



Nota Fitopatológica

Potencial antagonista de rizobacterias nativas de *Parkinsonia aculeata* sobre *Fusarium* spp. asociado a maíces criollos del Bajío, México

Leandris Argente-Martínez¹, Ofelda Peñuelas-Rubio^{1*}, Francisco Cervantes-Ortíz³, Joe Luis Arias-Moscoso¹, Francisco Cadena-Cadena¹, Pamela Romo-Rodríguez², Lorenzo Pérez-López, Rosario Alicia Fierro-Coronado⁴. ¹Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui. Av. Tecnológico s/n, Bâcum, C. P. 85276 Sonora, México. ²Tecnológico Nacional de México campus Pabellón de Arteaga, Carretera a la estación de Rincón Km 1, Pabellón de Arteaga, C. P. 20670, Aguascalientes, México. ³Tecnológico Nacional de México campus Roque, Carretera Apaseo el Alto-Jerécuaro Km.12, Celaya, C. P. 38525, Guanajuato, México. ⁴Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Juan José Ríos, C. P. 81110, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia:
Ofelda Peñuelas-Rubio
openuelas.rubio@itvy.edu.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
15 Enero, 2026
Aceptado:
25 Abril, 2026
Publicado:
29 Abril, 2026

Cita:
Argente-Martínez L, Peñuelas-Rubio O, Cervantes-Ortíz F, Arias-Moscoso JL, Cadena-Cadena F, et al. 2026. Potencial antagonista de rizobacterias nativas de *Parkinsonia aculeata* sobre *Fusarium* spp. asociado a maíces criollos del Bajío, México. Revista Mexicana de Fitopatología 44(2): 123. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2601-2>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El género *Fusarium* comprende algunos de los hongos fitopatógenos más importantes que afectan al cultivo de maíz, ya que ocasionan enfermedades como la pudrición de la raíz, tallo y mazorca, que afectan la productividad agrícola de este cultivo. En la búsqueda de alternativas agrobiotecnológicas para el control de este hongo, se desarrolló el presente estudio para evaluar el potencial antagonista de rizobacterias de *Parkinsonia aculeata* contra cepas de *Fusarium* spp. asociadas a maíces criollos del Bajío, México.

Desarrollo experimental. Se emplearon dos cepas de *Fusarium* spp. (MC-03 y MC-05), aisladas de raíces de maíces nativos del Bajío, México con síntomas de Fusariosis. Estos hongos se confrontaron *in vitro* con nueve rizobacterias de *P. aculeata*: *Enterobacter cloacae* (BA1), *Priestia megaterium* (BA4 y BA-7B), *Sinomonas halotolerans* (BA10-B), BP5 (*Staphylococcus warneri*), BP6 (*P. endophytica*), *Bacillus subtilis* (TP1 y TP2) y *S. hominis* (TM6). Se realizó una caracterización micro-macroscópica de las cepas fúngicas y bioquímica para las rizobacterias. Se determinó la inhibición del crecimiento radial de los aislados fúngicos mediante confrontaciones duales hongo-rizobacterias por triplicado. Se empleó un diseño completamente aleatorizado, analizando los datos obtenidos en el software STATISTICA mediante una ANOVA basada en un modelo lineal de efectos fijos y una prueba comparación de medias por DMS ($p \geq 0.05$).

Resultados. A excepción de *P. endophytica* (BP6), todas las rizobacterias presentaron actividad enzimática relacionada con mecanismos de antagonismo fúngico. *B. subtilis* (TP1) produjo gluacanasas, lipasas y proteasas. La caracterización micro y macroscópica de las cepas fúngicas indicó que pertenecen a *Fusarium* spp. En la confrontación rizobacterias- MC-03, las cepas bacterianas de *B. subtilis* (TP1 y TP2) fueron estadísticamente iguales y lograron la mayor inhibición del crecimiento micelial (23 %). Con la cepa fúngica MC-05, *P. endophytica* (BP6) y *S. hominis* (TM6) fueron estadísticamente superiores al resto de las rizobacterias al momento inhibir el crecimiento micelial en 17 %, seguidas por las dos cepas de *B. subtilis* (TP1 y TP2) que inhibieron el 10 y 17 % respectivamente.

Conclusión. Existió variabilidad significativa en la respuesta del crecimiento micelial de los hongos ante las rizobacterias. *B. subtilis* (TP1 y TP2), *S. hominis* (TM6) y *P. endophytica* (BP6), presentaron un efecto antagonico, ya que inhibieron el crecimiento micelial de las cepas de *Fusarium* spp. hasta en 23 % respecto al control absoluto y comercial. El presente estudio establece las bases científicas preliminares para la obtención de un biofungicida con capacidades específicas de inhibición de los hongos estudiados.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, Hongos fitopatógenos, *Priestia endophytica*, *Staphylococcus hominis*, *Zea mays*



INTRODUCCIÓN

El género *Fusarium* comprende algunos de los patógenos más importantes en la agricultura desde el punto de vista económico (Sumerell *et al.*, 2010), que además de su comportamiento fitopatógeno, en su proceso de infección sintetizan micotoxinas de alta toxicidad que generan problemas de salud humana y animal (Velarde *et al.*, 2018). En el cultivo de maíz, ocasiona la pudrición de la raíz, tallo y mazorca. *Fusarium verticillioides* probablemente sea la más común en el mundo; sin embargo, otras especies como *F. subglutinans* y *F. proliferatum* se asocian a la misma sintomatología (Leyva-Madrigal *et al.*, 2014) y han sido reportadas en la región del Bajío (Figueroa-Rivera *et al.*, 2010). La pudrición ocasionada por las especies de *Fusarium* en maíz difícilmente puede ser controlada con productos químicos, debido a distintos factores, principalmente la característica endofítica de la infección (Bacon *et al.*, 2001). La tendencia actual es la búsqueda de agentes bioprotectores o de biocontrol, a través del uso de microorganismos que permitan el combate de enfermedades fitopatógenas y presenten características asociadas a la promoción del crecimiento vegetal (Canchignia-Martínez *et al.*, 2024, Bhattacharyya y Jha, 2012). Diferentes estudios han demostrado que las infecciones ocasionadas por *Fusarium* en maíz pueden combatirse con agentes de biocontrol bacterianos (Bhargavi *et al.*, 2024; Sánchez-Ceja *et al.*, 2023; Ayala-Torres *et al.*, 2023; Leyva-Madrigal *et al.*, 2014).

Respecto a lo anterior, Figueroa-López *et al.* (2016), analizaron una colección de bacterias para detectar la actividad potencial contra *F. verticillioides*. Los ensayos que realizaron *in planta* demostraron que tres aislados de *Bacillus* (*B. megaterium*, *B. cereus sensu lato* y *Bacillus* spp.) mostraron la mayor actividad antagonista, así como una reducción de la enfermedad. Castro del Ángel *et al.* (2021) evaluaron la actividad antifúngica de dos aislamientos endófitos de *B. amyloliquefaciens* contra *F. verticillioides* bajo condiciones de laboratorio e invernadero. La inhibición *in vitro* en cultivos duales del hongo fitopatógeno se obtuvo en un rango entre 59 al 62 %. Las bacterias endófitas redujeron la incidencia y severidad de *F. verticillioides* en más del 80 % en plantas que recibieron el tratamiento con respecto al testigo.

En los últimos años, nuestro grupo de investigación se ha centrado en la búsqueda de alternativas agrobiotecnológicas para el manejo de enfermedades y plagas de cultivos de interés en México. Se ha desarrollado un banco de rizobacterias asociadas a *P. aculeata* en ambientes de sequía y salinidad, lo que nos permitió disponer de un grupo bacteriano identificado molecularmente (Peñuelas-Rubio *et al.*, 2024b) con potencial antagonista (Herrera-Sepúlveda *et al.*, 2023) y de promoción del desarrollo vegetal de maíz (Argentel-Martínez *et al.*, 2025), lo cual incentiva a analizar las capacidades microbianas de bioncotrol de estas especies. Por lo anterior, se tiene como hipótesis que estas rizobacterias además de promover el desarrollo vegetal, pueden biocontrolar el crecimiento micelial de *Fusarium*, partiendo de sus propiedades bioquímicas. También se realizan estudios de aislamiento de cepas de hongos del género *Fusarium* a partir de raíces de maíces criollos cultivados en distintos regímenes de riego (Peñuelas-Rubio *et al.*, 2024a). En el contexto anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial antagonista de rizobacterias contra cepas de *Fusarium* spp. asociadas a maíces criollos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Colección de rizobacterias y hongos. Se emplearon nueve bacterias antagonistas y dos hongos asociados a raíces del cultivo de maíz que forman parte de la Colección de Microorganismos Edáficos y Rizosféricos del Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Las bacterias que se utilizaron fueron *Enterobacter cloacae* (BA1; ON869243), *Priestia megaterium* (BA4; ON869245 y BA7B; ON869246), *Staphylococcus warneri* (BP5; MH1982281.1), *Priestia endophytica* (BP6; MT373518.1), *Bacillus subtilis* (TP1; MN538531.1 y TP2; MN756672.1), *Sinomonas halotolerans* (BA10-B; ON869249) y *Staphylococcus hominis* (TM6; MT585539.1) aisladas de la rizósfera de *Parkinsonia aculeata* en dos regiones geográficas del semi-desierto sonorense (Peñuelas-Rubio *et al.*, 2024). Estas rizobacterias mostraron capacidad antagonica contra cepas de *Fusarium* aisladas de raíces de tomate (datos no publicados).

Caracterización bioquímica de las rizobacterias. Se realizaron pruebas bioquímicas de hemólisis (Khalil *et al.*, 2021), producción de enzimas: quitinasas (Roberts y Selitrennikoff, 1988), glucanasas (Teather y Wood, 1982), proteasas (Jones *et al.*, 2007) y lipasas (Salwoom *et al.*, 2019; Stead, 1984), así como mecanismos de promoción de crecimiento vegetal (PCV): producción de sideróforos (Pérez-Miranda *et al.*, 2007), ácido indolacético (Gravel *et al.*, 2007) y solubilización de fósforo (Edi-Premono *et al.*, 1996; Pikovskaya, 1948). La caracterización bioquímica de PCV de las cepas BA1 y BA7B fue publicada en un trabajo anterior (Argentel-Martínez *et al.*, 2025).

Caracterización macro y microscópica de los hongos. Las cepas fúngicas se aislaron de raíces de maíces nativos Gavilán (Guanajuato) y Halcón (Michoacán) que mostraban síntomas (necrosis) asociados a la presencia de *Fusarium* spp. (Peñuelas-Rubio *et al.*, 2024). Se realizaron pruebas de patogenicidad mediante un ensayo de papel enrollado, reportado por Leyva-Madrigal *et al.* (2014), donde las cepas presentaron una severidad de 80 y 100 % según la escala de Figueroa-Rivera *et al.* (2010). En este estudio, se realizó una caracterización macro y microscópica de estas cepas. Para la evaluación del crecimiento macroscópico, se sembró un pedazo de micelio fresco (~5 mm de diámetro) en el centro de placas Petri estériles que contenían medio PDA (Papa Dextrosa Agar). Las placas se incubaron a 28 °C durante 10 días en condiciones de oscuridad parcial. Al término del periodo de incubación, se registraron las características morfológicas del crecimiento, incluyendo textura, color, forma y presencia de pigmentación tanto en el anverso (superficie superior del cultivo) como en el reverso (base del medio). Para la observación de estructuras fúngicas, se realizaron microcultivos colocando un pedazo de micelio fresco en el centro de una caja Petri que contenía medio PDA recién preparado. Sobre el inóculo se colocó cuidadosamente un cubreobjetos estéril. Los cultivos fúngicos se incubaron a 28 °C durante 5 días en condiciones de oscuridad parcial, permitiendo el desarrollo de estructuras reproductivas adheridas a la superficie inferior del cubreobjetos. Transcurrido el periodo de incubación, el cubreobjetos fue retirado con pinzas estériles y montado sobre un portaobjetos con una gota de azul de lactofenol como medio de montaje y tinción. Las observaciones se realizaron bajo un microscopio óptico compuesto (Primo Star, Zeiss, Alemania) a 40 y 100X (con aceite de inmersión), documentando las estructuras miceliales y conidiales características de cada cepa. Para ambos casos, las imágenes se capturaron con una cámara digital (MU-500, AmScope, Estados Unidos) bajo condiciones de iluminación estandarizada para asegurar la comparabilidad entre cepas (Riddell, 1950).

Bioensayo de confrontación dual. Se siguió la metodología propuesta por Khalil *et al.* (2021), donde las rizobacterias fueron transferidas a agar Luria Bertani (LB) e incubadas a 30 °C por 24-48 h a 200 rpm. La suspensión bacteriana para inocular fue ajustada a 2×10^8 CFU mL⁻¹. En el centro de cajas Petri con agar SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar) se colocó un plug del micelio del hongo (8 mm de diámetro) y a 2 cm de distancia se colocaron 5 µL de la suspensión bacteriana. Las placas fueron incubadas por cinco días a 28 °C.

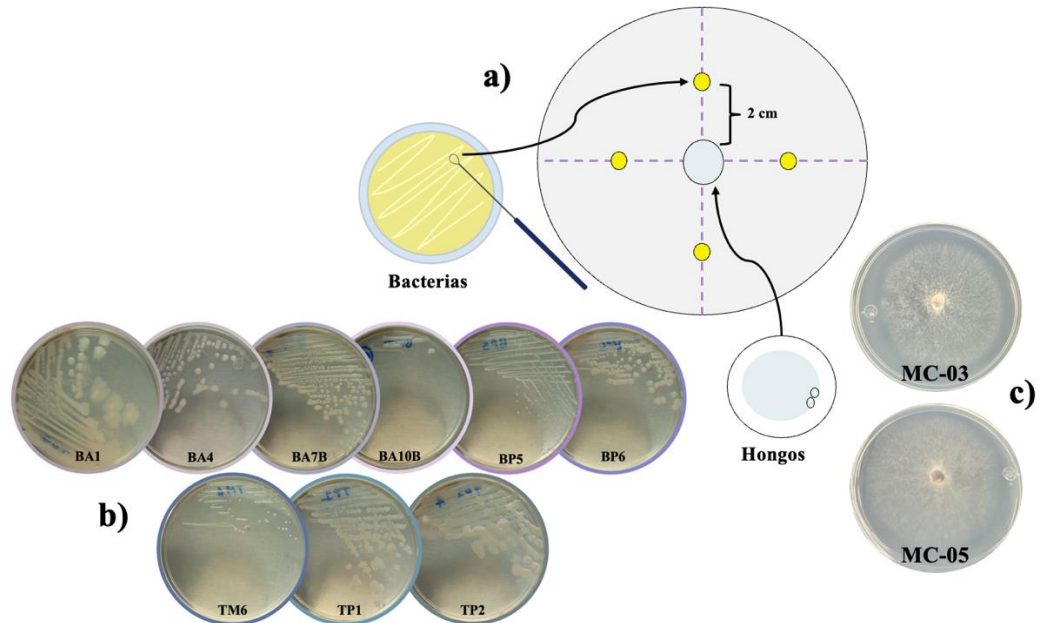


Figura 1. Diagrama del ensayo de confrontación dual hongo-rizobacteria. **a)** Distribución de los microorganismos en la placa Petri; **b-c)** Características macroscópicas de las nueve bacterias [*E. cloacae* (BA1), *P. megaterium* (BA4 y BA7B), *S. halotolerans* (BA10B), *S. warneri* (BP5), *P. endophytica* (BP6), *S. hominis* (TM6), *B. subtilis* (TP1 y TP2)] y dos hongos (MC-03 y MC-05), respectivamente.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se empleó un diseño completamente aleatorizado, donde los hongos (MC-03 y MC-05) fueron confrontados con las nueve rizobacterias (BA1, BA4, BA7B, BP5, BP6, BA10B, TM6, TP1, TP2,) y dos controles: el control comercial (CC) a base de *B. subtilis* (Biosutil Bs a razón de 2 L Ha⁻¹; FIASA) y un control absoluto (CA; sólo hongo). Cada confrontación dual se realizó por triplicado. Se determinó el crecimiento micelial después de los 5 días de incubación a través de la medición radial del hongo (cm) con una regla milimétrica, determinando la distancia entre el crecimiento fúngico y bacteriano. Se realizó una prueba de homogeneidad y normalidad a los datos obtenidos de crecimiento micelial. Posteriormente, se realizaron ANOVA, basados en un modelo lineal de efectos fijos. Cuando se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias del crecimiento micelial de los hongos por efecto de los tratamientos (rizobacterias), se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de DMS. Para verificar la eficiencia del modelo matemático empleado se calculó el coeficiente de determinación (R^2) sin ajustar. Se utilizó para estos análisis el software profesional *STATISTICA* para *Windows*, versión 14.0.

De acuerdo con la Cuadro 1, a excepción de BP6, todas las rizobacterias presentan actividad enzimática; ninguna rizobacteria fue positiva a la prueba de quitinasas. *B. subtilis* (TP1 y TP2) presentó la capacidad de sintetizar glucanasas y *P. megaterium* (BA4)

producen proteasas. *S. warneri* (BP5), *S. hominis* (TM6) y *B. subtilis* (TP1) fueron más eficientes en la producción de lipasas. En cuanto a los mecanismos de promoción del crecimiento vegetal (PCV), *E. cloacae* (BA1), *S. halotolerans* (BA10B) y *B. subtilis* (TP1 y TP2) producen sideróforos con mayor eficiencia. Sobre la capacidad de síntesis de auxinas (ácido indolacético), *E. cloacae* (BA1), *P. megaterium* (BA4 y BA7B) y BA10B (*S. halotolerans*) dieron positivo en la reacción de Salkowski, *E. cloacae* (BA1) presentó la mayor producción de auxinas, además, fue la más eficiente en la prueba de solubilización de fósforo. De manera general, TP1 (*B. subtilis*) presentó la mayor eficiencia en la producción de enzimas relacionadas con mecanismos de antagonismo fúngico. Estas especies bacterianas han sido reportadas por su potencial antagonista (Sallam *et al.*, 2024; Biedendieck *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Caracterización bioquímica de las rizobacterias aisladas de palo verde (*Parkinsonia aculeata*).

Rizobacterias	Actividad enzimática				Mecanismos de PCV		
	Quitinasas	Glucanasas	Proteasas	Lipasas	Sideróforos	AIA ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	ISF
<i>P. megaterium</i> (BA4)	-	-	+++	+	++	3.00	-
<i>S. halotolerans</i> (BA10B)	-	-	-	+	+++	4.59	-
<i>S. warneri</i> (BP5)	-	-	-	+++	+	-	2.28
<i>P. endophytica</i> (BP6)	-	-	-	-	-	-	2.43
<i>S. hominis</i> (TM6)	-	-	-	+++	-	-	2.71
<i>B. subtilis</i> (TP1)	-	+++	+++	+++	+++	-	-
<i>B. subtilis</i> (TP2)	-	+++	+++	-	+++	-	-

Los resultados se expresan en función del diámetro de los halos formados alrededor de las colonias. Símbolos: + < 3 mm; ++ >3<4 mm; +++ > 4 mm. AIA (ácido indolacético), ISF (índice de solubilización de fósforo). Todas las pruebas se hicieron por duplicado. Los valores de AIA e ISF corresponden a las medias obtenidas.

De acuerdo con la caracterización macro y microscópica de las cepas fúngicas presentada en la Figura 2, se observó que la textura de las colonias fue algodonosa con micelio aéreo y el color a los 10 días de observación fue vináceo intenso (Figura 2A). Como características unicelulares se observaron estructuras conidiales propias del género *Fusarium* (Figura 2B y C). Para ambos hongos se encontraron macro y microconidios así como clamidosporas (SENASICA, 2020).

Los resultados de la confrontación dual de la cepa MC-03 (Figura 3a) y MC-05 (Figura 3b), presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre las rizobacterias evaluadas respecto al crecimiento micelial de los dos hongos.

En la confrontación rizobacterias-MC-03 (Figura 3a), las cepas de *B. subtilis* (TP1 y TP2) fueron estadísticamente iguales y lograron la mayor inhibición del crecimiento micelial (23 %). Con el hongo MC-05, *P. endophytica* (BP6) y *S. warneri* (TM6) fueron estadísticamente superiores al resto de las rizobacterias al inhibir el 17 % del crecimiento micelial, seguidas por las dos cepas de *B. subtilis* (TP1 y TP2) que inhibieron un 10 y 7 % respectivamente. Aun cuando *P. endophytica* (BP6), no resultó positiva para las pruebas bioquímicas de antagonismo realizadas, destaca por su potencial en ambas confrontaciones, lo que sugiere la posibilidad de que esta rizobacteria presente otros mecanismos de inhibición de *Fusarium* spp. que no se consideraron en el presente estudio, como la producción de cianuro de hidrógeno (HCN) o actividad celulasa, amilasa y xilanasa (Sharma *et al.*, 2023). El análisis del coeficiente de determinación sin ajustar permitió inferir que por efecto de los tratamientos se obtuvo más de un 98 % de contribución a la variabilidad total del crecimiento micelial de los hongos. Por tanto, en estos mismos porcentajes promedio de la evaluación para los dos hongos fue la

contribución del modelo matemático lineal de efectos fijos empleados para el procesamiento de los datos (Figura 3).

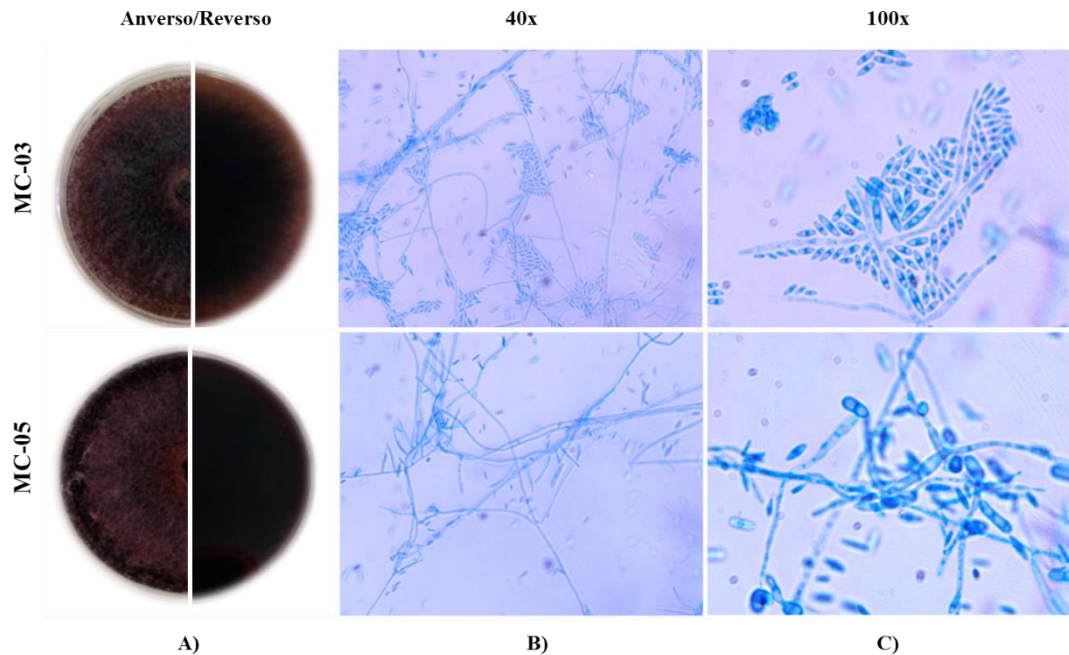


Figura 2. Caracterización morfológica de cepas fúngicas e *Fusarium*. **A)** Características macroscópicas de las cepas fúngicas: vistas de anverso (superior) y reverso (inferior) de placas Petri con medio PDA de 10 días después de la siembra; **B y C)** Estructuras miceliales y conidiales observadas mediante microscopía óptica a 40 y 100X (con aceite de inmersión), a partir de microcultivos de 5 días después de la siembra y teñidos con azul de lactofenol (Riddell, 1950).

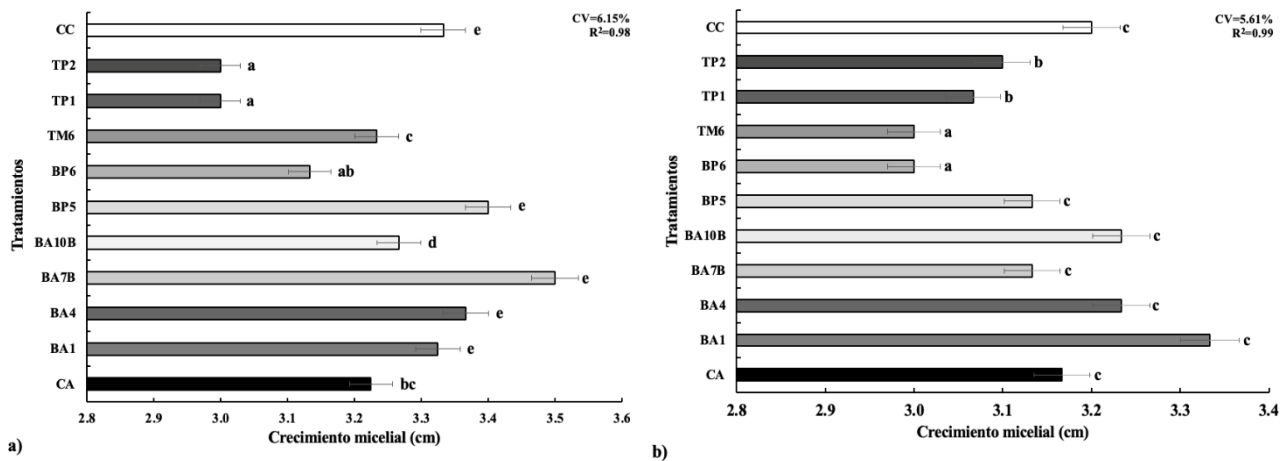


Figura 3. Crecimiento micelial presentado por las cepas de *Fusarium* spp. MC-03 (a) y MC-05 (b) durante las confrontaciones duales con bacterias antagonistas. En el eje de las Y se presentan los tratamientos: CA: control absoluto; CC: control comercial; bacterias antagonistas: BA1 (*E. cloacae*), BA4 y BA7B (*P. megaterium*), BA10B (*Sinomonas halotolerans*), BP5 (*S. warneri*), BP6 (*P. endophytica*), TM6 (*S. hominis*), TP1 y TP2 (*B. subtilis*).

En ambas confrontaciones, las rizobacterias *E. cloacae* (BA1), *P. megaterium* (BA4) y *S. halotolerans* (BA10B) y el control comercial (Biosutil Bs), propiciaron el crecimiento de ambas cepas fúngicas, posiblemente asociado a la capacidad de producción de compuestos que el hongo aprovecha para su crecimiento (Pangihotan, 2025).

El control de hongos fitopatógenos mediante prácticas amigables con el medio ambiente se ha desarrollado con base en el uso de microorganismos antagonistas que, a través de mecanismos competitivos, antibiosis e inducción de resistencia, limitan su desarrollo. Este análisis sugiere que las rizobacterias tienen diferentes grados de efectividad en la inhibición de *Fusarium* spp., posiblemente relacionados con la producción de metabolitos secundarios específicos. Lo anterior representa un potencial antagonista relacionado con las características propias de las bacterias. Además, este estudio confirma que las rizobacterias presentan varios caracteres relacionados con la adaptación a regiones semiáridas, síntesis de fitohormonas, solubilización de fosfatos y síntesis de metabolitos secundarios (Peñuelas *et al.*, 2024b). Finalmente, el ensayo muestra la importancia de explorar otras vías metabólicas de las rizobacterias, este enfoque permitiría la comprensión de sus mecanismos de acción y potencial para el control biológico. Además, se resalta la necesidad de confirmar la identificación del nivel especie de las cepas fúngicas evaluadas. Para ello, es fundamental realizar una caracterización utilizando marcadores moleculares y el cumplimiento de los postulados de Koch. Estas consideraciones abren la posibilidad de realizar futuras investigaciones que incluyan una modificación de las concentraciones de los inóculos bacterianos o la formación de consorcios entre las rizobacterias. Tales estrategias pueden incrementar su potencial antagonista, mejorando así su eficacia en el biocontrol de *Fusarium*.

CONCLUSIONES

Las rizobacterias *B. subtilis* (TP1 y TP2), TM6 (*S. hominis*) y BP6 (*P. endophytica*), presentaron un efecto antagonista, ya que inhibieron el crecimiento micelial de las cepas de *Fusarium* spp. hasta un 23 % respecto al control absoluto y comercial. Los resultados obtenidos demuestran la existencia de variabilidad significativa de respuesta de los hongos ante las diferentes rizobacterias. El presente estudio establece las bases científicas preliminares para la obtención de un biofungicida con capacidades específicas de inhibición del crecimiento de los hongos estudiados.

Limitaciones. El presente estudio representa las bases para la selección de bacterias antagonistas que pueden probarse *in planta* en futuros ensayos.

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés en relación con este artículo.

Financiamiento. La realización de esta investigación fue sufragada por el proyecto “Rhizobacterias nativas y extractos vegetales como alternativas sustentables para el biocontrol de *Fusarium* asociado al cultivo de maíz (19252.24-P)” financiado por el Tecnológico Nacional de México.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el recurso financiero otorgado.

Contribución de los autores. Argente-Martínez y Peñuelas-Rubio participaron en la investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto y adquisición de fondos. Escritura, revisión y edición: Argente-Martínez y Peñuelas-Rubio. Peñuelas-Rubio, Fierro-Coronado y Romo-Rodríguez desarrollaron la investigación, y metodología Cervantes-Ortiz y Arias-Moscoso elaboraron la escritura y preparación del borrador

original. La escritura: revisión y edición estuvo a cargo de Peñuelas-Rubio. Argente-Martínez realizó la escritura, revisión y análisis formal.

REFERENCIAS

- Argente-Martínez L, Peñuelas-Rubio O, Pérez López L, Arias Moscoso JL, Cadena Cadena F, *et al.* 2025. An enhancement of growth and physiological performance in maize hybrids through a dual consortium of native rhizobacterial strains. *Plant Growth Regulation* 105: 1559-1574. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01354-y>
- Ayala-Torres AM, Aranda-Ocampo S, De León-García de Alba C, Nava-Díaz C and Sánchez-Pale JR. 2023. Antagonistic bacteria against *Fusarium* spp. isolated from sclerotia of *Claviceps gigantea* in maize (*Zea mays*). *Mexican Journal of Phytopathology* 41(2): 143-164. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2208-2>
- Bacon C, Yates I, Hinton D and Filmore M. 2001. Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. *Environmental Health Perspective* 109:325-332. <https://doi.org/10.2307/3435026>
- Bhargavi G, Arya M and Jambhulkar PP. 2024. Evaluation of biocontrol efficacy of rhizosphere dwelling bacteria for management of *Fusarium* wilt and *Botrytis* gray mold of chickpea. *BMC Genomic Data* 25(1): 7. 10.1186/s12863-023-01178-7
- Bhattacharyya PN and Jha DK. 2012 Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28: 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Biedendieck R, Knuuti T and Moore SJ. 2021. The “beauty in the beast”-the multiple uses of *Priestia megaterium* in biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology* 105: 5719-5737. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11424-6>
- Canchignia-Martínez HF, Vera-Benites LF, Tapia-Quintana DN, Cedeño-Moreira AV, García-Intriago E, *et al.* 2024. Caracterización bioquímica de rizobacterias endófitas con actividad biocontroladora contra *Phytophthora palmivora* y *Lasiodiplodia theobromae*. *Terra Latinoamericana* 42: 1-10. e1807. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1807>
- Castro del Ángel E, Hernández-Castillo F, Gallegos-Morales G y Ochoa-Fuentes Y. 2021. Actividad antifúngica de bacterias endófitas para el control de *Fusarium verticillioides* en maíz. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2): e2790. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2790>
- Edi-Premono, M. Moawad MA and Vleck P. 1996. Effect of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* on the growth of maize and its survival in the rhizosphere. *Indonesian Journal of Crop Science*, 11, 13-23
- Figueroa-López AM, Cordero-Ramírez JD, Martínez-Álvarez JC, López-Meyer M, Lizárraga-Sánchez G, *et al.* 2016. Rhizospheric bacteria of maize with potential for biocontrol of *Fusarium verticillioides*. *SpringerPlus* 5:330. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1780-x>
- Figueroa-Rivera MG, Rodríguez-Guerra R, Guerrero-Aguilar BZ, González-Chavira MM, Pons-Hernández JL, *et al.* 2010. Caracterización de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28:124-134.
- Gravel V, Antoun H and Tweddell R. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry* 39(8): 1968-1977. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015>
- Herrera-Sepúlveda A, Argente-Martínez L, Peñuelas-Rubio O and Azizoglu U. 2023. First report of *Sinomonas halotolerans* from *Parkinsonia aculeata* rhizosphere. *Biologia* 79: 621-627. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01581-6>
- Jones BV, Sun F and Marchesi JR. 2007. Using skimmed milk agar to functionally screen a gut metagenomic library for proteases may lead to false positives. *Letters in Applied Microbiology* 45: 418-420.
- Khalil MMR, Fierro-Coronado RA, Peñuelas-Rubio O, Villa-Lerma AG, Plascencia-Jatomea R, *et al.* 2021. Rhizospheric bacteria as potential biocontrol agents against *Fusarium* wilt and crown and root rot diseases in tomato. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28(12): 7460-7471. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.043>
- Leyva-Madrigal K, Larralde-Corona C, Apodaca-Sánchez M, Quiroz-Figueroa F, Mexia-Bolaños P, *et al.* 2014. *Fusarium* species from de *Fusarium fujikuroi* species complex involved in mixed infections of maize in northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Phytopathology* 163(3): 486-497. <https://doi.org/10.1111/jph.12346>
- Pangihotan NT. 2025. Agricultural relevance of fungal mycelial growth-promoting bacteria: Mutual interaction and application, *Microbiological Research* 290: 127978. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127978>
- Peñuelas-Rubio O, Argente-Martínez L, Cervantes Ortiz F, Vázquez GD, Díaz GIM, *et al.* 2024a. Presencia de *Fusarium* sp. en maíces nativos cultivados bajo distintos regímenes de riego. Pp. 87-95. *In: Zuffo AM, Gonzalez AJ, Façanha ML (eds.). Inovações em pesquisas agrárias e ambientais - Volume V. Nova Xavantina-MT: Pantanal, Brasil.*
- Peñuelas-Rubio O, Argente-Martínez L, Herrera-Sepúlveda A, Maldonado-Mendoza I, Gonzalez-Aguilera J, *et al.* 2024b. Rhizobacteria associated with *Parkinsonia aculeata* L. under drought and saline conditions in semi-desert of Sonora, Mexico. *Biology* 79(8): 2591-2603. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01731-4>

- Pérez-Miranda S, Cabirol N, George-Téllez R, Zamudio-Rivera LS, Fernández FJ. 2007. O-CAS, a fast and universal method for siderophore detection. *Journal of Microbiological Methods* 70: 127-131.
- Pikovskaya R. 1948. Mobilization of phosphorus in soil connection with the vital activity of some microbial species. *Microbiology* 17: 362-370.
- Riddell RW. 1950. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. *Mycologia* 42(2): 265-270.
- Roberts WK. and Selitrennikoff, CP. 1988. Plant and bacterial chitinases differ in antifungal activity. *Journal of General Microbiology* 134:169-176.
- Sallam AA, Haroun SA, Aboulnaga EA and Mowafy AM. 2024. *Enterobacter cloacae* induces SA-dependent systemic acquired resistance of *Zea mays* against *Fusarium oxysporum*. *Journal of Plant Growth Regulation* 43: 2536-2554. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11280-4>
- Salwoom L, Rahman RNZRA, Salleh AB, Shariff FM, Convey P, *et al.* 2019. Isolation, characterization, and lipase production of a cold-adapted bacterial strain *Pseudomonas* sp. LSK25 isolated from Signy Island, Antarctica. *Molecules* 24: 1-14.
- Sánchez-Ceja MG, Loeza-Lara PD, Carballar-Hernández S, Jiménez-Mejía R and Medina-Estrada RI. 2023. Aislamiento de bacterias nativas con potencial en la promoción del crecimiento de maíz criollo mexicano (*Zea mays* L.). *Biotecnia* 26: e2125. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2125>
- SENASICA. 2020. Ficha técnica *Fusarium* spp. Dirección General de Sanidad Vegetal, SADER.19p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp_ma_z_2020.pdf
- Sharma K, Singh N, Vaishnav A, Singh V, Singh S. 2023. Fenugreek associated bacterium *Priestia endophytica* SK1 induces defense response against fusarium wilt by accumulation of secondary metabolites. *South African Journal of Botany* 160: 229-234.
- Stead D. 1984. Evaluation of a fluorimetric assay on the lipases from strains of milk psychrotrophic bacteria. *Journal of Dairy Research* 51: 123-130.
- Sumerell B, Laurence M, Liew E and Leslie J. 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diver* 44:3-13. <https://doi.org/10.1007/s13225-010-0060-2>
- Teather RM and Wood PJ. 1982. Use of Congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology* 43: 777-780.
- Velarde F, Valdez N, Zamora F, López R, Melgoza C, *et al.* 2018. Identificación molecular de *Fusarium* spp. aislados de maíz en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(8): 1675-1689. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.756>