




Efecto de *Arthrobacter agilis* UMCV2 en aguacates criollos inoculados con *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium oxysporum*

Effect of *Arthrobacter agilis* UMCV2 on creole avocados inoculated with *Phytophthora cinnamomi* and *Fusarium oxysporum*

Wilber Montejó-Mayo¹ , Roberto Lindig-Cisneros^{1*} , Crisanto Velázquez- Becerra² 

¹Laboratorio de Restauración Ambiental, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro, No.8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta, CP. 58190, Morelia, Michoacán, México.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Edificio D, Ciudad Universitaria, Francisco J. Mujica s/n, CP 58030. Morelia, Michoacán, México

*Autor de correspondencia: wmontejo@cieco.unam.mx

Nota científica

Recibida: 03 de noviembre 2025

Aceptada: 08 de abril 2026

RESUMEN. México es líder mundial en producción y exportación de aguacate; pero las plantas son susceptibles a *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium oxysporum*. Este estudio evaluó el efecto de *Arthrobacter agilis* UMCV2 en aguacates inoculados con *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* con: a) un ensayo *in vitro* de confrontación dual; b) el efecto en las plantas, de tratamientos control (C), inoculación con *A. agilis* (Aa), *P. cinnamomi* (Pc) y *F. oxysporum* (Fo), y combinaciones AaPc y AaFo. Se evaluaron la tasa de crecimiento, diámetro del cuello de la raíz, biomasa aérea seca y radical, mortalidad y porcentaje de marchitez. Con una prueba *t* de Student se encontraron diferencias estadísticas en condiciones *in vitro*. Mediante un ANOVA, se encontraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento, porcentaje de marchitez y mortalidad. La bacteria promovió el crecimiento y ejerció un efecto biocontrol en condiciones *in vitro* y en las plantas.

Palabras clave: Dimetilhexadecilamina, tasa de crecimiento, marchitez, mortalidad y patógenos.

ABSTRACT. Mexico is a world leader in avocado production and export; but plants are susceptible to *Phytophthora cinnamomi* and *Fusarium oxysporum*. This study evaluated the effect of *Arthrobacter agilis* UMCV2 on avocados inoculated with *P. cinnamomi* and *F. oxysporum* in: a) an *in vitro* dual confrontation assay, and b) the effect of the following treatments on the plants, a control (C), inoculation with *A. agilis* (Aa), *P. cinnamomi* (Pc), and *F. oxysporum* (Fo), and the combinations AaPc and AaFo. Growth rate, root collar diameter, dry aerial and root biomass, mortality, and wilt percentage were evaluated. With a Student's *t*-test, statistical differences were found under *in vitro* conditions. Using an ANOVA, significant differences were found in the growth rate, wilting percentage, and mortality. The bacteria promoted growth and exerted a biocontrol effect under *in vitro* conditions and in the plants.

Keywords: Dimethylhexadecylamine, growth rate, wilting, mortality, pathogens.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los principales exportadores de aguacate a nivel mundial; en el año 2024 exportó 1.273 millones de toneladas métricas del fruto, provenientes principalmente de los estados de Michoacán y Jalisco, y su principal mercado son los Estados Unidos de América (USDA 2025). El principal problema que presentan las plantas de aguacate en su etapa de desarrollo y en la productiva son diversos patógenos que causan grandes pérdidas económicas (Ramírez-Gil *et al.* 2017). Entre los patógenos más importantes en las plantas de aguacates se encuentran el hongo *Fusarium oxysporum* y el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* (Olalde-Lira *et al.* 2020, López-Galé *et al.* 2024). Cuando infecta el oomiceto *P. cinnamomi*, los síntomas más frecuentes en las plantas son el marchitamiento, la clorosis y la pudrición en el sistema radicular (Kavroulakis *et al.* 2024). En cuanto a las infecciones por el hongo *F. oxysporum*, sus principales síntomas son el marchitamiento y la pudrición tanto de la raíz como apical (Zakaria *et al.* 2023). En la actualidad, el uso de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) es cada vez más habitual en la fertilización y control de patógenos en la agricultura (González-León *et al.* 2023). Algunas de estas bacterias pertenecen al género *Bacillus*.

Las bacterias controlan fitopatógenos de las plantas de aguacate a través de la producción de metabolitos antimicrobianos (Jan *et al.* 2023, APEAM 2025). Las cepas de *Bacillus velezensis* y *B. subtilis* BSn5 tienen efecto antifúngico en *F. oxysporum* f.sp. Strigae; principalmente en las hifas y en la germinación de las esporas (Assena *et al.* 2024). Por otro lado, en el género *Pseudomonas* los mecanismos de acción ante los patógenos son mediante la producción de ácido salicílico, ácido jásmonico, etileno y la acción enzimática de 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa (Alattas *et al.* 2024). Además, cepas de *Bacillus subtilis*, *B. circulans*, *B. megaterium* y *B. lecheniformis* tienen efecto como promotoras del crecimiento de las plantas y además poseen propiedades antifúngicas (Petkova *et al.* 2025). En cuanto a las bacterias endófitas, promueven el crecimiento de plantas mediante la liberación de fitohormonas, la absorción de los nutrientes e inhiben el crecimiento de patógenos (Afzal *et al.* 2019, Longoria-Espinoza *et al.* 2024). La bacteria *Arthrobacter agilis* UMCV2 aislada en la rizosfera de *Zea mays* (Valencia-Cantero *et al.* 2007), promueve la germinación y el desarrollo de las plantas de *Pinus devoniana* Lindley (Montejo-Mayo *et al.* 2016). Mediante un análisis de los compuestos orgánicos volátiles, se identificó la dimetilhexadelimina (DMHDA) responsable de promover el crecimiento de las plantas (Velázquez-Becerra *et al.* 2011). De acuerdo a Méndez-Camarillo *et al.* (2024), la cepa UMCV2 promueve la formación de nódulos en *Medicago truncatula*, mediante la emisión de la DMHDA. Además, tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de hongos xilófagos (Orozco-Mosqueda *et al.* 2015). En la actualidad, el uso de fungicidas de origen químico tiene un impacto considerable en el medio ambiente, por lo que es importante buscar alternativas para el control de los patógenos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la bacteria *Arthrobacter agilis* UMCV2 en las plantas de *Persea americana* previamente inoculadas con *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium oxysporum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

En este ensayo se utilizó a la bacteria *Arthrobacter agilis* UMCV2 aislada de la rizosfera de *Zea mays*, con capacidad para la solubilización de hierro (Valencia-Cantero *et al.* 2007). El oomiceto *Phytophthora cinnamomi*, fue proporcionada por el Laboratorio Nacional de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad (Instituto de Investigaciones en Ecosistema y Sustentabilidad-UNAM). La cepa del hongo *Fusarium oxysporum* fue donada por el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Agrobiología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ensayo *in vitro* de la actividad antifúngica de la bacteria *Arthrobacter agilis* UMCV2

Se evaluó el efecto de *A. agilis* UMCV2 en los patógenos *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* en un ensayo de confrontación dual. Se utilizó el medio de cultivo agar nutritivo AN (BD Bioxon, México) en el cultivo de la bacteria y para los patógenos se empleó el medio agar de papa dextrosa PDA (BD Bioxon, México) previamente esterilizado por autoclave (AESAs, México) a 15 lb (121 °C) durante 30 minutos. Se tomó con el asa estéril una asada de bacteria y se estrió en un extremo de la caja Petri y, después de 3 días de crecimiento, se inoculó un propágulo (0.20 cm²) del patógeno. Las cajas Petri se sellaron con Parafilm^{MR} y se colocaron en una cámara de incubación (Lumistell^{MR}) a 25 °C ± en oscuridad por un período de 3 días. Con 5 réplicas para cada tratamiento y se repitió dos veces el experimento teniendo las mismas condiciones. Para evaluar la actividad antifúngica de la bacteria, se midió el diámetro de crecimiento de los patógenos con la ayuda de un vernier.

Preparación de los inóculos de *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium oxysporum*

La cepa de *F. oxysporum* con 7 días de crecimiento en PDA se resembró en cajas Petri que contenían el medio líquido de jugo V8 (Campbell's^{MR}) en una proporción 25:200 con agua destilada y se colocaron 4 discos de 0.20 cm² del patógeno en cada una de las 6 cajas; se sellaron con Parafilm y se colocaron en una cámara de incubación (Lumistell^{MR}) a una temperatura constante de 25 °C ± en oscuridad por un período de 7 días. Posteriormente, se colocaron en tubos de centrifugar para agitarlos durante 6 min en un Vortex (Scientific Industries); después, se filtraron con gasa estéril y se colocaron nuevamente en los tubos para centrifugarlos a 4 000 rpm durante 3 min. Se vertió el sobrenadante y se le agregó 5 ml de agua destilada a cada tubo. La concentración de las esporas del hongo se cuantificó en una cámara de Neubauer y se ajustó a una concentración final (2.44 x 10⁵ por ml). En cuanto a la inoculación, se le hizo una herida en la raíz a cada planta con la ayuda de una aguja de disección previamente estéril y finalmente se aplicó 15 ml de suspensión de esporas en la zona antes lesionada.

La cepa de *P. cinnamomi* con 7 días de cultivo en PDA se resembró en cajas Petri que contenían el medio líquido V8 (Campbell's^{MR}) en una proporción 10:190 con agua destilada y se colocaron 3 discos de micelio de 0.20 cm² a cada una de las cajas Petri, se sellaron con papel Parafilm y se colocaron en una cámara de incubación (Lumistell^{MR}) a una temperatura constante de 25 °C ± en oscuridad por un período de 4 días; después, a cada caja Petri se le vertió el medio líquido V8. La aplicación del inóculo: se le hizo una herida en la raíz a cada planta con la ayuda de una aguja de disección previamente estéril y se colocó dos discos de micelio en la zona antes lesionada y cuatro discos del patógeno distribuidos en el suelo.

La preparación del inoculó de *A. agilis* UMCV2

A. agilis UMCV2 se creció en agar nutritivo con aproximadamente 25 ml de AN y se colocó en una cámara de incubación (Lumistell^{MR}) a una temperatura controlada de 25 °C ± en oscuridad durante 48 h. Después, se resembró en un matraz de 500 ml que contenía 300 ml de medio líquido caldo nutritivo (BD Bioxon); y se dejó crecer en agitador orbital (DLAB-sk-0330-Pro) a 160 rpm durante 48 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se colocaron en tubos de 15 ml y se centrifugaron (Thermo SCIENTIFIC CL Centrifuge) a 4000 rpm durante 6 min; se recuperaron las células y se ajustó a una absorbancia de 1,0 (Thermo SCIENTIFIC GENESYS 20) con una longitud de onda de 600 nm (Wacogne *et al.* 2024). Finalmente, la inoculación en la raíz de las plantas de *P. americana* comenzó 15 días antes de la infestación con los patógenos. Posteriormente, la aplicación fue cada 8 días con 5 ml de la solución *A. agilis* UMCV2, durante 2 meses.

Efecto de *Arthrobacter agilis* UMCV2 en las plantas de *Persea americana* var. *drymifolia*, previamente inoculadas con *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium oxysporum*.

Las semillas de *Persea americana* var. *drymifolia* se colectaron en Uruapan, Michoacán, México, y se trasladaron a las instalaciones del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad; se removió la pulpa y se dejaron secar a temperatura ambiente durante 2 días para facilitar la eliminación de la testa; posteriormente, se desinfectaron con cloro al 10% (10:90) durante 30 minutos y se enjuagaron 3 veces con agua previamente esterilizada y se dejaron secar a temperatura ambiente. Antes de la siembra se le dio un tratamiento con Captan^{MR} (CAPTAN ULTRA 50 WP) 1 gramo por 1 litro de agua; se sumergieron las semillas durante 30 minutos, después se colocaron las semillas en bolsas de 200 g de sustrato ("peat moss"-arena-suelo andosol) previamente esterilizado durante 1 h. Después de 2 meses, las plantas se trasplantaron en bolsas con capacidad de 4 kg de suelo esterilizado por autoclave (AESA, México) a 15 lb (121 °C) durante 1 h. Se utilizó suelo de tipo andosol que fue obtenido de la región de Uruapan. Los tratamientos fueron: C: control; Aa = inoculado únicamente con *A. agilis* UMCV2; AaPc = infectado con *P. cinnamomi* e inoculado con *A. agilis* UMCV2; AaFo = infectado con *F. oxysporum* e inoculado con *A. agilis* UMCV2; Pc = infectado únicamente con *P. cinnamomi*; Fo = infectado únicamente con *F. oxysporum*; con 8 réplicas para cada tratamiento. Las plantas se mantuvieron en una cámara de crecimiento (FRIGOCAMARAS) a una temperatura constante de 25 ± °C, con control de iluminación y luminiscencia LED. Cada 8 días se midió la altura de cada planta y el diámetro del cuello de la raíz (DCR); después de 60 días, se evaluaron las siguientes variables: la tasa de mortalidad y el porcentaje de marchitez (Incidencia de marchitez = Número de hojas marchitas / Número total de hojas x 100, de acuerdo a Cooke *et al.* 2006). Finalmente, las plantas se cosecharon y se dejaron secar en un horno (H-62) a una temperatura constante de 80 ± °C durante 48 h y se pesaron la parte aérea y la raíz en una balanza (Sartorius, modelo SECURA124-1S).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de ANOVA y pruebas de Tukey ($p = 0.05$) en el programa Restudio v. 2024.12.0. En cuanto a las comparaciones de medias de dos tratamientos, los resultados se analizaron por medio de la prueba estadística de t (t de Student).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento en condiciones *in vitro*, la bacteria *A. agilis* UMCV2 inhibió el crecimiento de *F. oxysporum* después de 3 días de exposición; se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0003$); el control obtuvo un diámetro promedio de 2.28 cm y en presencia de la bacteria fue de 1.22 cm, lográndose evidenciar el efecto antifúngico de la bacteria en el crecimiento en diámetro del patógeno. De forma similar, se presentaron diferencias significativas ($p = 0.00008$); con *P. cinnamomi*, en el tratamiento control, el diámetro fue de 2.89 cm y de 2.3 cm con exposición a la bacteria (Figura 1a). En el sistema de compartimento dual, el efecto de *A. agilis* UMCV2 fue diferente para cada patógeno (Figura 1b y c), logrando evidenciarse el mayor efecto con el hongo *F. oxysporum*. En condiciones *in vitro*, la bacteria *A. agilis* UMCV2 presentó un efecto antifúngico en *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* después de 3 días de exposición, lográndose evidenciar en el diámetro de crecimiento de los patógenos. El efecto antifúngico puede estar relacionado con la emisión del compuesto orgánico volátil DMHDA. Nuestros resultados concuerdan con el trabajo realizado por Velázquez-Becerra *et al.* (2010), quienes señalan que el efecto antifúngico de *A. agilis* UMCV2 es por la emisión del compuesto DMHDA, en conjunto con compuestos orgánicos aromáticos y el ácido acético. Autores como Montejo-Mayo *et al.* (2021) nos mencionan que el COV DMHDA comercial inhibe el crecimiento de un hongo xilófago de la madera, provocando deformaciones y engrosamientos atípicos en las hifas de *Trametes versicolor*. Igualmente, los COV producidos por cepas de *Pseudomonas* spp. ejercen los efectos en los fitopatógenos al retardar la germinación de las esporas, inhibir el crecimiento, provocar deformaciones en las hifas y alterar las estructuras internas, principalmente en los septos (Rabiço *et al.* 2024).

El resultado del experimento con plantas, para el índice de crecimiento de los individuos de *P. americana*, se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p = 0.000923$). En el tratamiento Aa se observó el mayor incremento en altura en un 12.41% después de dos meses, seguido de AaPc (7.01%), Fo (4.54%), Pc un (4.2%), el control (4.20%) y, finalmente, Aafo (3.28%). El tratamiento Aa promovió el desarrollo de las plantas de *P. americana*, después de 60 días de inoculación con la solución UMCV2 (Figura 2a). A pesar del tratamiento AaPc inoculado con *P. cinnamomi*, se observó un ligero crecimiento de las plantas en comparación con el control. En cuanto a la tasa de crecimiento de *P. americana*, la bacteria *A. agilis* UMCV2 presentó un efecto benéfico promoviendo el desarrollo de las plantas después de 2 meses de inoculación. En estudios anteriores con la bacteria *A. agilis* UMCV2, además de tener efectos característicos de BPCV, también promueve la germinación de las semillas de *Pinus devoniana* Lidl., mediante la liberación del COV denominado DMHDA (Montejo-Mayo *et al.* 2016). El consorcio de *A. agilis* con otras bacterias promueve el desarrollo en biomasa de plantas de trigo; además, las protege contra patógenos (Samain *et al.* 2023). Los COV de origen bacteriano tienen la capacidad de incrementar el desarrollo de las plantas mediante la liberación de nutrientes y estimulan la germinación (Weisskopf *et al.* 2021). Las cepas del género *Bacillus* tienen la capacidad de liberar el fósforo, fijan el nitrógeno y realizan la biosíntesis bacteriana de fitohormonas útiles para promover el desarrollo de las plantas (Khan *et al.* 2022).

El diámetro del cuello de la raíz (DCR), peso seco aéreo y peso seco de la raíz; los mayores promedios se obtuvieron con los tratamientos inoculados con *A. agilis* UMCV2; sin embargo, no se

observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos (Tabla 1). El DCR, peso seco aéreo y peso seco de la raíz mostraron una tendencia en el crecimiento, inducida por *A. agilis* UMCV2 después de 2 meses de inoculación; sin embargo, la duración del experimento pudo haber influenciado en los resultados (Figura 3).

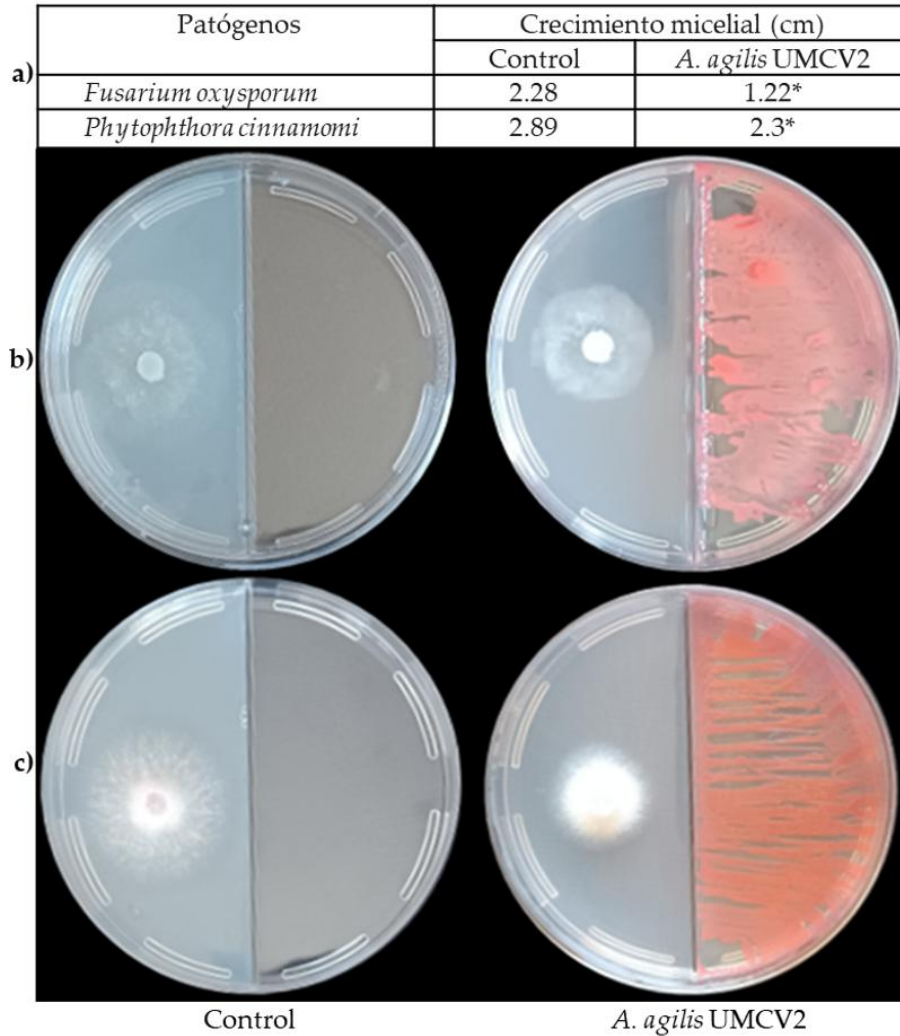


Figura 1. Efecto de *A. agilis* UMCV2 sobre el crecimiento de los patógenos. El panel a muestra los promedios del diámetro de crecimiento micelial de los patógenos expuestos a la bacteria *A. agilis* UMCV2. El panel b muestra el crecimiento en diámetro de *P. cinnamomi* y el panel c muestra el crecimiento en diámetro de *F. oxysporum*. Los resultados se analizaron mediante la prueba t de Student ($p = 0,05$); el asterisco indica las diferencias estadísticamente significativas.

La supervivencia de las plantas de aguacate en los tratamientos C y Aa fue del 100%. La mayor mortalidad de las plantas se registró con el tratamiento Pc (50%), seguido con Fo (37.5%); en cuanto a los tratamientos combinados AaFo y AaPc, registraron la mortalidad (12.5%) en cada uno de ellos (Figura 2b). Los resultados nos demuestran que *P. cinnamomi*, cuando es inoculada en plantas de aguacate, es más agresiva en comparación con *F. oxysporum*; y en presencia de la bacteria *A. agilis* UMCV2, reduce notablemente la mortalidad de las plantas. En cuanto a la mortalidad de las plantas

infectadas con los patógenos, disminuye cuando son inoculadas con *A. agilis* UMCV2. Por lo tanto, la bacteria *A. agilis* UMCV2, además de estimular el desarrollo de las plantas, tiene efecto antifúngico que puede estar relacionado con la liberación del COV denominado DMHDA, lográndose evidenciar en la reducción de la tasa de mortalidad de los tratamientos AaFo y AaPc. En un trabajo realizado por Chen *et al.* 2022, nos mencionan que los COV de origen microbiano, los mecanismos de acción, se evidencian en los daños en las hifas y además prolongan la germinación de las esporas de *Botrytis cinerea*. Del mismo modo, la cepa *Bacillus pumilus* produce COV identificado como 2,3-hexanodiona, capaz de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos (Rana *et al.* 2024). De acuerdo a los resultados obtenidos, los daños en las estructuras morfológicas pudieran haber sucedido con los patógenos *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* en presencia de *A. agilis* UMCV2. Es necesario corroborar los resultados con experimentos adicionales, que permitan constatar de forma contundente los efectos detectados de la bacteria *A. agilis* UMCV2.

Tabla 1. Diámetro del cuello de la raíz (DCR), peso seco de la raíz y peso seco aéreo en plantas de *P. americana* infectados con *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* e inoculadas con *A. agilis* UMCV2.

| Tratamientos | Variables | | |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | DCR | Peso seco de la raíz | Peso seco aéreo |
| C | 5.31 ± 0.82 ^a | 2.72 ± 1.27 ^a | 1.18 ± 0.32 ^a |
| Aa | 5.76 ± 0.59 ^a | 3.31 ± 1.72 ^a | 1.27 ± 0.46 ^a |
| AaPc | 5.55 ± 0.29 ^a | 3.10 ± 0.96 ^a | 1.11 ± 0.49 ^a |
| AaFo | 5.30 ± 0.73 ^a | 2.77 ± 0.85 ^a | 0.91 ± 0.33 ^a |
| Pc | 5.42 ± 0.45 ^a | 2.07 ± 1.34 ^a | 1.11 ± 0.43 ^a |
| Fo | 5.38 ± 0.70 ^a | 2.92 ± 1.25 ^a | 0.75 ± 0.12 ^a |

Los valores presentados son los promedios ± e.e. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA, $p = 0.05$).

El porcentaje de marchitez de las hojas de las plantas de aguacates, se tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.000064$). El mayor número de hojas marchitas (Figura 2c) se observó en el tratamiento Fo (64.53%), seguido de Pc (56.85%), AaPc (40.79%), AaFo (38.67%), C (17.45%) y Aa (10.67%). Mientras que el menor porcentaje de marchitez se observó en el tratamiento Aa, que corresponde a plantas inoculadas con *A. agilis* UMCV2, sin diferencias significativas con el control. En cambio, los tratamientos infectados con Fo y Pc fueron donde se presentó mayor porcentaje de marchitez. En cuanto a la combinación AaPc y AaFo, se disminuye el porcentaje de hojas marchitas; esto puede atribuirse a un posible efecto biocontrol de la bacteria en las plantas de aguacate. El porcentaje de marchitez de las hojas de *P. americana* infectadas con los patógenos disminuye cuando son inoculadas con la *A. agilis* UMCV2. Estudios realizados con la cepa A8 del género *Bacillus* inhiben el crecimiento de *P. cinnamomi* en condiciones *in vitro* y además reducen el marchitamiento de las plantas de aguacate provocado por el oomiceto *P. cinnamomi*, mediante la liberación de COV de la bacteria (Méndez-Bravo *et al.* 2018; Guevara-Avendaño *et al.* 2024). La cepa *Bacillus* sp., mediante enzimas como la quitinasa y metabolitos antifúngicos, inhibe el crecimiento de *F. oxysporum*, dañando su estructura fúngica (Rodríguez *et al.* 2017).

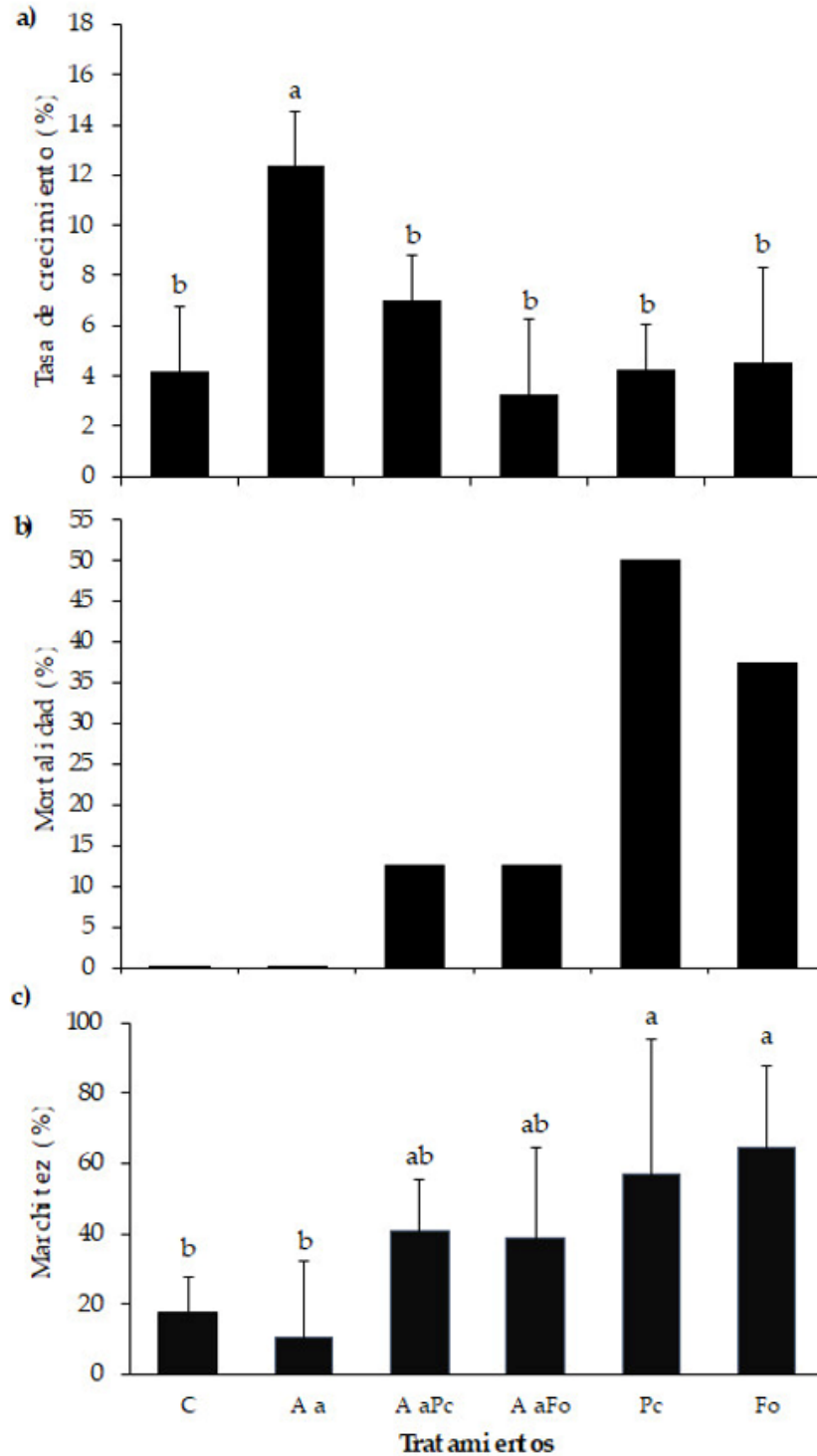


Figura 2. Efecto de *A. agilis* UMCV2 en *Persea americana* var. *drymifolia* previamente inoculadas con *P. cinnamomi* y *F. oxysporum* durante 60 días. a) Tasa de crecimiento de *Persea americana*; b) Mortalidad de las plantas de *Persea americana* ocasionadas por *P. cinnamomi* y *F. oxysporum*; c) Porcentaje de marchitez ocasionada por *P. cinnamomi* y *F. oxysporum*. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas (ANOVA, $P \leq 0.05$).

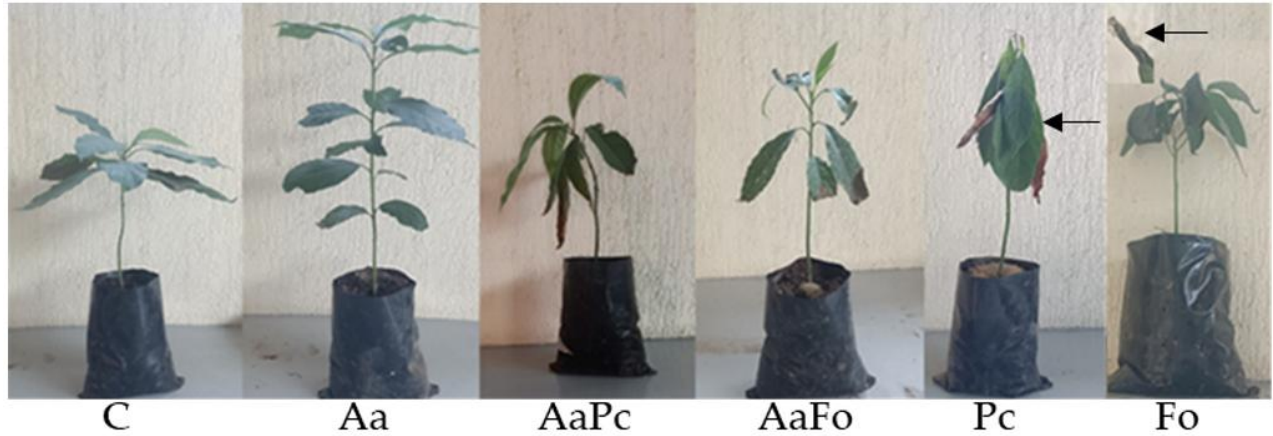


Figura 3. Efecto de *A. agilis* UMCV2 en las plantas de *Persea americana* var. *drymifolia* previamente infectadas con *P. cinnamomi* y *F. oxysporum*. En los tratamientos, Fo: la flecha indica la marchitez apical ocasionada por *F. oxysporum*, mientras que en el tratamiento Pc, señala las hojas marchitas causadas por *P. cinnamomi*.

AGRADECIMIENTOS

A la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca proporcionada en el programa (“Estancias posdoctorales por México 2024, modalidad: Estancias posdoctoral para personas indígenas” No. 491967).

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Afzal I, Shinwari ZK, Sikandar S, Shahzad S (2019) Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbiological Research* 221: 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.001>
- Alattas H, Glick BR, Murphy DV, Scott C (2024) Harnessing *Pseudomonas* spp. for sustainable plant crop protection. *Frontiers in Microbiology* 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1485197>
- APEAM (2025) Plaguicidas recomendados por la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México A.C., para uso en cultivo de Aguacate. <https://plaguicidas.apeamac.com/>. Fecha de consulta: 05 de octubre de 2025.
- Assena MW, Pfannstiel J, Rasche F (2024) Inhibitory activity of bacterial lipopeptides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Strigae*. *BMC microbiology* 24(1): 227. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03386-2>
- Cooke BM (2006) Disease assessment and yield loss. In: Cooke BM, Jones DG, Kaye B (eds) *The epidemiology of plant diseases*. 2nd ed. Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 43-80.
- Chen J, Wei X, Lu X, Ming R, Huang D, Yao Y, Li L, Huang R (2022) *Burkholderia cenocepacia* ETR-B22 volatile organic compounds suppress postharvest grey mould infection and maintain aroma quality of tomato fruit. *LWT* 165: 113715. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113715>

- González-León Y, Ortega-Bernal J, Anducho-Reyes MA, Mercado-Flores Y (2023) *Bacillus subtilis* and *Trichoderma*: general characteristics and their agricultural applications. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 25(1): 1-14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Guevara-Avendaño E, Solís-García IA, Méndez-Bravo A, Pineda-García F, Angeles-Alvarez G, Madero-Vega C, Fernández-Pavía SP, Mondragón-Flores A, Reverchon F (2024) *Bacillus* sp. A8a reduce la marchitez por *Phytophthora* y modifica la acumulación de taninos en aguacate. Revista Mexicana de Fitopatología 42(1). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2309-2>
- Jan F, Arshad H, Ahad M, Jamal A, Smith DL (2023) *In vitro* assessment of *Bacillus subtilis* FJ3 affirms its biocontrol and plant growth promoting potential. Frontiers in Plant Science 14: 1205894. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1205894>
- Kavroulakis N, Tziros GT, Mikalef L, Malandrakis AA (2024) First report of *Phytophthora cinnamomi* causing root rot of avocado trees in Greece. Plant Disease 108(10): 3185. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-24-0939-PDN>
- Khan AR, Mustafa A, Hyder S, Valipour M, Rizvi ZF, Gondal AS, Yousuf Z, Iqbal R, Daraz U (2022) *Bacillus* spp. as bioagents: uses and application for sustainable agriculture. Biology 11(12): 1763. <https://doi.org/10.3390/biology11121763>
- Longoria-Espinoza RM, Leyva-Ruiz C, Zamudio-Aguilasocho GM, Félix-Gastélum R (2024) Caracterización de bacterias endófitas promotoras de crecimiento vegetal en plantas de papa (*Solanum tuberosum*). Revista Mexicana de Fitopatología 42(2). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2310-4>
- López-Galé YD, Fernando MM, Palacios Joya LP, Murcia-Riaño N, García-Dávila MA (2024) Uniformidad en el desarrollo de brotes en injertos de aguacate y su importancia para establecer niveles de resistencia indirecta a *Phytophthora cinnamomi*. Revista Mexicana de Fitopatología 42(3). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2311-1>
- Méndez-Bravo A, Cortázar-Murillo EM, Guevara-Avendaño E, Ceballos-Luna O, Rodríguez-Haas B, Kiel-Martínez AL, Hernández-Cristóbal O, Reverchon F (2018) Plant growth-promoting rhizobacteria associated with avocado display antagonistic activity against *Phytophthora cinnamomi* through volatile emissions. PLoS One 13(3): e0194665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194665>
- Méndez-Camarillo MA., Flores-Cortez I, Montejano-Ramírez V, Valencia-Cantero E (2024) *Arthrobacter* sp. UMCV2, and its compound *N, N*-dimethylhexadecylamine promote nodulation in *Medicago truncatula* by *Sinorhizobium medicae*. Revista Argentina de Microbiología 56(3): 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2024.03.004>
- Montejo-Mayo W, Días-Rivera E, Martínez-Pacheco M, Munro-Rojas A, Ambriz-Parra E, Velázquez-Becerra C (2021) Inhibitory effect of *N, N*-dimethylhexadecylamine on the growth of white-rot fungus *Trametes versicolor* (L.) in wood. International Journal of Experimental Botany 90(1): 193. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.011402>
- Montejo-Mayo W, Valencia-Cantero E, López-Albarrán P, Velázquez-Becerra C (2016) Efecto de *Arthrobacter agilis* UMCV2 sobre la germinación y crecimiento de *Pinus devoniana* Lindley. Polibotánica (41): 79-90. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.41.5>
- Olalde-Lira GG, Raya Montañón YA, Apéaz Barrios P, Vargas Sandoval M, Pedraza Santos ME, Raymundo T, Valenzuela R, Lara-Chávez MBN (2020) Caracterización de *Fusarium* spp., fitopatógeno de aguacate (*Persea americana* Miller var. *drymifolia* (Schltdl. y Cham.)) en Michoacán, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Cuyo 52(2): 301-316.
- Orozco-Mosqueda M, Valencia-Cantero E, López-Albarrán P, Martínez-Pacheco M, Velázquez-Becerra C (2015) La bacteria *Arthrobacter agilis* UMCV2 y diversas aminos inhiben el crecimiento *in vitro* de hongos destructores de madera. Revista Argentina de Microbiología 47(3): 219-228. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2015.06.005>

- Petkova M, Marcheva M, Petrova AL, Slavova V, Shilev S (2025) Plant growth-promoting and biocontrol characteristics of four *Bacillus* strains and evaluation of their effects on wheat (*Tr. aestivum* L.). *International Journal of Plant Biology* 16(1): 1. <https://doi.org/10.3390/ijpb16010001>
- Rabiço F, Borelli TC, Alnoch RC, Polizeli MLTM, da Silva RR, Silva-Rocha R, Guazzaroni ME (2024) Nuevas especies de *Pseudomonas* previenen el crecimiento del hongo fitopatógeno *Aspergillus flavus*. *Biotechnología* 13(2): 8. <https://doi.org/10.3390/biotech13020008>
- Ramírez-Gil JG, Gilchrist Ramelli E, Morales Osorio JM (2017) Economic impact of the avocado (cv. Hass) wilt disease complex in Antioquia, Colombia, crops under different technological management levels. *Crop Protection* 101: 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.023>
- Rana A, Sudakov K, Carmeli S, Miyara SB, Bucki P, Minz D (2024) Volatile organic compounds of the soil bacterium *Bacillus halotolerans* suppress pathogens and elicit defense-responsive genes in plants. *Microbiological Research* 281: 127611. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127611>
- Rodríguez GCA, Buitrago JE, Betancurt AD, Lara CR (2017) Actividad antagonista de *Bacillus* frente a *Fusarium oxysporum*: un aporte a la agricultura sostenible. *Revista Nova* 3: 9-19
- Samain E, Duclercq J, Ait Barka E, Eickermann M, Ernenwein C, Mazoyon C, Sarazin V, Dubois F, Aussenac T, Selim S (2023) PGPR-soil microbial communities' interactions and their influence on wheat growth promotion and resistance induction against *Mycosphaerella graminicola*. *Biology* 12(11): 1416. <https://doi.org/10.3390/biology12111416>
- USDA (2025) Avocado Annual (Report No. MX2025-017). Guadalajara, México. USDA Foreign Agriculture Service. <https://www.fas.usda.gov>. Fecha de consulta: 01 de octubre de 2025.
- Valencia-Cantero E, Hernández-Calderón E, Velázquez-Becerra C, López-Meza JE, Alfaro-Cuevas R, López-Bucio J (2007) Role of dissimilatory fermentative iron-reducing bacteria in Fe uptake by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in alkaline soil. *Plant and Soil* 291(1): 263-273. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9191-y>
- Velázquez-Becerra C, Macías-Rodríguez LI, López-Bucio J, Flores-Cortez I, Pizano GS, Valencia-Cantero E (2010) Actividad inhibitoria del compuesto volátil bacteriano dimetilhexadecilamina sobre fitopatógenos. *Biológicas* 12(2): 96-101
- Velázquez-Becerra C, Macías-Rodríguez LI, López-Bucio J, Altamirano Hernández J, Flores-Cortez I, Valencia-Cantero E (2011) A volatile organic compound isolated from *Arthrobacter agilis* modulates growth of *Medicago sativa*. *Plant Soil* 339: 329-340. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0583-z>
- Wacogne B, Belinger Podevin M, Vaccari N, Koubevi C, Codjiová C, Gutierrez E, Davoine L, Robert-Nicoud M, Rouleau A, Frelet-Barrand A (2024) Concentration *vs.* optical density of ESKAPEE bacteria: A method to determine the optimum measurement wavelength. *Sensors* 24(24): 8160. <https://doi.org/10.3390/s24248160>
- Weisskopf L, Schulz S, Garbeva P (2021) Microbial volatile organic compounds in intra-kingdom and inter-kingdom interactions. *Nature Reviews Microbiology* 19(6): 391-404. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00508-1>
- Zakaria L (2023) *Fusarium* species associated with diseases of major tropical fruit crops. *Horticulturae* 9(3): 322. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030322>