incidencia y severidad de *F. verticillioides* se redujo en las plantas inoculadas

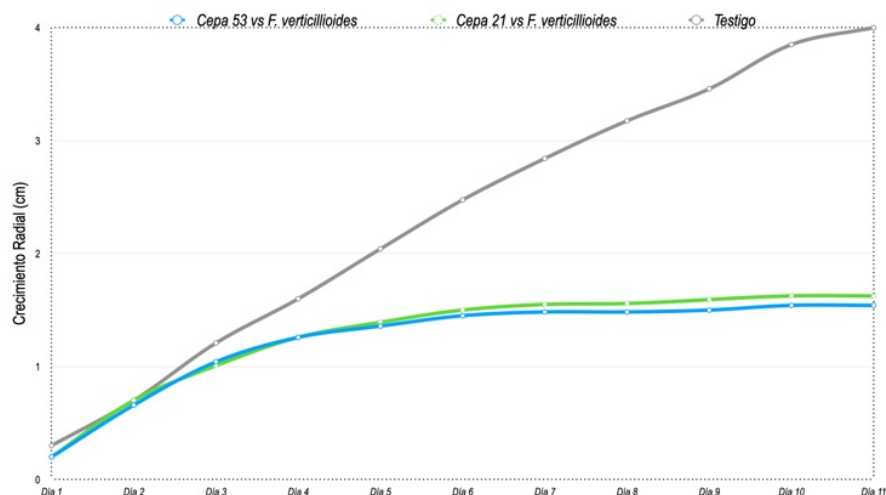


Figura 2. Dinámica de crecimiento de *Fusarium verticillioides*.

Tabla 1. Inducción de crecimiento de los agentes de control biológico en el ensayo de invernadero.

Tratamiento	Clorofila (spad)	Peso fresco de fruto (gr)	Diametro de tallo (cm)	Peso seco de biomasa (gr)
Fv+Ba 21	37.5 ^{ab}	7.3 ^a	5.2 ^a	7.6 ^a
Fv+Ba 53	37.6 ^{ab}	9.2 ^a	5.0 ^a	9.5 ^a
Ba 21	37.9 ^{ab}	8.9 ^a	5.3 ^a	9.7 ^a
Ba 53	40.3 ^a	10.5 ^a	5.4 ^a	10.8 ^a
FV	28.1 ^{ab}	5.7 ^a	4.8 ^a	5.8 ^a
T	25.4 ^b	6.9 ^a	4.1 ^a	7.0 ^a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey, P = 0.05.

con las cepas de *B. amyloliquefaciens*. Las cepas endófitas tuvieron efecto positivo en la inducción de crecimiento del cultivo de maíz bajo condiciones de invernadero.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a Epifanio Castro del Ángel para realizar el Doctorado en Parasitología Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México.

LITERATURA CITADA

- Anguiano Cabello JC, Flores Olivas A, Olalde Portugal V, Arredondo Valdés R, Laredo Alcalá EI (2019) Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista Bio Ciencias* 6:e418. DOI: 10.15741/revbio.06.e418.
- Ahangarkani F, Rouhi S, Azizi IG (2014) A review on incidence and toxicity of fumonisins. *Toxin Reviews* 33: 95-100.
- ALKahtani MDF, Attia KA, Hafez YM, Khan N, Eid AM, Ali MAM, Abdelaal KAA (2020) Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy* 10(8): 1180. DOI: 10.3390/agronomy10081180

- Atta BM, Saleem M, Ali H, Arshad HMI, Ahmed M (2018) Chlorophyll as a biomarker for early disease diagnosis. *Laser Physics* 28(6): 065607. DOI: 10.1088/1555-6611/aab94f
- Caglayan MO, Üstündağ Z (2020) Detection of zearalenone in an aptamer assay using attenuated internal reflection ellipsometry and its cereal sample applications. *Food Chemistry Toxicology* 136: 11108. DOI: 10.1016/j.fct.2019.111081
- Castro del AE, Hernández CFD, Ochoa FYM, Gallegos MG, Castillo RF, Tucuch CFM (2017) Endophytic bacteria controlling *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia solani* in *Solanum tuberosum*. *European Journal of Physical and Agricultural Sciences* 5: 29-39.
- Chen K, Tian Z, He H, Long C, Jiang F (2020). *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. *Biological Control* 151: 104419. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104419
- Chávez-Ambríz LIA, Hernández-Morales A, Cabrera-Luna JA, Luna-Martínez L, Pacheco-Aguilar JR (2016) Aislados de *Bacillus* provenientes de la rizósfera de cactus incrementan la germinación y la floración en *Mammillaria* spp. (Cactaceae). *Revista Argentina de Microbiología* 48: 333-341.
- Correll JC, Klittich CJR, Leslie JF (1989) Heterokaryon self-incompatibility in *Gibberella fujikuroi* (*Fusarium moniliforme*). *Mycological Research* 93: 21-27.
- Cunha AR, Katz L, Sousa AP, Martinez URA (2015) Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisanthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)* 33: 97-105.
- Einloft TC, Hartke S, de Oliveira PB, Silveira SP, Gomes DR (2021) Selection of rhizobacteria for biocontrol of *Fusarium verticillioides* on non-rhizospheric soil and maize seedlings roots. *European Journal of Plant Pathology* 160: 503-518.
- Figuroa-López AM, Cordero-Ramírez JD, Martínez-Álvarez JC, López-Meyer M, Lizárraga-Sánchez GJ, Félix-Gastélum R, Castro-Martínez C, Maldonado-Mendoza IE (2016) Rhizospheric bacteria of maize with potential for biocontrol of *Fusarium verticillioides*. *Springer Plus* 5: 1-12. DOI: 10.1186/s40064-016-1780-x
- Gowtham HG, Singh SB, Murali M, Shilpa N, Prasad M, Aiyaz M, Amruthesh KN, Niranjana SR (2020) Induction of drought tolerance in tomato upon the application of ACC deaminase producing plant growth promoting rhizobacterium *Bacillus subtilis* Rhizo SF 48. *Microbiological Research* 234: 126422.
- Hernández-Castillo FD, Lira-Saldivar RH, Cruz-Chávez L, Gallegos-Morales G, Galindo-Cepeda ME, Padrón-Corral E, Hernández-Suárez M (2008) Antifungal potential of *Bacillus* spp. strains and *Larrea tridentata* extract against *Rhizoctonia solani* on potato (*Solanum tuberosum* L.) crop. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 77: 214-252.
- Hernández-Castillo FD, Lira-Saldivar RH, Gallegos-Morales G, Hernández-Suárez M, Solís-Gaona S (2014) Biocontrol of pepper wilt with three *Bacillus* species and its effect on growth and yield. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 83: 49-55.
- Jiao R, Munir S, He P, Yang H, Wu Y, Wang J, He P, Cai Y, Wang G, He Y (2020) Biocontrol potential of the endophytic *Bacillus amyloliquefaciens* YN201732 against tobacco powdery mildew and its growth promotion. *Biological Control* 143: 104160. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104160
- Kamle M, Mahato DK, Devi S, Lee KE, Kang SG, Kumar P (2019) Fumonisin: impact on agriculture, food, and human health and their management strategies. *Toxins* 11: 1-23. DOI: 10.3390/toxins11060328
- Koohakan P, Prasom P, Sikhao P (2020) Application of seed coating with endophytic bacteria for *Fusarium* wilt disease reduction and growth promotion in tomato. *International Journal of Agricultural Technology* 16: 55-62.

- Kuki MC, Pinto RJB, Bertagna FAB, Tessmann DJ, Teixeira do Amaral A, Scapim CA, Holland JB (2020) Association mapping and genomic prediction for ear rot disease caused by *Fusarium verticillioides* in a tropical maize germoplasm. *Crop Science* 60: 2867-2881.
- Leslie JF, Summerell BA (2006) *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing. USA. 388p.
- Li Y, He N, Hou J, Xu L, Liu C, Zhang J, Wang Q, Zhang X, Wu X (2018) Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6: 1-10. DOI: 10.3389/fevo.2018.00064
- 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. *Toxicon* 167: 1-5. DOI: 10.1016/j.toxicon.2019.06.009
- Martínez-Álvarez JC, Castro-Martínez C, Sánchez-Peña P, Gutiérrez-Dorado R, Maldonado-Mendoza IE (2016) Development of a powder formulation based on *Bacillus cereus* sensu lato strain B25 spores for biological control of *Fusarium verticillioides* in maize plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 32: 75. DOI: 10.1007/s11274-015-2000-5
- Nasir HA, Abbasi S, Sharifi, R, Jamali S (2018) The effect of biocontrol agents consortia against Rhizoctonia root rot of common bean *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Crop Protection* 7: 73-85.
- Nicholson TP, Rudd BAM, Dawson M, Lazarus CM, Simpson TJ, Cox RX (2001) Design and utility of oligonucleotide gene probes for fungal polyketide synthases. *Chemistry and Biology* 8: 157-178.
- Pedraza LA, López CA, Uribe-Vélez D (2020) Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana* 25: 112-125.
- Pérez A, Rojas J, Fuentes J (2010) Diversidad de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa*) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15: 219-228.
- Samaniego-Gámez BY, Garruña R, Tun-Suárez JM, Kantun-Can J, Reyes-Ramírez, Cervantes-Díaz L (2016) *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76: 409-416.
- Sameer K, Sobanbabu G, Sabarinathan KG, Parthiban VK, Ramamoorthy V (2018) Evaluation of phyllosphere antagonistic bacteria on the management of *Fusarium* ear rot of maize caused by *Fusarium verticillioides*. *Journal of Biological Control* 32: 257-263.
- Saxena KA, Murugan K, Chakdar H, Anuroopa N, Bagyaraj D (2019) *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology* 128: 1583-1594.
- Singh M, Srivastava M, Kumar A, Singh A K, Pandey KD (2020) 4- Endophytic bacteria in plant disease management. In: Ajay Kumar, Vipin Kumar Singh, (eds) Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Microbial Endophytes, Woodhead Publishing, pp: 61-89. DOI: 10.1016/b978-0-12-818734-0.00004-8
- Schaad NW, Jones JB, Chun W (2001) *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria*. APS Press. Minnesota. 373p.
- Wang Y, Zhou Z, Gao J, Wu Y, Xia Z, Zhang H, Wu J (2016) The mechanisms of maize resistance to *Fusarium verticillioides* by comprehensive analysis of RNA-seq data. *Frontiers in Plant Science* 7: 1654. DOI: 10.3389/fpls.2016.01654

Xu S, Wang Y, Hu J, Chen X, Qiu Y, Shi J, Wang G, Xu J (2021) Isolation and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* MQ01, a bifunctional biocontrol bacterium with antagonistic activity against *Fusarium graminearum* and biodegradation capacity of zearalenone. *Food Control* 130: 108259. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108259.