

Control biológico de antracnosis utilizando microorganismos antagonistas en *Coffea arabica* en el Estado de México

Alejandra Velázquez-Flores¹

Fidel Lara-Vázquez¹

Jaime Mejía-Carranza¹

Martha Lydia Salgado-Siclán¹

Agustín David Acosta-Guadarrama¹

José Francisco Ramírez-Dávila^{1,§}

1 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50295. Tel. 722 2965529. (avelazquezf007@alumno.uaemex.mx; flarav-s@uaemex.mx; jmejiaac@uaemex.mx; mlsalgados@uaemex.mx; agustin.acosta@umb.mx).

Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.mx

Resumen

El café en México es importante para la economía, generando empleos y divisas; no obstante, enfrenta problemas fitosanitarios como la antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum* sp., la cual, se maneja a través de productos químicos, afectando al medio ambiente, por lo que se hace necesario buscar alternativas más amigables para el control de esta enfermedad. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto antagonista de tres microorganismos (*Trichoderma* sp., *Bacillus* sp. y *Verticillium* sp.) frente a *Colletotrichum* sp., en muestras colectadas en los municipios de Temascaltepec y Tejupilco, Estado de México en diferentes fechas del año 2024. El experimento se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Se realizó la confrontación *In vitro* de las cepas antagónicas frente a *Colletotrichum* sp., calculando con el software ImagenJ: a) grado de micoparasitismo y b) porcentaje de inhibición de crecimiento. Para determinar el modo de acción del antagonismo, se realizó un Anova y una comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$). Se observó que *Trichoderma* sp., presentó el mayor grado de inhibición sobre el fitopatógeno con 85.15%, *Bacillus* sp., con 59.27% y *Verticillium* sp., con 47.08%. Se concluyó que *Trichoderma* sp., fue el microorganismo que tiene el mayor efecto antagonista, lo que sugirió la viabilidad de realizar investigaciones en campo, para evaluar el impacto de este microorganismo en el control de la enfermedad en condiciones naturales.

Keywords:

Bacillus sp., *Trichoderma* sp., *Colletotrichum* sp., *Verticillium* sp.



Introducción

Actualmente, el café es un producto de alto valor comercial. En México, los principales estados productores son Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Jalisco. No obstante, el Estado de México también contribuyó a la producción nacional, en el año 2021 se reportaron 530.81 ha sembradas, con una producción de 639.89 t y un rendimiento promedio de 1.21 t ha⁻¹ (Bastos-Osorio *et al.*, 2019; SIACOM, 2022).

El cultivo de café enfrenta problemas fitosanitarios, como la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum* sp., entre los que se han reportado *Colletotrichum kahawae* y *Colletotrichum gloeosporioides*, que afectan diversas partes de la planta (Cannon *et al.*, 2012). El desarrollo de la enfermedad se ve influenciado por factores bióticos, como la esporulación de los hongos y los vectores de transmisión, así como factores abióticos, como la temperatura, la alta humedad relativa, el viento y la lluvia (Rojo-Bi *et al.*, 2017).

Tradicionalmente se controla con fungicidas de alta toxicidad de uso restringido como benzimidazol y estrobilurinas, azoxystrobin, clorotalonil, mancozeb y tiabendazol, de ahí la importancia de buscar alternativas de producción del cultivo más inocua (Rojo-Bi *et al.*, 2017; Sood *et al.*, 2020). Una de las alternativas más prometedoras es el uso de microorganismos como agentes de control biológico. *Trichoderma* sp., mostró un alto potencial como antagonista de fitopatógenos incluyendo *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora* sp. y *Pythium* sp., entre otros en distintos cultivares de valor comercial (Martínez y Coca, 2020; García-Velasco *et al.*, 2021).

Por otra parte, *Bacillus* sp., produjo una gran variedad de antibióticos como lipopeptidos, que inhiben el crecimiento de patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp., *Xanthomonas* sp. y *Botrytis cinerea* (Astorga-Quirós *et al.*, 2014; Pérez y García, 2019; Zuñiga *et al.*, 2019). Asimismo, *Verticillium* sp., demostró un gran potencial como biocontrolador del mildiú polvoroso en pepino, produciendo estructuras de resistencia llamadas dictioclamidiosporas (Aiavo, 2015; Espinoza *et al.*, 2017).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto antagonista de tres microorganismos (*Trichoderma* sp., *Bacillus* sp. y *Verticillium* sp.) frente a *Colletotrichum* spp., en muestras colectadas en los municipios de Temascaltepec y Tejupilco, Estado de México en diferentes fechas del año 2024.

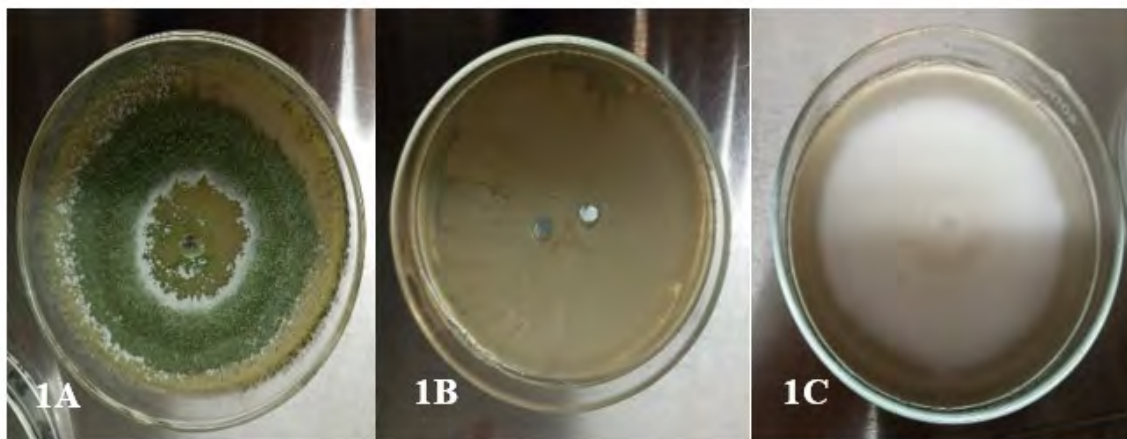
Materiales y métodos

Ubicación

El estudio se llevó a cabo en la zona productora de café del Estado de México, en el municipio de Temascaltepec (19° 02' 35" latitud norte 100° 02' 29" longitud oeste, altitud media de 1 719 m) y Tejupilco (18° 48' 47" latitud norte 100° 08' 06" longitud oeste, altitud media de 1 043 m). Se recolectaron muestras de hojas y frutos de café con síntomas de antracnosis (SENASICA, 2014) y fueron trasladadas al Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX), en donde se desarrolló la investigación (García-Velasco *et al.*, 2021) (Figura 1).



Figura 1. A) *Trichoderma* sp.; B) *Bacillus* sp. y C) *Verticillium* sp., microorganismos identificados y proporcionados por el Laboratorio de Fitopatología del ICAMEX.



Para realizar el aislamiento se implementó la metodología utilizada por Rengifo *et al.* (2002); Guzmán y Rivillas (2005), con algunas modificaciones. Las hojas con la presencia del patógeno se lavaron con agua corriente, las láminas foliares se sumergieron en ADE (agua destilada estéril) por cinco minutos y posteriormente se enjuagaron con abundante ADE. Se colocaron en cajas Petri, simulando una cámara húmeda en completa oscuridad a 26 °C y con el 100% de humedad relativa, en una incubadora Heratherm Thermo Scientific, revisándose a las 24 y 48 h. Con una cámara de flujo laminar y un estereoscopio marca Labomed, se identificaron masas de conidios dentro de los acérvulos; con el microscopio marca Labomed USA, con los lentes 10 x y 40 x se identificaron conidios de *Colletotrichum* sp., sobre las lesiones, estos se transfirieron a 12 cajas Petri que contenían 20 ml de PDA estéril y se monitoreó el crecimiento del patógeno durante seis días, seleccionando las colonias puras para realizar el antagonismo (SENASICA, 2014; Ruíz-Campos, 2022).

El antagonismo, se realizó según lo propuesto por Suárez *et al.* (2008), en donde se utilizó agar papa dextrosa (PDA) en caja Petri, colocando en un extremo de la caja un disco de agar de cinco mm de diámetro con el micelio del patógeno *Colletotrichum* sp. y en el extremo opuesto, otro disco con el micelio de los antagonistas, manteniendo una distancia aproximada de 5 cm entre ambos.

El área de crecimiento de las colonias se determinó a partir de las imágenes procesadas mediante el software Imagej, con el fin de evaluar la capacidad antagónica de los biocontroladores. A partir de estas mediciones, se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento (PIC), para comparar el crecimiento del patógeno en presencia del antagonista con respecto al testigo. La fórmula utilizada descrita por Quintana-Obregón *et al.* (2010); Araya *et al.* (2019) se expresó de la siguiente manera:

$$PIC\% = \frac{R1 - R2}{R1} * 100$$

Donde: R1 crecimiento del testigo; R2 crecimiento del patógeno en antagonismo, expresado en porcentaje. Para evaluar el grado de micoparasitismo, se utilizó la escala propuesta por Astorga-Quiroz *et al.* (2014) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Escala utilizada para evaluar el grado de micoparasitismo de los biocontroladores de los patógenos.

Grado	Capacidad antagónica	Potencial biocontrolador
0	Ninguna invasión de la superficie de la cepa patógena	Muy malo
1	¼ invasión de la superficie de la cepa patógena	Malo

Grado	Capacidad antagonica	Potencial biocontrolador
2	1/2 invasión de la superficie de la cepa patógena	Deficiente
3	Total invasión de la superficie de la cepa patógena	Bueno
4	Total invasión de la superficie de la cepa patógena esporulación sobre ella	Muy bueno

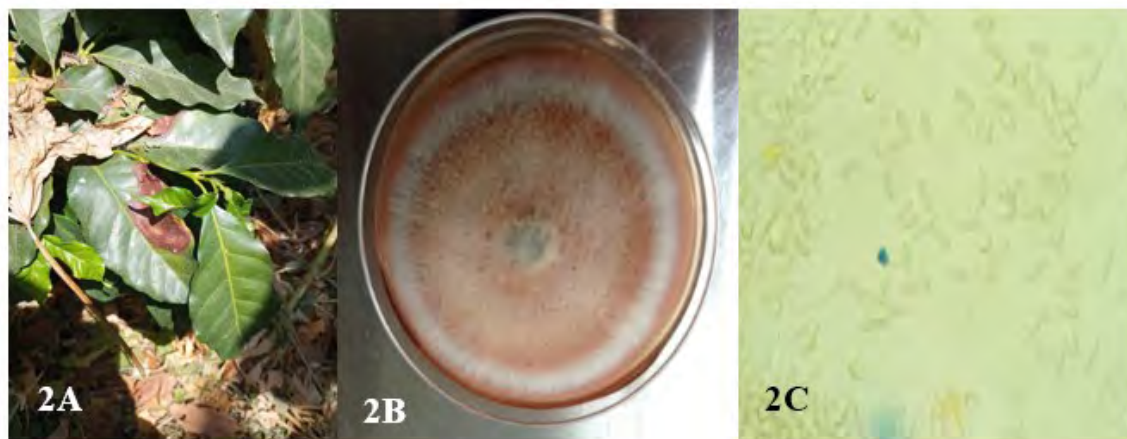
Diseño experimental y análisis estadístico

El antagonismo con los microorganismos se realizó mediante un diseño completamente al azar con tres tratamientos: a) Antagonismo- *Colletotrichum-Trichoderma* (ACT); b) Antagonismo- *Colletotrichum-Bacillus* (ACB) y c) Antagonismo- *Colletotrichum- Verticillium* (ACV), además de un grupo testigo, con cinco repeticiones por tratamiento, utilizando como unidad experimental una caja Petri, para la comparación entre tratamientos, se realizó una prueba de Tukey ($p = 0.05$) y se usaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para validar normalidad y homocedasticidad, respectivamente. También se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis. El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat 2020; (Suárez *et al.*, 2008; Astorga-Quirós *et al.*, 2014).

Resultados y discusión

El aislamiento e identificación del patógeno se realizó con las muestras de hojas de café con los síntomas de *Colletotrichum* sp. (Figura 2A). Se obtuvieron tres aislamientos C1, C2 y C3, los cuales crecieron rápidamente en la incubadora a una temperatura de 26 ± 1 °C, cubriendo en su totalidad la caja Petri al sexto día.

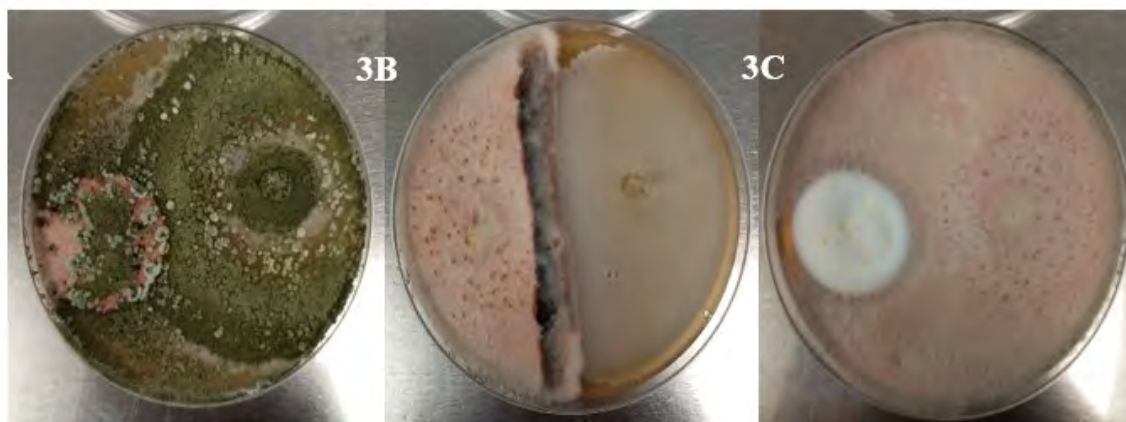
Figura 2. A) Colecta de hojas con síntomas de antracnosis; B) colonia de *Colletotrichum* sp., con la presencia de masas de acérvulos conformada por conidios y C) conidios del hongo *Colletotrichum* sp., en el medio de cultivo PDA.



Las colonias presentaron un aspecto algodonoso, blanco grisáceo, con masas de acérvulos anaranjados y una base de color rojo cobrizo (Figura 2B). La descripción morfológica coincide con la reportada por Ruíz-Campos (2022), quien identificó especies de *Colletotrichum* sp., mediante técnicas morfológicas y moleculares. Las observaciones microscópicas, con los lentes 10 x y 40 x mostraron que las colonias presentaban: micelio hialino, conidios unicelulares alargados con extremos redondeados y un crecimiento radial y algodonoso (Figura 2C), características descritas también por Hyde *et al.* (2009). En cuanto al crecimiento de las colonias, Domínguez-Guerrero *et al.* (2012), reportó un crecimiento radial o en círculos concéntricos, aéreo algodonoso, mientras que las setas son raramente observadas.

Una vez que se aisló e identificó al patógeno, se procedió a realizar las pruebas antagonistas, mediante las cuales se analizó el porcentaje de inhibición de crecimiento. Este análisis se llevó a cabo en el segundo, cuarto y sexto día después de establecer el experimento de antagonismo en el laboratorio. El tratamiento ACT identificado como *Trichoderma* sp., fue el más efectivo en controlar el crecimiento micelial de *Colletotrichum* sp. con un PIC de 17.09% $\pm$ 8.25 en el segundo día, 79.03% $\pm$ 8.55 en el cuarto día y 85.15% $\pm$ 1.34 en el sexto día (Figura 3A).

Figura 3. Antagonismo de los microorganismos. A) *Trichoderma* sp.; B) *Bacillus* sp. y C) *Verticillium* sp. ante *Colletotrichum* sp. al sexto día, último día de evaluación.



Este efecto se atribuyó a que el modo de acción de *Trichoderma* sp., es la competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo, es el principal mecanismo de acción la antibiosis (Martínez y Coca, 2020). Por su parte Sanmartín *et al.* (2012) obtuvo porcentajes de Inhibición de crecimiento, con cepas de *T. asperellum* contra *C. gloeosporioides* que variaron desde el 42.4% hasta el 66.8%, evaluándose con un alto grado de antagonismo.

Por otra parte, Zúñiga *et al.* (2019), obtuvieron un PIC del 31% con el medio de cultivo PDA con una concentración de 450 μ g ml⁻¹ de metabolitos secundarios extraídos con esporas de *Trichoderma* sp., se observaron cambios en el fenotipo de *C. gloeosporioides* tales como modificaciones en la textura, el color, un adelgazamiento del micelio y una menor producción de biomasa del fitopatógeno tras el tratamiento.

El antagonista *Bacillus* sp., mostró un PIC del 27.08% $\pm$ 8.25 en el segundo día, 59.27% $\pm$ 8.55 en el cuarto día y 47.02% $\pm$ 1.34 en el sexto día (Figura 3B). Este efecto se puede atribuir al modo de acción de *Bacillus* sp., el cual incluyó la producción de compuestos antimicrobianos, enzimas líticas, competencia por nutrientes y espacio, así como la inducción de defensas en la planta huésped (Pérez y García, 2019). Estos valores dentro de los intervalos reportados por Amaro *et al.* (2018), quienes obtuvieron una reducción del crecimiento micelial del patógeno entre 48.75% y un 72.01%; asimismo, Zúñiga *et al.* (2019), reportaron una inhibición del crecimiento del 52% al emplear metabolitos secundarios de *Bacillus subtilis*, obtenidos mediante extractos hexánicos y acetato de etilo.

En cuanto a *Verticillium* sp., el PIC fue de 36.89% $\pm$ 8.25 en el segundo día, 47.08% $\pm$ 8.55 en el cuarto día y 39.48% $\pm$ 1.34 en el sexto día (Figura 3C). Este comportamiento antagonista se debió a su capacidad para producir metabolitos antimicrobianos, competencia por nutrientes y espacio y parasitismo directo (Aiavo, 2015). Estos valores coinciden con los descritos por Bello *et al.* (2018) en su análisis observaron hasta un 82.6% de inhibición de pústulas de roya a los 65 días después de asperjar *Verticillium* sp., en campo, siendo este el porcentaje más alto registrado en el cultivo de café. Por su parte, Sharma *et al.* (2023) mencionaron que los híbridos recientes de *Verticillium* sp., generados por fusión de protoplastos, presentan mayor virulencia y un rango más amplio de hospedadores.

Respecto al Anova en el segundo día no hay un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de inhibición de crecimiento de *Colletotrichum* sp. entre los tratamientos (Cuadro 2), en el cuarto día, dado que F es de 7.31 y $p < 0.05$ existe una diferencia significativa entre los tratamientos, confirmando los datos en el análisis del día seis, en donde el valor de F es de 376.75 y el valor de p es de 0.0001, las variaciones en el PIC son mucho más claras y pronunciadas.

Cuadro 2. Análisis de varianza (Anova) para la comparación del PIC en los días D2, D4 y D6.

FV	GL	SC	F	P	Kruskal Wallis
D2	2	261.89	0.38	0.6886	0.6771
Error	12	4 082.44			
Total	14	4 344.33			
D4	2	5 338.89	7.31	0.0084	0.0271
Error	12	4 382.43			
Total	14	9 721.33			
D6	2	6 750.09	376.75	0.0001	0.0019
Error	12	107.5			
Total	14	6 857.59			

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; F= valor de F; p = valor de p ; Kruskal Wallis (prueba no paramétrica).

Estos datos se confirmaron con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$) (Cuadro 3) y la prueba de Kruskal Wallis en donde se observó que los tratamientos empiezan a mostrar efectos diferentes a partir del cuarto día (Cuadro 2), estos valores coinciden con Sanmartín *et al.* (2012); Sharma *et al.* (2023).

Cuadro 3. Comparación de medias del PIC en los días D2, D4 y D6 para los tratamientos ACB, ACT y ACV, Tukey ($p > 0.05$).

Variable	Tratamiento	Medias	n	Letra
PIC D2	ACV	13.96 (8.25)	5	a
	ACT	6.64 (8.25)	5	a
	ACB	4.1 (8.25)	5	a
PIC D4	ACT	58.24 (8.55)	5	a
	ACB	24.46 (8.55)	5	b
	ACV	14.04 (8.55)	5	b
PIC D6	ACT	82.51 (1.34)	5	a
	ACB	45.19 (1.34)	5	b
	ACV	32.54 (1.34)	5	c

n= número de replicas.

Con respecto al grado de micoparasitismo, las pruebas de crecimiento en cultivo dual de *Trichoderma* sp. frente a *Colletotrichum* sp. (Cuadro 4) muestra una inhibición progresiva del crecimiento a partir del segundo día de incubación, *Trichoderma* sp., obtuvo un grado 4, que lo calificó con muy buen potencial biocontrolador.



Cuadro 4. Capacidad antagonista de *Trichoderma* sp., *Bacillus* sp. y *Verticillium* sp. frente a *Colletotrichum*.

Antagonista	Contacto antagonista/ patógeno (días)	Grado	Capacidad antagonista
<i>Trichoderma</i> sp.	2	4	Muy bueno
<i>Bacillus</i> sp.	3	2	Deficiente
<i>Verticillium</i> sp.	5	1	Malo

Según Suárez *et al.* (2008), este hongo antagonista actúa por medio de una combinación de competencia por nutrientes, producción de metabolitos antifúngicos, enzimas hidrolíticas, micoparasitismo y producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal, esto también fue observado por Sanmartín *et al.* (2012), en donde calificó a *T. asperellum* en un grado antagonista cuatro, cubriendo totalmente a *C. gloeosporioides* a los 10 días, según la escala usada en los trabajos de Ezziyyani *et al.* (2004); Astorga-Quirós *et al.* (2014).

Por otra parte, *Bacillus* sp., frente a *Colletotrichum* sp. (Cuadro 4) mostró que el antagonista hizo contacto con el patógeno al tercer día mostrando una inhibición progresiva de su crecimiento, según la escala utilizada por Ezziyyani *et al.* (2004); Astorga-Quirós *et al.* (2014), *Bacillus* sp., obtuvo un grado 2, que lo calificó con una deficiente capacidad antagonista; sin embargo, Amaro *et al.* (2018), señalan que una vez que el antagonista hace contacto con el patógeno, produce una gran variedad de antibióticos que inhiben el crecimiento del patógeno por la competencia por espacio y nutrientes, no permitiendo el crecimiento de *Colletotrichum* sp.

En cuanto al hongo antagonista *Verticillium* sp., según la escala utilizada por Ezziyyani *et al.* (2004); Astorga-Quirós *et al.* (2014), obtuvo un grado 1 (Cuadro 4), lo cual se consideró malo. Esto debido a que el hongo antagonista hizo contacto con *Colletotrichum* sp. hasta el quinto día, invadiendo aproximadamente un cuarto de la superficie de la unidad experimental. Esto indica que la capacidad del hongo antagonista para inhibir el crecimiento del patógeno fue limitada, según Sood *et al.* (2020) mencionaron que la invasión parcial sugiere que la acción del antagonista no es suficiente para prevenir el crecimiento y desarrollo del patógeno.

Conclusiones

Los tratamientos presentaron un alto efecto significativo en el PIC, el tratamiento ACT fue el que presentó el valor más alto alcanzó hasta 85.15% $\pm$ 1.34, seguido de ACB con valores de hasta 59.27% $\pm$ 8.55 y ACV sp., con valores de 47.08% $\pm$ 1.34. Estos resultados mostraron que ACT es el tratamiento más efectivo en términos de inhibición del crecimiento de la colonia del patógeno. Por otra parte, *Trichoderma* sp., posiblemente actuó mediante micoparasitismo, competencia por espacio y nutrientes y antibiosis, sobre *Colletotrichum* sp., obtuvo un grado cuatro, debido a que invadió y destruyó las colonias del fitopatógeno, lo cual indicó que *Trichoderma* sp., presentó un alto potencial como biocontrolador en condiciones *in vitro*.

Bibliografía

- 1 AIAVO, T. B. 2015. The insect pathogenic fungus *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas and its use for pests control: a review. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 3(4):337-345. [https://doi.org/10.18006/2015.3\(4\).337.345](https://doi.org/10.18006/2015.3(4).337.345).
- 2 Amaro, J. K. C.; Vieira, B. S. and Sousa, L. A. 2018. Biological control of *Colletotrichum gloeosporioides* in pepper with isolates of *Bacillus subtilis*. *Brazilian Journal of Agriculture*. 93(2):195-209. <https://doi.org/10.37856/bja.v93i2.3299>.
- 3 Araya, C. A.; Benavides, I. V. y Torres, S. 2019. Inhibición del crecimiento micelial de hongos asociados a antracnosis en ñame (*Dioscorea alata*). *Agronomía Mesoamericana*. 30(2):381-393. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v30n2/2215-3608-am-30-02-00381.pdf>.

- 4 Astorga-Quirós, K.; Meneses-Montero, K.; Zúñiga-Vega, C.; Brenes-Brodeurdriz, J. A. y Rivera-Méndez, W. 2014. Evaluación del antagonismo de *Trichoderma* y *Bacillus subtilis* contra tres patógenos del ajo. *Revista Tecnología en Marcha*. 27(2):82-91. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i2.1929>.
- 5 Bastos-Ororio, L. M.; Salazar-Escalante, R. Y.; Mora-Carvajal, C. y Duarte-Cristancho, M. 2019. Análisis de las tendencias en la producción y el consumo de café a nivel internacional. *Revista Visión Internacional*. 1(1):22-26. <https://doi.org/10.22463/27111121.2369>.
- 6 Bello, C. J. C.; Figueroa, T. R. F.; Guamán, M. M. M.; Villao, N. F. A. A. y Tumbaco, B. M. V. 2018. Prevalencia y diseminación de *Verticillium* sp. para el control biológico de la roya del café. *Reciamuc*. 2(3):92-119. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/2.\(3\).septiembre.2018.92-119](https://doi.org/10.26820/reciamuc/2.(3).septiembre.2018.92-119).
- 7 Cannon, P. F.; Damm, U.; Johnston, P. R. and Weir, B. S. 2012. *Colletotrichum*: current status and future directions. *Studies in Mycology*. 73(1):181-213. <https://doi.org/10.3114/sim0014>.
- 8 Domínguez-Guerrero, I. P.; Mohali-Castillo, S. R.; Marín-Montoya, M. A. y Pino-Menesini, H. B. 2012. Caracterización y variabilidad genética de *Colletotrichum gloeosporioides sensu lato* en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) Jacq. en Venezuela. *Tropical Plant Pathology*. 37(2):108-122. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000200003>.
- 9 Espinoza, A. E. E.; Guadalupe, C. S. A.; Gallegos, J. L. H.; Latorre, C. R. C. y Robalino, H. S. R. 2017. Análisis económico del control biológico de la araña roja (*Tetranychus* sp.) en el cultivo de la rosa a través de la aplicación del hongo entomopatógeno (*Verticillium Lecanii*). Ecuador. *European Scientific Journal*. 13:40-52. Doi: 10.19044/esj.2017.v13n13p240.
- 10 Ezziyyani, M.; Pérez, S. C.; Requena, M. E.; Rubio, L. y Candela, M. E. 2004. Biocontrol por *Streptomyces rochei* Ziyani, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología*. 26:69-78. <https://revistas.um.es/analesbio/article/view/30471>.
- 11 García-Velasco, R.; Alonso-Baena, A.; Domínguez-Arismendi, G.; Aguilar-Medel, S.; Mora-Herrera, M. E. y Companioni-González, B. 2021. Antagonismo *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* spp. contra *Verticillium dahliae* y *Botrytis cinerea* en el Estado de México. *Agronomía Tropical*. 71:1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5091830>.
- 12 Guzmán, O. A. y Rivillas, C. A. 2005. Producción *in vitro* de conidios de *Cercospora coffeicola*. *Cenicafé*. 56(1):67-78. <http://hdl.handle.net/10778/166>.
- 13 Hyde, K. D.; Cai, L.; McKenzie, E. H. C.; Yang, Y. L.; Zhang, J. Z. and Prihastuti, H. 2009. *Colletotrichum*: a catalogue of confusion. *Fungal Diversity*. 39(1):1-17. <https://www.researchgate.net/publication/274385803>.
- 14 Martínez, D. I. y Coca, B. M. 2020. Antagonismo de seis cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt and Nirenberg sobre *Colletotrichum* spp. *Revista de Protección Vegetal*. 35(3):1-5. <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1100>.
- 15 Pérez, D. y García, G. P. 2019. Identificación del agente causal del marchitamiento en *Caesalpinia spinosa* tara y el efecto antagónico de aislados de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* sp. *Ecología Aplicada*. 18(1):51-57. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1306>.
- 16 Quintana-Obregón, E. A.; Plascencia-Jatomea, M.; Sánchez-Mariñez, R. I.; Rosas-Burgos, E. C. y Cortez-Rocha, M. O. 2010. Inhibición del crecimiento radial *in vitro* de la *Fusarium verticillioides* en presencia de quitosano. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 11(6):386-391. <https://www.researchgate.net/publication/269698958>.
- 17 Rengifo, H. G.; Leguizamón, J. E. y Riaño, N. M. 2002. Algunos aspectos biológicos de *Cercospora coffeicola*. *Cenicafé*. 53(3):167-177. <http://hdl.handle.net/10778/1023>.

- 18 Rojo-Bí, I.; García-Estrada, R. S.; León-Fí, J.; Sañodo-Barajas, A. y Allende-Molar, R. 2017. Estado actual de *Colletotrichum* spp. en México: taxonomía, caracterización, patogénesis y control. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 35(3):549-570. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1703-9>.
- 19 Ruíz-Campos, C.; Umaña-Rojas, G. y Gómez-Alpízar, L. 2022. Identificación multilocus de especies de *Colletotrichum* asociadas a la antracnosis de papaya. *Agronomía Mesoamericana*. 33(1):1-8. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45495>.
- 20 Sanmartín, N. P.; López, X.; Pemberthy, M. P.; Granada, S. D. y Rueda, E. A. 2012. Análisis del modo de acción y de la capacidad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre *Colletotrichum* y *Fusarium* sp. *Revista Tumbaga*. 2(7):29-49. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/36/353>.
- 21 SENASICA. 2014. Antracnosis del cafeto (*Colletotrichum kahawae* J. M. Waller & Bridge). Dirección General de Sanidad Vegetal Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, DF. Ficha técnica núm. 42. 9 p.
- 22 Sharma, A.; Sharma, S. y Yadav, P. K. 2023. Hongos entomopatógenos y su relevancia en la agricultura sostenible: una revisión. *Cogent Food Agric*. 9(1):2180857. Doi: 10.1080/23311932.2023.2180857.
- 23 SIACOM. 2022. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siaconng-161430>.
- 24 Sood, M.; Kapoor, D.; Kumar, V.; Sheteiwy, M. S.; Ramakrishnan, M.; Landi, M.; Araniti, F. y Sharma, A. 2020. *Trichoderma* los 'secretos' de un agente de control biológico de múltiples talentos. *Plantas*. 9(6):762-766. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>.
- 25 Suárez, M. C. L.; Fernández, B. R. J.; Valero, N. O.; Gámez, C. R. M. y Páez, R. A. R. 2008. Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium solani* Mart. Sacc. Asociado a la marchitez en maracuyá. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 10(2):35-43. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77610205.pdf>.
- 26 Zúñiga, E. M.; Merlos, J. B.; Sánchez, B. C.; Pérez-Pérez, R. y Avilés, M. C. 2019. Evaluación de metabolitos antifúngicos obtenidos en medio PD mediante el cultivo y co-cultivo de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Fusarium oxysporum*. *Seguridad Alimentaria*. 7-15 pp. <https://www.researchgate.net/publication/332100019>.



Control biológico de antracnosis utilizando microorganismos antagonistas en *Coffea arabica* en el Estado de México

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: May 2025
Date accepted: August 2025
Publication date: 12 November 2025
Publication date: Oct-Nov 2025
Volume: 16
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e3876
DOI: 10.29312/remexca.v16i7.3876

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

Bacillus sp.

Colletotrichum sp.

Trichoderma sp.

Verticillium sp.

Counts

Figures: 3

Tables: 4

Equations: 0

References: 26