



Artículo de investigación

<https://doi.org/10.61767/mjte.005.2.1933>

Martínez-de Jesús et al., 2026

Recibido: 25-05-2026

Revisado: 12-08-2026

Aceptado: 23-08-2026

Publicado: 30-08-2026

Evaluación *in situ* de cepas fúngicas para el manejo biológico de la roya del café (*Hemileia vastatrix*)

In situ evaluation of fungal strains for the biological management of coffee rust (*Hemileia vastatrix*)

Juana Margarita Martínez-de Jesús¹, María Andrade-Rodríguez², José Antonio Chávez-García², Octavio Loera³, María Judith Castellanos-Moguel⁴ y Roberto Montesinos-Matías^{1,*}

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209. México.

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209. México.

³ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Departamento de Biotecnología, Av. San Rafael Atlixco 186, Vicentina, Iztapalapa, 09340 Ciudad de México, México.

⁴ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Departamento de El Hombre y su Ambiente. Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud. 04960 alcaldía de Coyoacán, Ciudad de México, México.

⁵ Departamento de Control Biológico, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, DGSV-SENASICA, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC, Col. Tepeyac, C.P. 28110. México.

*Correspondencia: montesinosroberto@yahoo.com.mx

Resumen

A nivel mundial, la roya del café (*Hemileia vastatrix*) es la enfermedad más devastadora de este cultivo, llegando a reducir la producción hasta en un 50 %. Ante este panorama, el control mediante hongos micoparásitos surge como una alternativa de manejo sostenible y compatible con el medio ambiente y la salud humana. En esta investigación se evaluó la efectividad biológica en campo de las cepas *Akanthomyces uredinophilum* (CHE-CNRCB 616, 988), *Simplicillium lanosoniveum* (CHE-CNRCB 373, 544) y *Trichoderma longibrachiatum* (CHE-CNRCB 398), en comparación con un testigo comercial biológico PHC T-22® (*Trichoderma harzianum*), uno químico Folicur® (i.a tebuconazol) y un testigo absoluto sin tratamiento. El estudio se realizó en cafetos de cinco años de edad (variedad Caturra), con incidencia de roya empleando una concentración de 1×10^6 conidios/mL, bajo un diseño experimental completamente al azar. A los 35 días después de la primera aplicación, se realizó una reinoculación con las cepas evaluadas. Los tratamientos con *A. uredinophilum*, *S. lanosoniveum* y *T. longibrachiatum* alcanzaron una efectividad biológica de 88.1 %, 88.9 % y 87.3 %, respectivamente, superando hasta en 24.6 % la eficacia de los productos comerciales utilizados como referencia. En comparación, PHC T-22® registró una efectividad biológica de 71.6 %, mientras que Folicur® alcanzó 64.3 %. Respecto a la severidad de la enfermedad, *S. lanosoniveum* presentó el mejor desempeño al reducirla hasta



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

0.92 %, valor significativamente inferior al observado en el testigo absoluto, que registró una severidad de 3.8 %. En conjunto, estos resultados evidencian que las cepas de *A. uredinophilum*, *S. lanosoniveum* y *T. longibrachiatum* poseen un alto potencial como agentes de control biológico de *H. vastatrix*, constituyendo una alternativa eficaz y sostenible para el manejo de la roya del café y una opción promisoría para disminuir la dependencia de fungicidas químicos.

Palabras clave: Efectividad biológica, incidencia de roya, micoparasitismo, severidad de roya.

Abstract

Globally, *coffee leaf rust* (*Hemileia vastatrix*) is the most devastating disease affecting this crop, capable of reducing production by up to 50%. Given this situation, control using mycoparasitic fungi emerges as a sustainable management alternative that is compatible with both the environment and human health. This study evaluated the field biological efficacy of the strains *Akanthomyces uredinophilum* (CHE-CNRCB 616, 988), *Simplicillium lanosoniveum* (CHE-CNRCB 373, 544), and *Trichoderma longibrachiatum* (CHE-CNRCB 398), comparing them against a commercial biological control (PHC T-22®; *Trichoderma harzianum*), a chemical control (Folicur®; a.i. tebuconazole), and an untreated absolute control. The study was conducted on five-year-old coffee trees (Caturra variety) affected by rust, using a concentration of 1×10^6 conidia/mL in a completely randomized experimental design. A re-inoculation with the evaluated strains was performed 35 days after the initial application. Treatments with *A. uredinophilum*, *S. lanosoniveum*, and *T. longibrachiatum* achieved biological efficacy rates of 88.1%, 88.9%, and 87.3%, respectively, outperforming the commercial reference products by up to 24.6%. In comparison, PHC T-22® showed a biological efficacy of 71.6%, while Folicur® reached 64.3%. Regarding disease severity, *S. lanosoniveum* demonstrated the best performance, reducing severity to 0.92% a value significantly lower than that observed in the absolute control, which recorded a severity of 3.8%. Overall, these results demonstrate that strains of *A. uredinophilum*, *S. lanosoniveum*, and *T. longibrachiatum* possess high potential as biological control agents against *H. vastatrix*, representing an effective and sustainable alternative for coffee leaf rust management and a promising option for reducing reliance on chemical fungicides.

Keywords: Biological effectiveness, rust incidence, mycoparasitism, rust severity.

1. Introducción

Los cultivos de café (*Coffea* spp.) son importantes a nivel mundial, se establecen en regiones tropicales y subtropicales y de ahí se exportan las semillas a diferentes países para elaborar diversos productos (Melese y Kolech, 2021). La producción mundial de café es dominada por Brasil, Vietnam y Colombia; con Brasil liderando ampliamente, seguido por otros países de América Latina y Asia; mientras que, en México, los estados de Chiapas, Veracruz y

Puebla son los principales productores. El cultivo de café constituye una importante actividad económica y social, ya que genera empleo para cientos de miles de productores. México ocupa el decimotercer lugar entre los principales países productores de café a nivel mundial (SADER, 2025). Para el ciclo cafetalero 2024–2025, la producción mundial se estimó en más de 176 millones de sacos de 60 kg. En México, los principales estados productores de café cereza son Chiapas, que aporta el 41 % de la producción



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

nacional, seguido de Veracruz con el 24 % y Puebla con el 15.3 % (SADER, 2025).

Las plantas de café son afectadas por múltiples fitopatógenos, entre los cuales destaca la roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome (Basidiomycota: Pucciniales) (Berkeley, 1869; McCain, 1983; Rivillas y Cristancho, 2015). Esta enfermedad ocasiona importantes pérdidas económicas en la cafecultura, ya que induce la defoliación prematura y el secamiento de las ramas, lo que disminuye significativamente la capacidad fotosintética de la planta. Como consecuencia, puede reducir el rendimiento del cultivo en más del 50 % e, incluso, provocar la muerte de las plantas cuando las infecciones son severas o recurrentes (Aristizábal y Johnson, 2022).

Aunque México es reconocido internacionalmente por su producción de café orgánico (Castillo et al., 2020), el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2023) reporta que todas las regiones productoras del país han experimentado epidemias severas de roya, las cuales han disminuido la producción hasta en un 51 % (Flores y Harrison, 2016).

Este hongo tiene estructuras morfológicas y síntomas específicos independientemente de la edad de las hojas, la infección por *H. vastatrix* causa lesiones amarillas en el envés, donde se producen abundantes uredosporas que infectan agresivamente las hojas nuevas de la misma planta y de otras. Además, la enfermedad prolongada (años sucesivos) acelera la mortandad de las plantas (Aristizábal y Johnson, 2022).

El manejo de la enfermedad de la roya del café, se ha basado principalmente en el uso de control químico (Talhinhas et al., 2017), con las consecuencias de generación de cepas resistentes y/o contaminación ambiental (Hernández et al., 2021). Los métodos de control habituales para esta enfermedad incluyen el uso de fungicidas convencionales; sin embargo, esta práctica presenta efectos no deseados que pueden

deteriorar la composición microbiana del suelo, ya que alteran las funciones y procesos bioquímicos que ocurren en él, lo que también provoca que las plantas sean más susceptibles a las enfermedades (Meena et al., 2020).

Actualmente, se ha optado por el uso de controladores biológicos inocuos para la salud humana. En este sentido, se reporta el empleo de microorganismos antagonistas como el hongo *Trichoderma* y las bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, los cuales han demostrado eficacia contra diversos fitopatógenos en una amplia variedad de cultivos (Zhang et al., 2024; Amrutha y Vijayaraghavan, 2018). En particular, el efecto antagonista de *Trichoderma* se atribuye a la acción de enzimas que hidrolizan los componentes de la pared celular del hospedero, tales como quitina, proteínas y lípidos (Pandey et al., 2022). Asimismo, este hongo produce metabolitos secundarios (policétidos, péptidos no ribosomales, terpenoides, pironas y antibióticos) que inhiben el crecimiento de *H. vastatrix*, y puede actuar mediante micoparasitismo o competencia por espacio y nutrientes (Mukherjee et al., 2012).

Dentro del grupo de fungicidas que presentan límites máximos de residuos, se incluyen moléculas como el propiconazol, triadimefón, tebuconazol y piraclostrobina, comúnmente empleadas para el control químico de la roya del café (Codex Alimentarius FAO-WHO, 2024). Por su parte, el Manual Operativo de la Campaña contra Plagas del Cafeto del SENASICA establece estrategias de prevención y control para las principales amenazas de este cultivo, tales como la broca y la roya. Dicho documento enfatiza el manejo integrado mediante el uso prioritario de métodos preventivos y de control biológico, con el objetivo de mantener la enfermedad por debajo del umbral de daño económico (SENASICA, 2023).

El empleo de hongos benéficos como agentes de biocontrol de plagas y enfermedades es fundamental en los programas de manejo



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

integrado, ya que mitiga el uso excesivo de agroquímicos, contribuyendo a la sustentabilidad ambiental y a la seguridad alimentaria. Particularmente, la utilización de cepas antagónicas de *Trichoderma* spp. para el control de la roya del café ha demostrado reducir la incidencia y severidad de la enfermedad a niveles que no comprometen el rendimiento ni la calidad de la cereza. La evaluación del daño ocasionado por la roya del cafeto se basa principalmente en dos parámetros epidemiológicos: la incidencia y la severidad de la enfermedad (Johnson y Manoukis, 2020). En la roya del cafeto, causada por *Hemileia vastatrix*, la determinación de la incidencia y la severidad constituye una herramienta indispensable para monitorear el progreso de la enfermedad y evaluar la eficacia de alternativas de manejo, como el control biológico y el uso de fungicidas (Julca et al., 2019; SENASICA, 2023). Asimismo, la efectividad biológica de los tratamientos se estima mediante la reducción del nivel de infección en comparación con un testigo sin tratamiento, lo que permite cuantificar objetivamente el desempeño de los agentes de control evaluados (Townsend y Heuberger, 1943).

La incidencia corresponde al porcentaje de plantas, hojas o unidades de muestreo que presentan síntomas o signos de infección por *H. vastatrix*, y permite estimar la distribución de la enfermedad dentro del cultivo. En contraste, la severidad cuantifica el grado de afectación del tejido vegetal, expresado como el porcentaje del área foliar dañada o cubierta por lesiones, reflejando la intensidad del ataque del patógeno (Talhinhas et al., 2017; Johnson y Manoukis, 2020). Como continuidad a una fase previa orientada al desarrollo de alternativas sustentables, donde se seleccionaron cepas sobresalientes mediante la inoculación de semillas de café (*Coffea arabica* var. Caturra) (Martínez-de-Jesús et al., 2025), el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar en campo la efectividad biológica de cepas de *Akanthomyces uredinophilum*, *Simplicillium lanosoniveum* y *Trichoderma longibrachiatum* para el control de la roya en cafetos var. Caturra, contrastando su

desempeño frente a un producto químico y un comercial formulado con *Trichoderma harzianum*.

2. Materiales y métodos

La fase de campo se realizó durante los meses de octubre a marzo en una plantación de café perteneciente a la Abadía Benedictina, ubicada en Ahuatepec, Morelos, México (18°58'36.1" N, 99°12'43.7" O), a una altitud de 1,800 m s. n. m. El sitio de estudio se manejó bajo un sistema de producción convencional y estuvo conformado por plantas de *Coffea arabica* L. var. Caturra de cinco años de edad. La plantación presentaba antecedentes de alta incidencia y severidad de roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), evaluadas en ciclos de cultivo previos mediante la escala propuesta por Julca et al. (2019). Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron a las 6:30 h con el propósito de minimizar la exposición de los conidios a la radiación ultravioleta y favorecer su viabilidad. Las suspensiones de conidios se aplicaron mediante una mochila aspersora de presión manual (Oakland USA®, modelo FM-2001), procurando una cobertura uniforme del follaje para garantizar la adecuada deposición del inóculo sobre las hojas.

2.1. Preparación del inóculo

Para el estudio se utilizaron cinco cepas de hongos previamente evaluadas como micoparásitos de la roya *in vitro* e *in vivo*, provenientes del Centro Nacional de Referencia en Control Biológico (SENASICA, Tecomán, Colima, México), entre ellas *Akanthomyces uredinophilum* (CHE-CNRCB 616 y 988), *Simplicillium lanosoniveum* (CHE-CNRCB 373 y 544) y *Trichoderma longibrachiatum* (CHE-CNRCB 398) (Tabla 1). Además, se incluyó un testigo absoluto, al cual se le aplicó únicamente agua adicionada con Inex® al 2.5 % como coadyuvante. El mismo coadyuvante se incorporó en todos los tratamientos para estandarizar las condiciones de aplicación. Asimismo, se incluyeron dos productos comerciales utilizados para el manejo de la roya del cafeto: PHC® T-22, formulado a base de *Trichoderma harzianum*, y Folicur®, cuyo ingrediente activo es tebuconazol al 25 %. Estos productos se emplearon como referencias



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

biológica y química, respectivamente, con el fin de comparar la eficacia de las cepas de micoparásitos evaluadas.

Las cepas de hongos fueron cultivadas en medio PDA (Papa Dextrosa Agar, Bioxon®, México), se incubaron por 10 días a 25 °C. Transcurrido el tiempo de incubación, se realizó la producción de los hongos en granos de arroz (Verde valle®); y se preparó una suspensión con una concentración de 1×10^6 conidios/mL, determinada mediante un hemocitómetro. Los tratamientos (cepas) se aplicaron a los cafetos con mochila aspersora Oakland USA de 15 L, con doble boquilla de cono para insecticidas. Para cada tratamiento, se preparó una suspensión acuosa con la concentración correspondiente de conidios. A la suspensión se

adicionó el adherente Inex® a una concentración de 1.0 mL L⁻¹ y Tween 20® (10 mL), con el propósito de mejorar la adherencia al follaje y mantener la homogeneidad de la suspensión durante la aplicación. Posteriormente, se aplicó mediante aspersión un volumen de 1 L de la suspensión por planta, procurando una cobertura uniforme de la superficie foliar.

En el caso de los productos comerciales, la preparación se realizó siguiendo las especificaciones de sus respectivas guías técnicas. En total, se efectuaron dos aplicaciones con un intervalo de 30 días entre ellas, programadas de acuerdo con las fichas técnicas de los productos de referencia.

Tabla 1. Origen de las cepas de *A. uredinophilum*, *S. lanosoniveum* y *T. longibrachiatum* utilizadas.

	Acrónimo y especie CHE-CNRCB	Huésped/Hospedero	Origen geográfico
616	<i>A. uredinophilum</i>	<i>H. vastatrix</i> /Cafeto	Jabalí, Comala, Colima, México. 19° 26'40" N -103° 41'40" O
988	<i>A. uredinophilum</i>	<i>H. vastatrix</i> /Cafeto	Nuevo Naranjal, Villa de Álvarez, Colima, México. 19°24'00.9" N -103°40'13.6" O
373	<i>S. lanosoniveum</i>	<i>Diaphorina citri</i> (ninfa)/Limón	Cualatilla, Armería, Colima, México. 19°01'05.2" N-109°01'16" O
544	<i>S. lanosoniveum</i>	<i>H. vastatrix</i> /Cafeto	Canoas, Manzanillo, Colima, México. 19° 22' N-104° 11' O
398	<i>T. longibrachiatum</i>	Endófito/Maíz	Tecomán, Colima, México. 18.927191° N -103.883900° O

2.2. Diseño experimental y variables evaluadas

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos. Cinco tratamientos correspondieron a las cepas de micoparásitos CHE-CNRCB 373, 398, 544, 616 y 988; además, se incluyó un tratamiento con el producto biológico PHC® T-22, formulado a base de *Trichoderma harzianum*, un tratamiento con el fungicida químico Folicur® (tebuconazol al 25 %) y un testigo absoluto, al que únicamente se aplicó agua con Inex® como coadyuvante. Cada tratamiento estuvo constituido por 15 repeticiones, representadas por árboles individuales, mientras que una rama de cada árbol se consideró como la unidad experimental

para la evaluación de las variables de respuesta cabe mencionar que a los 30 días después de la primera aplicación se realizó una reinoculación de las cepas con las mismas condiciones antes mencionadas. Antes de la aplicación de los tratamientos, se evaluaron la incidencia de la roya del cafeto y la severidad de la enfermedad con el fin de establecer el nivel inicial de infección. Para determinar la incidencia de *Hemileia vastatrix*, se contabilizó el número total de hojas presentes en la rama seleccionada y el número de hojas con síntomas de roya, con lo que se calculó el porcentaje de hojas afectadas, de acuerdo con la metodología propuesta por SENASICA (2023) y Julca et al. (2019). La



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

severidad de la enfermedad se determinó mediante la recolección de la hoja previamente marcada en cada rama y la evaluación del porcentaje de área foliar afectada utilizando la escala diagramática de Eskes (1983) (Figuras 1 y 2). Esta escala clasifica el daño en cinco niveles: 0 = hoja sana; 1 = infección leve (1–5 % de la superficie foliar afectada); 2 = infección moderada (6–20 %); 3 = infección alta (21–50 %); y 4 = infección muy alta (> 50 % de la superficie foliar afectada). Posteriormente, los valores de severidad se transformaron en un índice de infección mediante el cálculo de la media ponderada de la infección, de acuerdo con la metodología de Townsend y Heuberger (1943), utilizando la siguiente fórmula:

$$PI = [\sum(n \cdot v) / NM \cdot N] \cdot 100$$

Dónde: PI= media ponderada de infección, n = número de hojas por cada nivel de daño en la escala, v = valor numérico de cada nivel, NM= Nivel mayor, N = número total de hojas en la muestra.

El porcentaje de efectividad biológica se evaluó cada ocho días, durante 56 días posteriores a la primera aplicación, la determinación se hizo mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Efectividad biológica (\%)}: E = [IT - It / IT] \cdot 100$$

Dónde: % E = porcentaje de efectividad, IT = infección en el testigo, It = infección en el tratamiento.

2.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se estudiaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y se realizó la prueba de separación de medias Tukey ($p \leq 0,05$), con el paquete estadístico SAS[®] v. 9.2 (S.A.S, 1995); de igual manera, se realizó un análisis de contrastes ortogonales para obtener las diferentes comparaciones de la efectividad biológica entre los productos comerciales y las cepas evaluadas.



Figura 1. Escala de severidad de la roya *H. vastatrix* en hojas de café (envés).



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026



Figura 2. Escala de severidad de la roya *H. vastatrix* en hojas de café (haz).

3. Resultados y discusión

3.1. Incidencia y severidad

En las principales regiones cafetaleras de México, la roya del café presenta su mayor incidencia entre los meses de octubre y marzo. Debido a esta estacionalidad, las plantas evaluadas exhibieron diferentes niveles de afectación al inicio del experimento, con una incidencia inicial que osciló entre 41.3 y 48.6 %. Durante las primeras etapas, los cafetos tratados con *Akanthomyces* CHE-CNRCB 616 y *Trichoderma* CHE-CNRCB 398 mostraron una menor severidad de la enfermedad en comparación con las parcelas tratadas con *Simplicillium*, el testigo químico y el producto comercial biológico (Tabla 2). Un comportamiento de parasitismo similar por parte de *Akanthomyces* y *Simplicillium* contra *H. vastatrix* fue documentado por Halpay et al. (2020) bajo condiciones de laboratorio, quienes reportaron que la interacción huésped-micoparásito reduce significativamente el desarrollo del fitopatógeno e incrementa la germinación de los conidios de los antagonistas, demostrando el potencial del micoparasitismo *in vivo*.

La severidad registrada al inicio de la evaluación disminuyó significativamente a los 56 días

(severidad final) en todos los tratamientos evaluados, lo que demuestra un efecto favorable en el control de la enfermedad; por el contrario, el testigo sin tratar mostró un incremento en la severidad. La severidad final varió en función de la cepa aplicada (0.9 a 1.4 %). Al concluir el ciclo, los menores niveles de daño se observaron con las dos cepas de *S. lanosoniveum* (CHE-CNRCB 544 y 373), seguidas por *A. uredinophilum* CH-CNRCB 988 y el fungicida químico Folicur®. En contraste, los tratamientos que mostraron menor eficacia diagnóstica sobre este parámetro específico fueron *A. uredinophilum* CHE-CNRCB 616, *T. longibrachiatum* CHE-CNRCB 398 y el producto comercial PHC® T-22 (Tabla 2).

Los niveles de severidad final obtenidos en esta investigación son comparables con los valores de daño (1.0 a 3.3 %) reportados por Sánchez-Lucio et al. (2024) al evaluar cepas de *Lecanicillium* y *Trichoderma* contra *H. vastatrix*. Conforme a lo esperado, la severidad en el tratamiento testigo aumentó hasta un 3.8 %; esto confirma que, ante la ausencia de estrategias de manejo, el hongo fitopatógeno prolifera activamente, incrementando la severidad e incidencia en el cultivo. Al respecto, Gómez-De la Cruz et al. (2018) señalaron que *Lecanicillium* spp. es capaz de alcanzar un nivel de control del 68.10 % a las



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

120 horas posteriores a la inoculación en roya del café, lo que respalda la viabilidad del control biológico con hongos ascomicetos.

3.2. Efectividad biológica

La efectividad biológica de los tratamientos comenzó a manifestarse a partir de los siete días postinoculación, registrando valores entre 52 y 58 %, sin diferencias estadísticas significativas respecto a los productos comerciales. No obstante, a los 14 días, las parcelas tratadas con las cepas nativas superaron en un 13 % la efectividad de los productos comerciales, tendencia que se mantuvo constante hasta el día 28. A los 35 días se observó un incremento generalizado en los porcentajes de efectividad biológica, atribuible a la reinoculación realizada el día 30, prolongándose este efecto benéfico hasta los 56 días de evaluación. Las cepas de *Akanthomyces* exhibieron una efectividad biológica superior en un 13.9 y 22.2 % en comparación con el biofungicida PHC® T-22

(*Trichoderma harzianum*) y el testigo químico Folicur®, respectivamente (Tabla 3).

En términos generales, los tratamientos de control biológico basados en las cinco cepas nativas superaron el 80 % de efectividad general, mostrando diferencias estadísticas significativas frente al producto químico y al biológico comercial. Estos resultados confirman el alto potencial biotecnológico de estas cepas para regular las poblaciones de *H. vastatrix* en campo. Los tratamientos más destacados correspondieron a las cepas *Akanthomyces* CHE-CNRCB 616, *Simplicillium* CHE-CNRCB 373 y *Trichoderma* CHE-CNRCB 398, con eficacias que oscilaron entre 87.3 y 88.9 %. A los 56 días de la evaluación, las cepas con mayor desempeño superaron por 16 % al producto biológico y por un 24 % al fungicida químico comercial.

Tabla 2. Incidencia y severidad de cepas de hongos micoparásitos, evaluados *in situ*, en cafetos var. Caturra.

Tratamientos	Incidencia (%)	Sev. inicial (%)	Sev. final (%)	Control de severidad (%)
<i>A. uredinophilum</i> CHE-CNRCB 616	42.2 a $\pm$ 8.9	2.1 b $\pm$ 0.4	1.1 d $\pm$ 2.3	0.98 c
<i>A. uredinophilum</i> CHE-CNRCB 988	48.6 a $\pm$ 9.9	2.4 ab $\pm$ 0.4	1.2 c $\pm$ 1.4	1.22 bc
<i>S. lanosoniveum</i> CHE-CNRCB 373	46.0 a $\pm$ 7.9	2.8 a $\pm$ 0.7	1.0 e $\pm$ 0.0	1.80 ab
<i>S. lanosoniveum</i> CHE-CNRCB 544	44.3 a $\pm$ 8.3	2.9 a $\pm$ 0.6	0.92 g $\pm$ 4.4	2.02 a
<i>T. longibrachiatum</i> CHE-CNRCB 398	41.3 a $\pm$ 8.2	1.9 b $\pm$ 0.3	0.98 f $\pm$ 2.3	0.94 c
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>)	43.3 a $\pm$ 9.5	2.1 a $\pm$ 0.6	1.4 b $\pm$ 1.8	0.73 c
FOLICUR® (Tebuconazol)	46.3 a $\pm$ 7.7	2.4 ab $\pm$ 0.6	1.2 c $\pm$ 1.4	1.18 bc
Testigo	46.0 a $\pm$ 8.1	3.0 a $\pm$ 0.6	3.8 a $\pm$ 4.1	0.88 c
DMSH ($P \leq 0.05$)	9.7	0.65	3.0	0.63
C.V. (%)	19.2	23.6	1.8	45.7

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta, $\pm$ Desviación estándar, Sev.: severidad. Letras distintas dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

Tabla 3. Efectividad biológica (%) de cepas de hongos micoparásitos y dos productos comerciales, evaluados *in situ* en cafetos var. Caturra, durante ocho semanas.

Tratamientos	Frecuencia de evaluación (días)							
	7	14	21	28*	35	42	49	56
<i>A. uredinophilum</i> CHE-CNRCB 616	56.2 a	73.3 a	73.3 a	73.3 a	88.1 a	88.1 a	88.1 a	88.1 a
<i>A. uredinophilum</i> CHE-CNRCB 988	55.4 a	80.1 a	80.1 a	80.1 a	84.9 a	84.9ab	84.9ab	84.9ab
<i>S. lanosoniveum</i> CHE-CNRCB 373	58.1 a	75.4 a	75.4 a	75.4 a	86.8 a	86.8 a	86.8 a	86.8 a
<i>S. lanosoniveum</i> CHE-CNRCB 544	52.0 a	80.6 a	80.6 a	80.6 a	88.8 a	88.9 a	88.9 a	88.9 a
<i>T. longibrachiatum</i> CHE-CNRCB 398	55.3 a	73.1 a	73.1 a	73.1 a	87.3 a	87.3 a	87.3 a	87.3 a
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>)	55.4 a	57.1 b	57.1 b	57.1 b	71.6 b	72.6 bc	72.6 bc	72.6 bc
FOLICUR® (Tebuconazole)	52.5 a	60.2 b	60.2 b	60.2 b	64.3 b	64.3 c	64.3 c	64.3 c
Testigo	0.0 b	0.0 c	0.0 c	0.0 c	0.0 c	0.0 d	0.0 d	0.0 d
DMSH ($P \leq 0.05$)	11.46	11.46	11.46	11.46	12.25	12.33	12.33	12.33

E.B.: Efectividad biológica, DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta, medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), *: se realizó la segunda reinoculación.

La aplicación de estos agentes de control biológico (*Akanthomyces*, *Simplicillium* y *Trichoderma*) logró contener los niveles de daño foliar (Figura 3) predominantemente en las categorías 2 y 3 de la escala de severidad propuesta por Capucho et al. (2011). Mediante observaciones con microscopía estereoscópica, se constató que los hongos aplicados colonizaron activamente las pústulas de la roya, deteniendo el ciclo reproductivo del fitopatógeno. Esta

cobertura de las pústulas se asocia de forma directa con la capacidad micoparasítica intrínseca de cada cepa, las cuales atacan, penetran y lisan las estructuras de *H. vastatrix*.

Los porcentajes de efectividad observados en este estudio concuerdan con lo reportado por Sánchez-Lucio et al. (2024), quienes obtuvieron valores superiores al 80 % empleando cepas de *Lecanicillium* y *Trichoderma* spp. contra la roya de café en Nayarit,



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

México. La literatura señala que estos antagonistas limitan el desarrollo de los fitopatógenos mediante mecanismos combinados de competencia por espacio y recursos, antibiosis, producción de enzimas líticas y micoparasitismo (Fravel, 1988; Ghisalberti y Sivasithamparam, 1991; López-Ferrer et al., 2017).

Adicionalmente, se ha descrito que el género *Trichoderma* induce respuestas de resistencia sistémica en la planta hospedera mediante la síntesis de fitoalexinas, flavonoides y compuestos fenólicos (Vinale et al., 2012; Mukherjee et al., 2012).

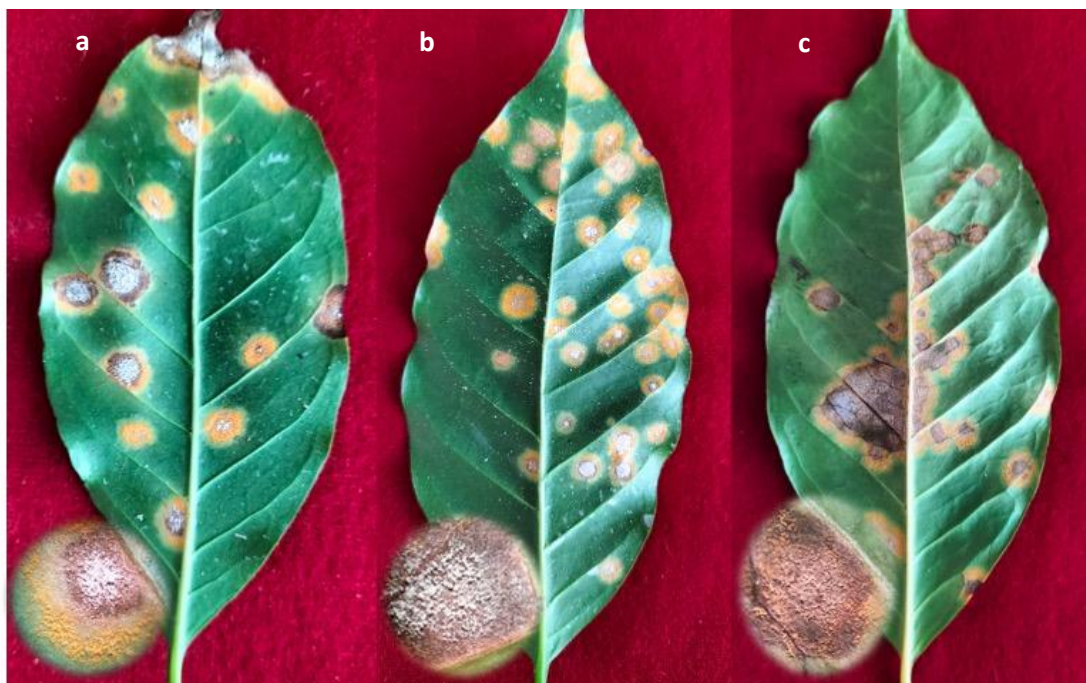


Figura 3. Efectividad biológica de cepas de hongos de tres géneros: a) *A. uredinophilum*, CHE-CNRCB 616; b) *S. lanosoniveum*, CHE-CNRCB 373; y c) *T. longibrachiatum* CHE-CNRCB 398, observadas en el microscopio estereoscópico a los 15 días después de la aplicación.

La integración de estas estrategias de control biológico evidencia efectos sinérgicos notables bajo condiciones de campo. En la presente investigación, la aplicación de las cepas seleccionadas redujo la severidad de *H. vastatrix*, mitigando consecuentemente la defoliación y el daño foliar en los cafetos. Estos resultados robustecen lo reportado por Coca et al. (2020), quienes demostraron la actividad antagónica *in vitro* de *Trichoderma* spp. frente a fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Alternaria alternata*, con inhibiciones superiores al 60 %. Por lo tanto, el uso de estos microorganismos se consolida como una

alternativa robusta para el manejo de enfermedades fúngicas en la agricultura sustentable (Rubio-Tinajero et al., 2021; Savin-Molina et al., 2021).

El éxito adaptativo de las cepas de *Akanthomyces*, *Simplicillium* y *Trichoderma* evaluadas en campo se fundamenta en el despliegue coordinado de competencia, antibiosis y micoparasitismo. Para el caso específico de *Trichoderma*, León et al. (2019) y Vidal-Martínez et al. (2021) confirmaron que induce hasta un 100 % de micoparasitismo sobre la roya del café, secretando metabolitos que inhiben el crecimiento micelial de *H. vastatrix*, lo



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

que se traduce en niveles mínimos de daño en el cultivo.

Aunado al análisis de varianza convencional, el uso de contrastes ortogonales permitió determinar con mayor precisión que las cepas nativas evaluadas fueron estadísticamente superiores a ambos referentes comerciales (químico y biológico), mostrando diferencias altamente significativas (Tabla 4). Estos contrastes reafirman que las cepas evaluadas poseen las aptitudes competitivas para ser integradas de forma inmediata en esquemas de manejo de la roya del café en condiciones de campo, debido a que su efectividad superó los

estándares de PHC® T-22 y Folicur®. La consistencia de los resultados demuestra que estos microorganismos poseen una alta plasticidad y capacidad micoparasítica, lo que sugiere su viabilidad de uso no solo a nivel regional, sino también en otras zonas cafetaleras con presiones epidemiológicas similares. En un sentido análogo, Michel-Aceves et al. (2013) reportaron que la eficiencia biológica de distintas cepas de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp. ante patógenos del suelo (*Sclerotium rolfsii* y *Fusarium* spp.) varía significativamente, subrayando la importancia de seleccionar cepas nativas con alta efectividad biológica específica.

Tabla 4. Contrastes ortogonales, para comparar la efectividad biológica de productos comerciales vs cepas de *A. uredinophilum* (A.u), *S. lanosoniveum* (S.l) y *T. longibrachiatum* (T.l)

Contrastes	Efectividad biológica (56 días)
Folicur® (Tebuconazol) vs. S.l 373 544 A.u 616 988 T.l 398	80026.6 **
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>) vs. S.l 373 544 A.u 616 988 T.l 398	80026.6 **
Folicur® (Tebuconazol) vs. S.l 373 544	46867.7 **
Folicur® (Tebuconazol) vs. A.u 616 988	46867.7 **
Folicur® (Tebuconazol) vs. T.l 398	31027.9 **
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>) vs. S.l 373 544	46867.7 **
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>) vs. A.u 616 988	46867.7 **
PHC® T-22 (<i>T. harzianum</i>) vs. T.l 398	31027.9 **
Error	119.65
R ²	0.87
C.V (%)	15.27
Promedio	71.62

E.B: Efectividad biológica, R²: Coeficiente de determinación, C.V.: Coeficiente de variación, **: Efecto Altamente significativo.

4. Conclusiones

Las cepas nativas de *Simplicillium lanosoniveum* (CHE-CNRCB 373 y CHE-CNRCB 544), *Akanthomyces uredinophilum* (CHE-CNRCB 616 y CHE-CNRCB 988) y *Trichoderma longibrachiatum* (CHE-CNRCB 398) demostraron una efectividad biológica en campo superior a los productos comerciales PHC T-22® y Folicur® en el control de *Hemileia vastatrix*. Estos hallazgos posicionan a dichos microorganismos como una alternativa

biotecnológica viable, eficiente y sustentable para el manejo integrado de la roya en cafetos de la variedad Caturra.

Agradecimientos

Al Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB-DGSV-SENASICA) por las cepas proporcionadas para el desarrollo de este estudio. Asimismo, se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI-SNII) por la beca otorgada a JMMJ



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

(763357) y el estímulo concedido a RMM (174904).

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: SECIHTI por los estímulos otorgados al primer autor (763357) y a RMM (174904).

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación ética: No aplica

Consentimiento para participar: No aplica

Consentimiento para publicar: No aplica

Disponibilidad de los datos: Los datos que respaldan este estudio están disponibles en el artículo. No se generaron ni analizaron conjuntos de datos adicionales durante el presente estudio. Se puede “Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación”.

Contribución del autor:

JMMJ Metodología, Análisis formal, Investigación, Escritura – borrador original, Visualización. MAR Análisis de datos, preparación, creación y/o presentación del trabajo publicado por parte del grupo de investigación original, específicamente revisión, comentario o revisión crítica – incluyendo etapas previas o posteriores a la publicación. RMM Metodología, Investigación, Redacción – revisión y edición, Recursos. MJCM Responsabilidad de supervisión y liderazgo para la planificación y ejecución de la actividad de investigación, incluida la tutoría externa al equipo central. OLC Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y ejecución de la actividad de investigación, incluida la tutoría externa al equipo central. JACG Metodología.

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Referencias

1. Amrutha, P., & Vijayaraghavan, R. (2018). Evaluation of fungicides and biocontrol agents against *Neopestalotiopsis clavispora*, the causal agent of strawberry leaf spot (*Fragaria x ananassa* Duch.). *International Journal of Current Microbiology And Applied Sciences*, 7 (8), 622-628. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.067>
2. Aristizábal, L.F., & Johnson, M.A. (2022). Monitoreo de la roya de la hoja del café (*Hemileia vastatrix*) en fincas cafetaleras comerciales en Hawái: primeras observaciones del primer año de incursión de la enfermedad. *Agronomía*, 12 (5), 1134. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051134>
3. Berkeley, M.J., & Broome, C.E. (1869). *Hemileia vastatrix*. *Gard Chron*, 6, 1157. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Hemileia%20vastatrix&author=Berkeley,+M.J.&author=Broome,+C.E.&publication_year=1869&journal=Gard.+Chron.&volume=6&pages=1157
4. Capucho, A. S., Zambolim, L., Duarte, H. S. S., & Vaz, G. R. O. (2011). Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Plant Pathology*, 60(6), 1144-1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02472.x>
5. Castillo, N.E.T., Melchor-Martínez, E.M., Sierra, J.S.O., Ramirez-Mendoza, R.A., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H.M. (2020). Impacto del cambio climático y desarrollo temprano de la roya del café: una visión general de las estrategias de control para preservar los cultivos orgánicos en México. *Science of the Total Environment*, 738, 140225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140225>
6. Coca, B. M., Gakenge, E. R., & Cabrera, I. M. (2020). Evaluación *in vitro* de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg como promisorios agentes para el control de *Alternaria solani* Sorauer. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2).



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

<https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1095/1611>

7. Codex Alimentarius (2024). International Food Standards. Food and Agriculture Organization (FAO). World Health Organization (WHO). Disponible en <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>
8. Eskes, A.B. (1983). Assesment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. Br.) In: Eskes, A. B. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) Ph. D. dissertation. Wageningen (Holanda). Institute of Plant Breeding of the Agricultural University. P 4-14. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19830873623>
9. Flores, D., & Harrison, T. (2016). Mexico Coffee Annual: Mexico Launches New Policies as Rust Continues to Impact Production. GAIN (Global Agricultural Information Network) Report Number MX6019. USDA Foreign Agricultural Service. Available online: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_5-13-2016.pdf
10. Fravel, D.R. (1988). Papel de la antibiosis en el biocontrol de enfermedades de las plantas. *Revisión anual de fitopatología*, 26 (1), 75-91. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.000451>
11. Ghisalberti, E. L., & Sivasithamparam, K. (1991). Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil biology and Biochemistry*, 23(11), 1011-1020. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90036-J](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90036-J)
12. Gómez-De La Cruz, I., Pérez-Portilla, E., Escamilla-Prado, E., Martínez-Bolaños, M., Carrión-Villarnovo, G. L. L., & Hernández-Leal, T. I. (2018). Selección *in vitro* de micoparásitos con potencial de control biológico sobre roya del café (*Hemileia vastatrix*). *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 172-183. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1708-1>
13. Halpay, M., Silverio, L., Mateo, A., Pimentel, Á., & Cueto, J. (2020). Evaluación *in vitro* de micoparásitos con potencial de control sobre la enfermedad Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en la provincia San Juan, República Dominicana. *Revista Agropecuaria y Forestal*, 9(2), 17-24.
14. Hernández, C., López, L., & Sánchez, L. (2021). Agentes de control biológico de la roya del café ¿Cómo funcionan y qué tan efectivos son? *BioTecnología*, 25(1), 21-30. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcaipcgglefindmka/j/https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/05/Hernandez-et-al.-2021.pdf
15. Johnson, M. A., & Manoukis, N. C. (2020). Abundance of coffee berry borer in feral, abandoned and managed coffee on Hawaii Island. *Journal of Applied Entomology*, 144(10), 920-928.
16. López-Ferrer, U.C, Brito-Vega, H., López-Morales, D., Salaya-Domínguez, J. M., & Gómez-Méndez, E. (2017). Papel de *Trichoderma* en los sistemas agroforestales-cacaotal como un agente antagonico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 91-100. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93950595003.pdf>
17. Martínez-de-Jesús, J. M., Montesinos-Matias, R., Martínez-Fernandez, E., Villegas-Torres, O. G., Peña-Chora, G., & Andrade-Rodríguez, M. (2025). Cepas de *Akanthomyces uredinophilum*, *Simplicillium lanosoniveum* y *Trichoderma* spp. presentan alta actividad endófito e inducen un mejor crecimiento de plantas de café. *Scientia Agropecuaria*, 16(3), 385-395. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.029>



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

18. McCain, J.W. (1983). A Study of Sorus and Spore Ontogeny in *Uredinia* of *Hemileia vastatrix* by Light and Scanning Electron Microscopy. Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA. <https://www.proquest.com/openview/607536cf81d9c08ee76278035d9db2be/1?cbl=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar>
19. Meena, R.S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., & Marfo, T.D. (2020). Impacto de los agroquímicos en la microbiota del suelo y su manejo: Una revisión. *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
20. Melese, Y.Y., & Kolech, S.A. (2021). Coffee (*Coffea arabica* L.): methods, objectives and future strategies for genetic improvement in Ethiopia: Review. *Sustainability*, 13(19), 10814. <https://doi.org/10.3390/su131910814>
21. Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., & Alarcón-Cruz, N. (2013). Eficiencia biológica de cepas nativas de *Trichoderma* spp., en el control de *Sclerotium rolfsii* Sacc., en cacahuete. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 89-107. <https://www.redalyc.org/journal/837/83728497008/>
22. Mukherjee, M., Mukherjee, P.K., Horwitz, B.A., Zachow, C., Berg, G., & Zeilinger, S. (2012). *Trichoderma*–Plant–Pathogen Interactions: Advances in Genetics of Biological Control. *Indian journal of microbiology*, 52(4), 522-529. <https://doi.org/10.1007/s12088-012-0308-5>
23. Pandey, A.K., Kumar, A., Samota, M.K., & Tanti, A. (2022). *Trichoderma reesei* as an elicitor triggers defense responses in tea plant and delays gray blight symptoms. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105279. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105279>
24. Rivillas, C.A., & Cristancho, M.A. (2015). Coffee leaf rust. In *Compendium of Coffee Diseases and Pests*. The American Phytopathological Society: St. Paul, MN, USA; pp. 32-34. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Coffee+leaf+rust&author=Rivillas,+C.A.&author=Cristancho,+M.A.&publication_year=2015&pages=32-34
25. Rubio-Tinajero, S., Osorio-Hernández, E., Estrada-Drouaillet, B., Silva-Espinosa, J. H. T., Rodríguez-Mejía, M. D. L., & Nava-Juárez, R. A. (2021). Biocontrol *in vitro* de *Fusarium oxysporum* y *Dickeya chrysanthemi* con antagonistas. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(3), 515-528. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2104-1>
26. SADER Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2025). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria.
27. Sánchez-Lucio, R., González-Gaona, E., Padilla-Ramírez, J. S., Gallegos-Robles, M. Á., González-Salas, U., Gómez-Jaimes, R., & Lira-Ramos, K. V. D. (2024). Efectividad de cepas de *Trichoderma* spp., y *Lecanicillium* spp., en el control de la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) en el cultivo del café en Nayarit, México. *Biotechnia*, 26. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26i1.2047>
28. SAS Institute Inc. (1995). SAS/STAT User's guide, Version 9.2. SAS Institute. Cary, NC.
29. Savín-Molina J., Hernández, M. L. G., Ceiro, C. W., Ávila, Q. G. D., Palacios, E. A., Ruiz, E. F. H., & Romero, B. M. (2021). Caracterización morfológica y potencial de biocontrol de especies de *Trichoderma* aisladas de suelos semiáridos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 39(3), 435-451. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2106-7>
30. SENASICA (2023). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). Ficha Técnica No. 40: Roya del Café *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broom. Available



Artículo de investigación

Martínez-de Jesús et al., 2026

online: <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20cafeito/Fichas%20tecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20de%20Roya%20del%20cafeito.pdf>

31. Talhinhos, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, DN, Loureiro, A., ... & do Céu Silva, M. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: A century and a half around the tropics. *Molecular plant pathology*, 18(8), 1039-1051.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6638270/>
32. Townsend, G. R., & Heuberger, J.W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter*, 27(17), 340-343.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19451100061>
33. Vidal-Martínez, N. A., Sánchez Pale, J. R., Sanchez Viveros, G., Argumedo Delira, R., Chiquito Contreras, R. G., & Gonzalez Mendoza, D. (2021). Microorganismos antagonistas: una alternativa para el control biológico de enfermedades fúngicas presentes en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). *Información Técnica Económica Agraria*, 117(3), 214-226. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.042>
34. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Ruocco, M., Woo, S., & Lorito, M. (2012). *Trichoderma* secondary metabolites that affect plant metabolism. *Natural product communications*, 7 (11), 1545 - 1550.
<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1934578X1200701133>
35. Zhang, S., Wu, J., Chen, J., Jun, S., Yuan, Y., Dai, X., ... & Ma, Y. (2024). The biological control effect of *Bacillus cereus* on strawberry leaf spot disease caused by *Neopestalotiopsis clavispora*. *Scientia Horticulturae*, 327.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112841>