

Microorganismos antagonistas como manejo del marchitamiento de la zarzamora por *Fusarium oxysporum*

Jessica Josefina Corral Melgoza¹
Pedro Antonio García-Saucedo¹
Salvador Aguirre-Paleo¹
Margarita Vargas-Sandoval²
Atahualpa Guzmán-de Casa¹
Teresita del Carmen Ávila-Val^{1,§}

1 Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez'-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60040. (1153378b@umich.mx; atahualpa.guzman@umich.mx; antonio.garcia@umich.mx; spaleo@umich.mx).

2 Facultad de Biología Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria, edificio B-1, Morelia, Michoacán, México. CP. 5806. (margarita.vargas@umich.mx).

Autora para correspondencia: tere.avila@umich.mx

Resumen

En los estados de Michoacán, México y California, EUA, la producción de zarzamora (*Rubus* sp.) se ve afectada por una marchitez que ocasiona la pérdida de miles de hectáreas. En el presente trabajo se identificó el agente causal de la enfermedad y propuso alternativas de control con microorganismos antagonistas. En el año 2022 de un huerto en Tocumbo, Michoacán, se aisló e identificó morfológicamente al agente causal de la enfermedad. Se realizó un bioensayo preliminar en laboratorio con cepas de *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *P. fluorescens* y *Trichoderma* spp, nativas de Tacámbaro y Taretan, Mich. Las cepas sobresalientes se probaron en invernadero en plantas de zarzamora cv Tupy de forma preventiva y como control, bajo un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones. En las pruebas preliminares todas las cepas utilizadas mostraron una inhibición del crecimiento micelial del patógeno superior al 50%, sobresaliendo *Trichoderma* sp. de Tacámbaro, *B. subtilis* y *P. fluorescens*. En las pruebas realizadas *in situ* los tratamientos aplicados de forma preventiva disminuyeron la incidencia de marchitez desde 57 hasta 66%. En términos de severidad y altura de la planta destacó *Trichoderma* sp., mientras que el porcentaje de necrosis radicular disminuyó desde 56 hasta 70% con todos los tratamientos. Los tratamientos de control también mostraron eficacia antagonista, aunque en menor medida, disminuyeron la incidencia de marchitez desde 2 al 58% y los porcentajes de necrosis radicular desde 19 a 62%. Los microorganismos antagonistas pueden incorporarse como una estrategia de manejo integral con gran eficiencia.

Palabras clave:

Rubus, *Fusarium*, biocontrol, manejo integral, marchitez.

Introducción

México destaca como productor mundial de berries, siendo la zarzamora (*Rubus* sp.) la más prominente (Ricárdez-Luna *et al.*, 2016). Michoacán aporta significativamente el 93.3% de la producción de zarzamosas (SIAP, 2021). Aunque esta fruta se adapta bien a condiciones templadas, sufre restricciones en la producción y comercialización debido a *Fusarium oxysporum*, causante de la marchitez en plantaciones de zarzamora en California y México (Gordon *et al.*, 2017).

Un nuevo linaje de *F. oxysporum*, identificado recientemente, ha emergido como responsable de la enfermedad, convirtiéndose en una amenaza devastadora en México, especialmente con expresión epidémica severa en la variedad Tupy en plantaciones comerciales (Hernández-Cruz *et al.*, 2020).

Debido a los riesgos ambientales y de salud que el uso extensivo de fungicidas y fumigantes sintéticos plantea (Guédez *et al.*, 2009; Vásquez-Ramírez, 2017), es imperativo reducir el uso de plaguicidas químicos que afectan el ecosistema (Villa *et al.*, 2005). La aplicación de microorganismos antagonistas emerge como una alternativa indispensable, no solo para el control fitopatológico sino también para mejorar la tolerancia al estrés en las plantas (Guédez *et al.*, 2008; Tian *et al.*, 2018).

Dada la urgencia de enfoques con menor impacto ambiental, este trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia de microorganismos antagonistas en el manejo de la enfermedad de marchitez en la zarzamora.

Materiales y métodos

Recolecta, aislamiento e identificación

En el municipio de Tocumbo, en 2022, se llevó a cabo un muestreo dirigido a plantas sintomáticas de marchitez en un huerto de zarzamora 'Tupy' (19° 38' 21.5" latitud norte y 102° 29' 02.9" longitud oeste) a 1 300 msnm. La planta, de segundo año y manejo convencional, fue cultivada a cielo abierto. Se siguieron técnicas fitopatológicas de Agrios (2005) y Trigiano *et al.* (2004). Las raíces sintomáticas se sembraron en medio de cultivo ½X papa dextrosa agar (PDA) e incubaron a temperatura ambiente en oscuridad, puntas de hifa. Se obtuvieron cultivos monospóricos en medio de cultivo agar Spezieller Nährstoffarmer (SNA) y se almacenaron a -70 °C en glicerol 25% estéril.

Para la identificación se utilizaron las claves de Barnett y Hunter (1998); Leslie y Summerell (2006), comparando morfológicamente con preparaciones fijas. Se realizó una caracterización cultural en medio 1XPDA y se inocularon 20 µl de la suspensión de conidios en glicerol 25%. Se registraron características morfológicas y culturales, incluyendo tipo y espesor del micelio, color de la colonia, pigmentación del agar, presencia y color del esporodoquio, presencia de clamidosporas, y posible presencia de hifas enrolladas a los 15, 30 y 60 días.

La caracterización morfológica adicional se realizó en medio hojas de clavel agar (CLA), se inocularon 5 µl de la suspensión y midió el largo y ancho de 50 macroconidios y 50 microconidios de cada aislamiento. Se determinaron características como forma, tipo de pie y célula apical en macroconidios y forma, disposición y tipo de fiálide en microconidios, junto con la presencia y disposición de clamidosporas e hifas enrolladas a los 10 días.

Para la tasa de crecimiento, se inocularon 5 µl de la suspensión en medio SNA sin papel, incubando por siete días a 25 °C en oscuridad. Se transfirió un disco de 6 mm de diámetro al centro de una caja de Petri con medio PDA, se incubó por 72 h y se registró la tasa de crecimiento (mm). El análisis de varianza se realizó con el programa R versión 3.5.1 (R Core Team, 2020) y la interfaz R Studio versión 1.1.463 (Rstudio Team, 2020), con seis repeticiones y dos repeticiones del experimento.

Pruebas de patogenicidad

De acuerdo con Dhingra y Sinclair (1985), en plántulas sanas de zarzamora provenientes de un vivero en Zirimícuaro, Michoacán, crecidas en granzón como sustrato, se inocularon 100 ml en suspensión 1×10^6 conidios ml^{-1} . Las plantas se evaluaron cada 15 días, observando desde los primeros síntomas hasta la total marchitez característica de la enfermedad. Se corroboraron los postulados de Koch.

Bioensayo *in vitro*

Se realizaron pruebas de confrontación *in vitro* entre antagonistas (*Trichoderma* nativos de Tacámbaro y Taretan, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas fluorescens*) y el patógeno mediante el método de confrontación por cuadrantes, en placas Petri con 20 ml de medio de cultivo PDA. La placa se dividió en cuadrantes, depositando discos (10 mm de diámetro) del patógeno y antagonista en extremos opuestos, el tratamiento control consistió solo en el patógeno sin antagonista.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones, midiendo el crecimiento radial cada 24 h. Las mediciones del crecimiento radial del patógeno (CR mm) en interacción con los antagonistas y del testigo (patógeno) aislado determinaron el efecto antagonista *in vitro*. Se realizó un análisis de varianza del crecimiento diario durante ocho días, con la separación de medias de Tukey (0.05). Los análisis se realizaron mediante el programa R versión 3.5.1 (R Core Team, 2020) y la interfaz R Studio versión 1.1.463 (Rstudio Team, 2020). Basados en los resultados del ensayo *in vitro*, se confrontaron los antagonistas en condiciones de invernadero para evaluar su eficiencia *in vivo* en el control del patógeno.

Bioensayo en invernadero

En plantas sanas de zarzamora Tupy de cuatro meses de vivero comercial en Zirimícuaro, Michoacán, se aplicaron preventivamente y como control 100 ml de una solución de 1×10^6 UFC ml^{-1} de *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*, y 100 ml de una solución de 1×10^6 conidios ml^{-1} de *Trichoderma* sp., nativo de Tacámbaro, de forma individual y combinada, generando 14 tratamientos bajo un diseño de bloques al azar. Cada unidad experimental constó de 6 repeticiones, las plantas se colocaron en granzón estéril como sustrato.

Los tratamientos preventivos se aplicaron dos semanas antes de inocular las plantas con una solución de conidios de 1×10^6 conidios ml^{-1} de patógeno. En los tratamientos de control, la inoculación del patógeno precedió a los antagonistas por dos semanas, utilizando la misma concentración de esporas. Se establecieron testigos para cada caso.

Se evaluaron las variables de incidencia de amarillamiento y marchitez de follaje, determinando el porcentaje de follaje con síntomas de la enfermedad, y se evaluó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de amarillamiento} = \left(\frac{\text{Número de hojas con síntomas}}{\text{Total de hojas}} \right) \times 100$$

La severidad de la enfermedad se midió en una escala del 1 a 100% según el daño foliar. La altura de la planta se comparó con las plantas sanas. Se registraron peso, longitud y necrosis de la raíz, estableciendo porcentajes de pudrición en una escala del 1 al 100%. Los datos se transformaron con la función arcoseno para el análisis.

Se realizaron análisis estadísticos con el programa R versión 3.5.1 (R Core Team, 2020) y la interfaz R Studio versión 1.1.463 (Rstudio Team, 2020) de cada variable para un diseño completamente al azar y la separación de medias de Tukey (0.05).



Resultados y discusión

De los aislamientos realizados se obtuvo un aislado, que por comparación de sus características morfológicas pertenece al género *Fusarium*.

Características culturales

La colonia en PDA tuvo crecimiento radial, micelio abundante, algodonoso, flocoso, aéreo de margen entero. De color blanco por el anverso y de blanco a rosado, violeta claro y violeta oscuro por el reverso con forme envejeció la colonia (Figura 1).

Figura 1. Caracterización cultural de los aislados de *Fusarium* en los medios de cultivo: PDA, SNA y CLA.

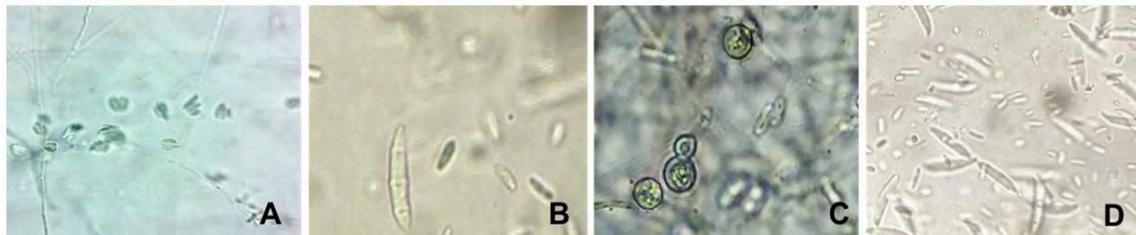


La temperatura, oscuridad y el medio de cultivo son factores importantes para la formación de pigmentos en este género. El medio PDA por su contenido de carbohidratos permite desarrollo y expresión ideales del cultivo como la forma, color, pigmentación del medio y crecimiento (Leslie y Summerell, 2006).

Características morfológicas

En medio PDA se observaron microconidios elípticos, en falsas cabezas, sin septos, raramente con un septo, clamidosporas intercaladas. En medio SNA, microconidios uniformes, en monofialides cortos, con micelio aéreo. La formación de macroconidios solo se observó en el medio de cultivo CLA, de forma casi recta, con tres septos, curvados apenas en las puntas, delgados, con célula apical curva y basal en forma de pie con tres septos (Figura 2).

Figura 2. Estructuras de *Fusarium* observadas en el medio de cultivo PDA, SNA y CLA. A) microconidios en falsas cabezas en SNA; B) macroconidios en CLA; C) clamidosporas en PDA y D) micro y macroconidios en CLA.



Tasa de crecimiento

La tasa osciló entre 28 a 30 mm a las 72 h a 25 °C y aunque es un carácter secundario, tradicionalmente en medio PDA y dejado crecer por tres días a 25 o 30 °C, permite distinguir las especies de rápido o lento crecimiento (Leslie y Summerell *et al.*, 2006). Las características de la

colonia en los medios de cultivo PDA, SNA y CLA, así como la tasa de crecimiento, coinciden con lo señalado por Leslie y Summerell (2006) para la especie *Fusarium oxysporum*.

Pruebas de patogenicidad

Los síntomas se presentaron a los dos meses de la inoculación, iniciaron con amarillamiento y flacidez en las hojas, de la base de la planta, marchitando la planta a los cinco meses de la inoculación. Las raíces mostraron necrosis y decoloración marrón de los tejidos del xilema. El reaislamiento de las raíces confirmó la presencia del *Fusarium oxysporum* inoculado. Las plantas sin inocular se mantuvieron sin la presencia de síntomas (Figura 3).

Figura 3. Síntomas de amarillamiento, marchitez y necrosis presentes en las plantas de zarzamora. A) planta sana y B) planta inoculada con el patógeno.



Bioensayo *in vitro*

Los resultados demostraron variación significativa entre tratamientos. Desde el cuarto día, los efectos de *Trichoderma* sp., Tacámbaro, *Trichoderma* sp., Taretan y *B. Subtilis* fueron estadísticamente similares y superiores a *B. amyloliquefasciens* y *P. fluorescens* en la inhibición del crecimiento radial (CR) de *Fusarium*. Al octavo día, *P. fluorescens* mostró una disminución del CR del 78%, mientras que *Trichoderma* sp., Tacámbaro, *Trichoderma* sp., Taretan y *B. subtilis* registraron una disminución de 71%, 68% y 65%, respectivamente (Figuras 4 y 5).

Figura 4. Anverso y reverso de la confrontación por cuadrantes de *Fusarium oxysporum* con cada uno de los tratamientos antagonistas en el día ocho.

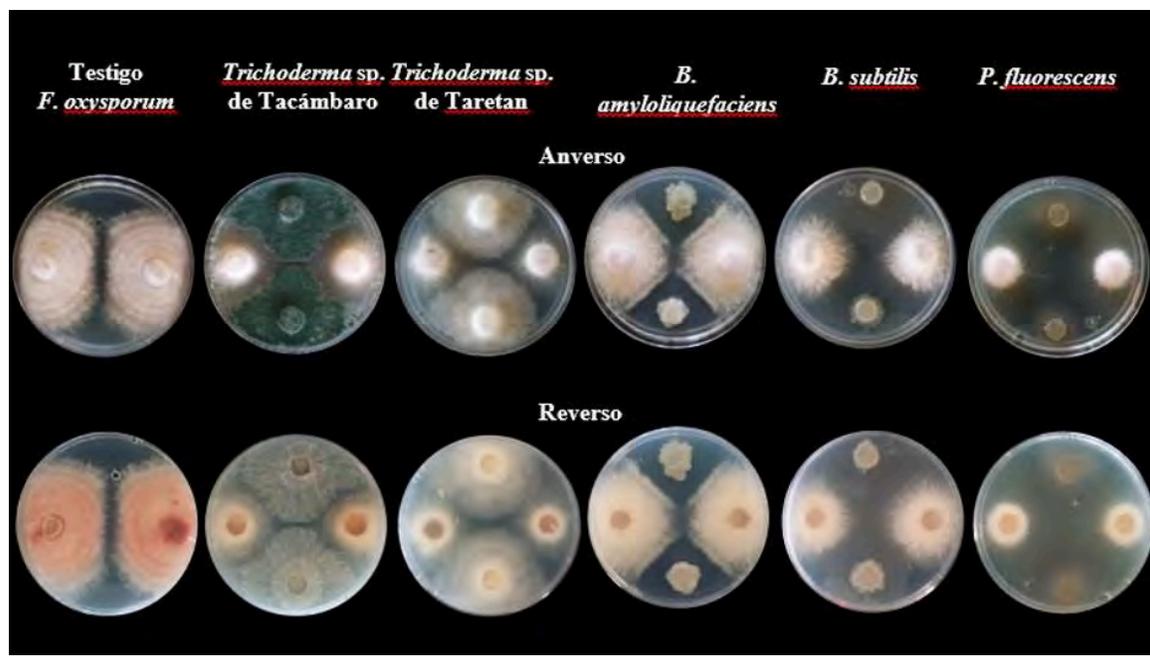
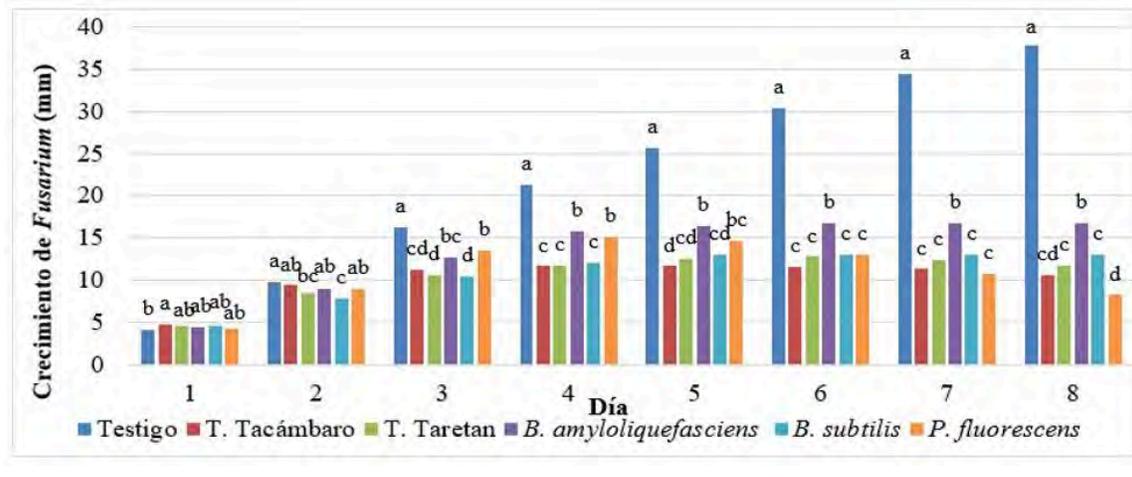


Figura 5. Comparación de medias (Tukey, 0.05) del crecimiento radial de *Fusarium oxysporum* durante ocho días.



Microorganismos como *P. fluorescens*, *B. subtilis* y ambas especies de *Trichoderma*, destacados por su eficacia en el control de *Fusarium* spp. y *F. oxysporum* en entornos controlados, han sido respaldados por estudios previos (Guerra *et al.*, 2011; Tejera-Hernández *et al.*, 2011; Guédez *et al.*, 2012; Mejía-Bautista *et al.*, 2016; Boughalleb-M'Hamdi *et al.*, 2018).

El biocontrol con *Trichoderma* se atribuye a la producción de enzimas con actividad antifúngica, afectando el micelio de *F. oxysporum* por penetración y lisis (Martínez *et al.*, 2013). La competencia por espacio y nutrientes también influyen (Infante *et al.*, 2009). En el tratamiento con *Trichoderma* sp. de Tacámbaro, se observó un parasitismo inicial del patógeno, corroborando hallazgos anteriores con *T. viride* contra *P. infestans* (Bouziane *et al.*, 2016).

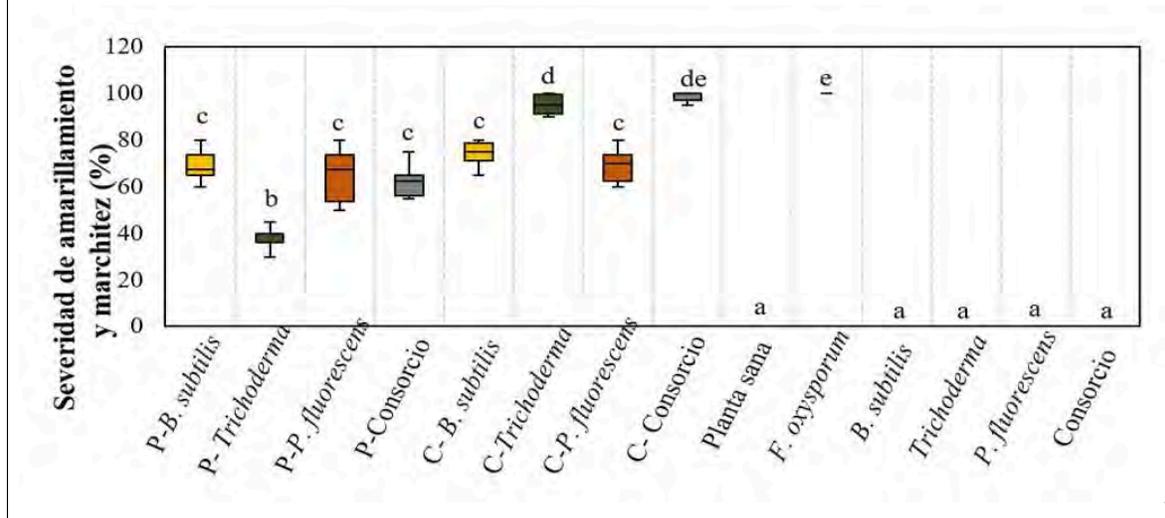
Por otro lado, el antagonismo de *P. fluorescens* y *B. subtilis*, podría atribuirse a la antibiosis, competencia por recursos e inducción de resistencia sistémica. Además, de la producción de enzimas que degradan la pared celular y compuestos orgánicos volátiles, fitoalexinas y sideróforos (Cornelis *et al.*, 2008; Bhattacharyya y Jha, 2012; Singh y Singh, 2013).

Bioensayo en invernadero

El amarillamiento y marchitez en las plantas de zarzamora inoculadas con *F. oxysporum* y con los antagonistas mostraron variación significativa. Los tratamientos preventivos con *B. Subtilis* (37.65), *Trichoderma* sp. (33.64%), *P. fluorescens* (42.32%) y el consorcio de los agentes antagonistas (37.46%) así como *P. fluorescens* (41.97%) como control, mostraron ser estadísticamente iguales, disminuyendo la incidencia comparados con el testigo inoculado con *Fusarium* que tuvo 100%; el tratamiento preventivo con *Trichoderma* sp., redujo la incidencia en un 66.36% (Figura 6).



Figura 6. Comparación de medias y porcentaje de severidad de los síntomas foliares en plantas de zarzamora inoculadas con *F. oxysporum*. P= preventivo y C= control.



Los tratamientos control con el consorcio de agentes antagonistas y con *Trichoderma* sp., se comportaron estadísticamente igual al testigo, con 98.97% y 96.69% de amarillamiento y marchitez. El tratamiento sin inocular y los inoculados con los antagonistas *B. subtilis*, *Trichoderma* sp., *P. fluorescens* solos o en consorcio no presentaron incidencia alguna.

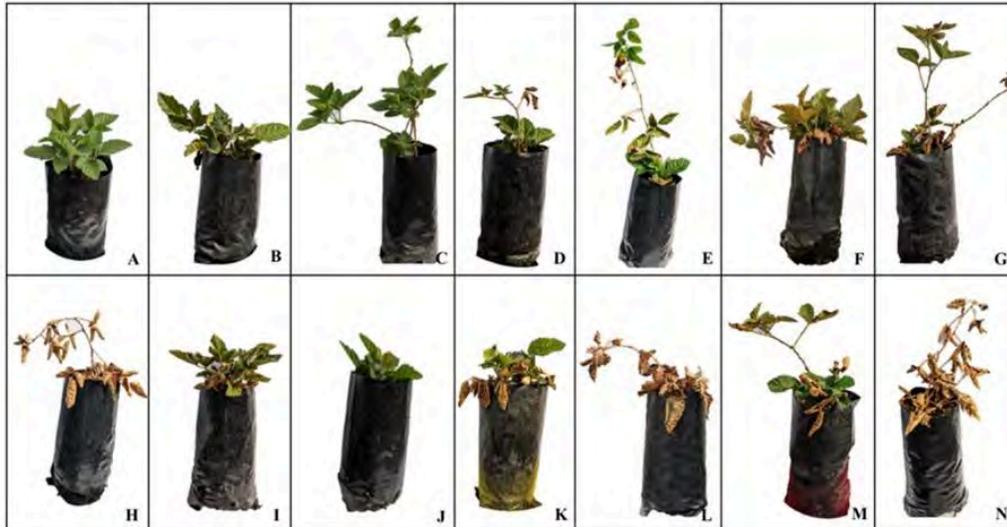
De manera preventiva cada antagonista disminuyó el porcentaje de incidencia, coincidiendo con Acosta-González *et al.* (2018), quienes probaron agentes de control biológico comerciales y nativos en la incidencia de la marchitez de zarzamora por *Fusarium* y reportaron que cepas de *Trichoderma*, *Pseudomonas fluorescens* y complejos bacterianos mostraron resultados positivos al disminuir el porcentaje de incidencia. *Trichoderma* de forma preventiva disminuyó la severidad del amarillamiento en un 61.73%, tal como lo reportaron Rebollar y Silva (2019), en condiciones de invernadero para la marchitez de zarzamora.

La elevada incidencia de marchitez en el consorcio de antagonistas como control podría atribuirse a las complejas interrelaciones entre microorganismos en la interfaz suelo-planta-microorganismos-ambiente. *Trichoderma* y *Pseudomonas* suelen depender de estos factores para manifestar sus efectos beneficiosos. Sin embargo, en la interacción de estos tres tipos de microorganismos, pueden surgir efectos sinérgicos que amplifiquen los beneficios o, por el contrario, que no generen ningún efecto apreciable (Cano, 2011).

El tratamiento inoculado con *Trichoderma* sp. y el tratamiento preventivo, ambos estadísticamente iguales, exhibieron el mayor aumento en la altura de las plantas, semejando hallazgos previos de Ruiz-Cisneros *et al.* (2018) (Figura 7). *Trichoderma* genera metabolitos secundarios que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016). Además, puede activar genes relacionados con la defensa de las plantas, aumentando el nivel de ergosterol y favoreciendo un crecimiento más rápido en el suelo, explicando así sus efectos positivos en el crecimiento y defensa de las plantas (Mayo *et al.*, 2015).



Figura 7. Aspecto de las plantas de zarzamora al finalizar las pruebas. A) planta sana; B) tes go *P-B. sub lis*; C) tes go *Trichoderma sp.*; D) *P-B. sub lis*; E) *P-Trichoderma sp.*; F) *P-P. fluorescens*; G) *P-consorcio*; H) tes go *Fusarium oxysporum*; I) testigo *P. fluorescens*; J) testigo consorcio; K) *C-B. subtilis*; L) *C-Trichoderma sp.*; M) *C-P. fluorescens*; y N) *C-consorcio*.

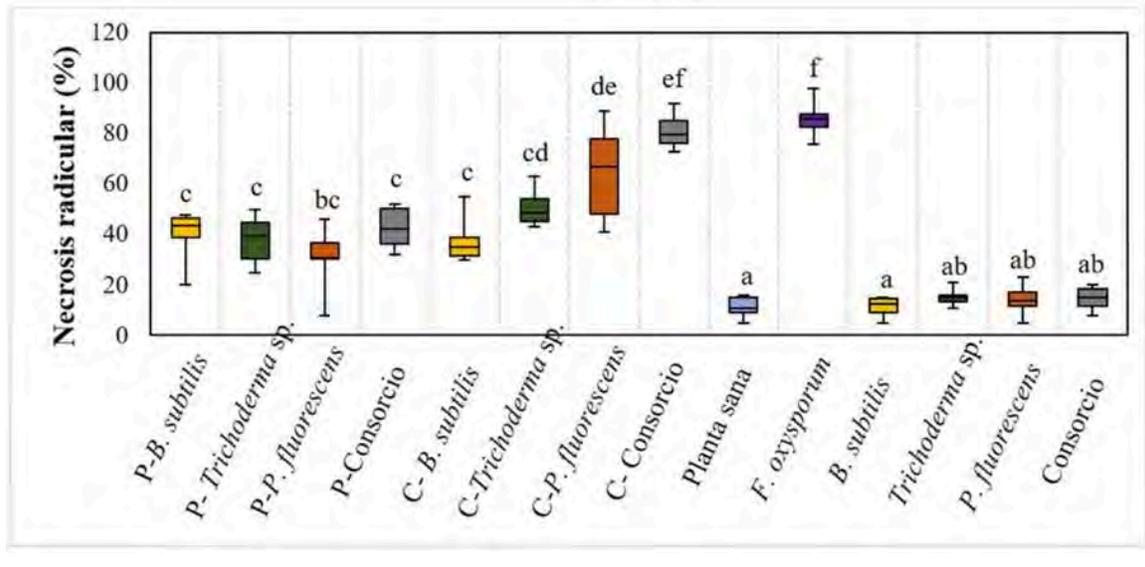


Las raíces de las plantas de zarzamorras del tratamiento sin inocular y los testigos inoculados con *B. subtilis*, *Trichoderma sp.*, *P. fluorescens* y el consorcio de antagonistas mostraron un ligero porcentaje de necrosis radicular, se hicieron aislamientos de éstas descartándose la presencia de patógenos. Esta necrosis pudo ocasionarse por exceso de agua en el sustrato, el oxígeno escasea, provocando asfixia y posterior pudrición de raíces.

En los tratamientos inoculados con *Fusarium*, preventivos o de control, *B. subtilis* y *Trichoderma sp.*, fueron estadísticamente iguales con medias de porcentaje de necrosis de 29.84% como en el caso del tratamiento preventivo *P. Fluorescens*. En comparación, el tratamiento de control con el consorcio de antagonistas y el testigo exhibieron estadísticas similares y los mayores porcentajes de necrosis (Figura 8).



Figura 8. Comparación de medias (Tukey, 0.05) del porcentaje de necrosis presente en la raíz de plantas de zarzamora. P= preventivo; C= control.



La eficiencia al disminuir el porcentaje de necrosis con el tratamiento preventivo de *P. fluorescens* podría deberse a su capacidad de colonizar la rizósfera de las plantas y presentar actividad antagonista hacia diversos patógenos (Perotti *et al.*, 2005) al ser capaces de quelar el hierro haciéndolo menos disponible para los patógenos u otros microorganismos (Susan y Castiel, 2005). Esto coincide con Guerra *et al.* (2011), quienes reportaron cepas de *P. fluorescens* eficientes para el control de *F. oxysporum* en condiciones controladas y de invernadero.

Los tratamientos de control y preventivo con *Trichoderma sp.* disminuyeron el porcentaje de necrosis radicular, ya que al colonizar la rizósfera, cualquier patógeno que atravesase esa protección, es destruido por el hiperparasitismo que posee, además de actuar como barrera para prevenir la entrada de patógenos a las raíces (Gómez *et al.*, 2013).

Conclusiones

Se identificó por sus caracteres morfológicos y culturales a *Fusarium oxysporum* agente causal del amarillamiento y marchitez en plantas de zarzamora. Las cepas de *Trichoderma*, *Bacillus* y *P. fluorescens* presentaron *in vitro* capacidad antagonista mayor al 50% frente a *F. oxysporum*, *P. fluorescens* destacó con un notable 78% de inhibición en el crecimiento radial.

En invernadero, los tratamientos preventivos exhibieron notable capacidad antagonista, al reducir la incidencia del marchitamiento en más del 57%. *Trichoderma sp.* destacó con una disminución superior al 66% y un incremento de altura superior al 50%. *B. subtilis* y *P. fluorescens* como control también mostraron reducciones superiores al 45%.

En los tratamientos preventivos y de control *B. subtilis* y *Trichoderma sp.*, redujeron la necrosis radicular en más de 49%, destacó el tratamiento preventivo con *Trichoderma sp.*, con una disminución superior al 62%. La aplicación preventiva de los microorganismos antagonistas mostró mayor eficacia en la prevención del amarillamiento y marchitez de la zarzamora en comparación con su aplicación como control.



Agradecimientos

Se agradece al Ing. Joel Alejandro Vargas Hernández y MC. Erwin Saul Navarrete Saldaña por su apoyo en las recolectas y procesamiento de las muestras de los laboratorios de Suelos y Bromatología de la Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez' de la UMSNH.

Bibliografía

- 1 Acosta-González, U.; Hernández-Castrejón, J.; Rebollar-Alviter, A.; Silva-Rojas, H. V.; Romero-Bautista, A. y González-Villegas, R. 2018. Effect of chemical, biological fungicides, and plant resistance inducers for the management of blackberry wilt caused by *Fusarium oxysporum*. Conference: International congress of plant pathology, Boston, MA. Doi:10.13140/RG.2.2.12995.04646.
- 2 Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. Fifth edition. Ed. Elsevier. USA. 635 p.
- 3 Barnett, H. L and Hunter, B. B. 1998. Illustrated genera of imperfect fungi. 4th Ed. Burgess Publishing Company Minneapolis, Minnesota USA. 218 p.
- 4 Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. 2011. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 28(4):1327-1350.
- 5 Boughalleb-M'Hamdi, N.; Salem, I. B. and M'Hamdi, M. 2018. Evaluation of the efficiency of *Trichoderma*, *Penicillium* and *Aspergillus* species as biological control agents against four soil-borne fungi of melon and watermelon. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 28(1):25-36.
- 6 Bouziane, Z.; Dehimet, L. and Kacem Chaouch N. 2016. Inhibitory activity of *Trichoderma viride* against *Phytophthora infestans* that affects the Spunta potato (*Solanum tuberosum* L.) variety. African Journal of Microbiology Research. 10(29):1121-1127.
- 7 Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad y divulgación científica. 14(2):15-31.
- 8 Contreras-Cornejo, H. A.; Macías-Rodríguez, L.; Del-Val, E. and Larsen, J. 2016. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. FEMS Microbiology Ecology. 92(4):1-21.
- 9 Cornelis, P.; Baysse, C. and Matthijs, S. 2008. Iron uptake in *Pseudomonas*. In *Pseudomonas: genomics and molecular biology*. Brussel, Belgium. Ed. Cornelis, P. Caister Academic Press. 213-235 pp.
- 10 Dhingra, O. D. and Sinclair, J. B. 1985. Basic plant pathology methods. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 355 p.
- 11 Gómez, R. H.; Soberanis, R. W.; Tenorio, C. M. y Torres, A. E. 2013. Manual de producción y uso de hongos antagonistas. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. 6-7 pp.
- 12 Gordon, T. R.; Kong, M.; Broome, J. C.; Pastrana, A. M. and Kirkpatrick, S. C. 2017. *Fusarium oxysporum* f. sp. *mori*, a new forma specialist causing *Fusarium* wilt of Blackberry. Plant Disease. 101(12):2066-2072.
- 13 Guédez, C.; Cañizalez, L.; Castillo, C. y Olivar, R. 2009. Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria* spp.). Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 29(1):34-38.
- 14 Guédez, C.; Cañizalez, L.; Castillo, C. y Olivar, R. 2012. Evaluación *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 32(1):44-49.

- 15 Guédez, C.; Castillo, C.; Cañizalez, L. y Olivar, R. 2008. Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia*. 3(13):50-74.
- 16 Guerra, G. A.; Betancourth, C. A. y Salazar, C. E. 2011. Antagonismo de *Pseudomonas fluorescens* Migula frente a *Fusarium oxysporum* fsp. *pisi* Schtdl en Arveja *Pisum sativum* L. *Revista UDCA actualidad & divulgación científica*. 14(2):33-42.
- 17 Hernández-Cruz, A.; Saldivia-Tejeda, A.; Silva-Rojas, H. V.; Fuentes-Aragón, D.; Nava-Díaz, C.; Martínez-Bolaños, L. and Rebollar-Alviter, A. 2020. Evaluation of full-season programs for the management of *Fusarium* wilt of blackberry caused by a new lineage of the *Fusarium oxysporum* species complex. *Crop Protection*. 134(2020):4-11.
- 18 Infante, D.; Martínez, B.; González, N. y Reyes, Y. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista Protección Vegetal*. 24(1):14-21.
- 19 Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. The *Fusarium* laboratory manual. Ed. Blackwell Publishing. First edition. Iowa, USA. 5-30(119):212-218.
- 20 Martínez, B.; Infante, D. y Reyes, Y. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista Protección Vegetal*. 28(1):1-11.
- 21 Mayo, S.; Gutiérrez, S.; Malmierca, M. G.; Lorenzana, A.; Campelo, M. P.; Hermosa, R. and Casquero, P. A. 2015. Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. in growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and in the induction of plant defense-related genes. *Frontiers in Plant Science*. 6(685):1-11.
- 22 Mejía-Bautista, M. A.; Cristóbal-Alejo, J.; Tun-Suárez, J. M. y Reyes-Ramírez, A. 2016. Actividad *in vitro* de *Bacillus* spp. en la inhibición de crecimiento micelial de *Fusarium equiseti* y *Fusarium solani* aislado de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*. 50(8):1123-1135.
- 23 Perotti, E. B. R.; Menéndez, L. T.; Gaia, O. E. y Pidello, A. 2005. Supervivencia de *Pseudomonas fluorescens* en suelos con diferente contenido de materia orgánica. *Revista Argentina de Microbiología*. 37(2):102-105.
- 24 Rebollar, A. A. y Silva, R. H. V. 2019. La marchitez de la zarzamora. Diagnóstico, epidemiología y manejo integrado. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). 1^{ra}. Ed. México. 10-16 pp.
- 25 Ricárdez-Luna, G.; Aguilar-Rivera, N.; Galindo-Tovar, M. E. y Debernardi-Vázquez, T. J. 2016. Diagnóstico de la producción de zarzamora (*Rubus* sp.) en la zona centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*. 9(6):34-38.
- 26 Ruiz-Cisneros, M. F.; Ornelas-Paz, J. J.; Olivas-Orozco, G. I.; Acosta-Muñiz, C. H.; Sepúlveda-Ahumada, D. R.; Pérez-Corral, D. A. y Ríos-Velasco, C. 2018. Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 36(3):444-456.
- 27 R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- 28 RStudio Team . 2020. Studio: integrated development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
- 29 SIAP. 2021. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>.
- 30 Singh, J. S. and Singh, D. P. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): microbes in sustainable agriculture. *Management of Microbial Resources in the Environment*. 361-385 pp.
- 31 Susan, V. R. y Castiel, A. F. 2005. Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos. En: *Biotecnología y medioambiente*. Ed. Ephemera. Madrid. 215-230 pp.

- 32 Tejera-Hernández, B.; Rojas-Badía, M. M. y Heydrich-Pérez, M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. CENIC Ciencias Biológicas. 42(3):131-138.
- 33 Tian, L.; Shi, S.; Ji, L.; Nasir, F.; Ma, L. and Tian, C. 2018. Effect of the biocontrol bacterium *Bacillus amyloliquefasciens* on the rhizosphere in ginseng plantings. International Microbiology. 21(3):153-162.
- 34 Trigiano, N. R.; Windham, T. M. and Windham, S. A. 2004. Plant pathology, concepts, and laboratory excercises . CRC Press. 413 p.
- 35 Vásquez-Ramírez, L. M. y Castaño-Zapata, J. 2017. Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) W. C. Snyder & H. N. Hansen: una revisión. Revista UDCA. Actualidad & Divulgación Científica. 20(2):363-374.
- 36 Villa, P. M.; Frías, A. y González, G. 2005. Evaluación de cepas de *Pseudomonas* sp para el control de hongos fitopatógenos que afectan cultivos de interés económico. ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar. 39(3):40-44.



Microorganismos antagonistas como manejo del marchitamiento de la zarzamora por *Fusarium oxysporum*

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2024
Date accepted: 01 March 2024
Publication date: 16 April 2024
Publication date: Apr-May 2024
Volume: 15
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3655
DOI: 10.29312/remexca.v15i3.3655

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Rubus
Fusarium
biocontrol
manejo integral
marchitez

Counts

Figures: 8
Tables: 0
Equations: 1
References: 36
Pages: 0