e-REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DEL SABER
ISSN: 2960-2467

https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.541

Artículo Original

Control biológico de la moniliasis del cacao como vía hacia la sostenibilidad y el bienestar de las familias productoras

Biological control of cacao frosty pod rot as a pathway to sustainability and the well-being of producer families

Marcos Darío, Menéndez-Baque[1]; Carmen Alexandra, Sinchi-Rivas[2]; Mery Alexandra, Toapanta-Avilés[3]; Luis Humbertom Tapia-Yanez[4]; Alexandra Aracely, Navarrete-Cornejo[4]; Eduardo Alberto, Jama-Aveiga[4]

(1) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.

(2) Universidad Estatal de Bolivar, Guaranda, Ecuador.

(3) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.

(4) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

Para numerosas familias productoras del litoral ecuatoriano, la moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*) es una amenaza para el ingreso y, cuando se controla con fungicidas, una fuente de costos, riesgos para la salud y presión sobre el ambiente. Este artículo presenta evidencia de laboratorio sobre tres alternativas de control (*Trichoderma harzianum*, sulfato de cobre pentahidratado y fenpropimorf) y la interpreta desde la sostenibilidad ambiental y el impacto social. Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, incluido un testigo, y diez repeticiones en medio papa dextrosa agar, con aislamientos de cinco fincas del cantón Milagro. Se midió el diámetro de la colonia a los 3, 5 y 7 días y se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR). *T. harzianum* mantuvo la colonia del patógeno entre 1,5 y 3,0 mm y alcanzó un PICR de 90,6 % a 96,9 % ($p < 0,05$), mientras que el PICR de los fungicidas descendió a 25,2 % (sulfato de cobre) y 40,9 % (fenpropimorf) a los 7 días. La lectura documental sugiere que un antagonista eficaz podría reducir la dependencia de productos de síntesis, la exposición de trabajadores y comunidades y los costos de aplicación, pero solo si se acompaña de acceso, capacitación y organización de los productores. El estudio no midió variables ambientales, sanitarias ni económicas, y la comparación con los fungicidas está limitada por diferencias de método. Se propone una ruta de validación participativa en campo con asociaciones de productores.

Palabras clave: cacao; moniliasis; control biológico; sostenibilidad; familias productoras.

Abstract

*For many producer families on Ecuador's coast, cacao frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) threatens income and, when controlled with fungicides, adds costs, health risks and environmental pressure. This article presents laboratory evidence on three control alternatives (*Trichoderma harzianum*, copper sulfate pentahydrate and fenpropimorph) and interprets it from the perspective of environmental sustainability and social impact. A completely randomized design was applied with four treatments, including an untreated control, and ten replicates on potato dextrose agar, using isolates from five farms in Milagro canton. Colony diameter was recorded at 3, 5 and 7 days, and the percentage of radial growth inhibition (PRGI) was calculated.* T. harzianum *kept the pathogen colony between 1.5 and 3.0 mm and reached a PRGI of 90.6% to 96.9% ($p < 0.05$), whereas the PRGI of the fungicides fell to 25.2% (copper sulfate) and 40.9% (fenpropimorph) at 7 days. The documentary reading suggests that an effective antagonist could reduce dependence on synthetic products, the exposure of workers and communities, and application costs, but only if accompanied by access, training and producer organization. The study did not measure environmental, health or economic variables, and the comparison with fungicides is limited by method differences. A participatory field validation pathway with producer associations is proposed.*

Keywords: *cacao; frosty pod rot; biological control; sustainability; producer families.*

Recibido/Received	17-07-2026	Aprobado/Approved	02-11-2026	Publicado/Published	03-11-2026

CC BY NC SA

Introducción

Para miles de familias del litoral ecuatoriano, el cacao es ingreso, trabajo y arraigo en el territorio. Díaz y Chesme (2023) estiman una producción cercana a las 234 000 toneladas anuales de grano y vinculan la sostenibilidad del cultivo en la provincia de Los Ríos con oportunidades de economía circular. Varas et al. (2024) calculan unas 400 000 hectáreas cultivadas y alrededor de 1,5 millones de puestos de trabajo directos en las etapas de producción, procesamiento y venta. La Constitución define la soberanía alimentaria como un objetivo estratégico y una obligación del Estado (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 281). Cuando una enfermedad compromete la cosecha, el efecto no es solo agronómico: golpea el ingreso del hogar, el empleo en la finca y la capacidad de las familias de permanecer en su territorio.

Entre los factores que amenazan esa cosecha sobresale la moniliasis, o pudrición helada de la mazorca, causada por el basidiomiceto *Moniliophthora roreri*. Descrita en Ecuador a comienzos del siglo XX y extendida desde mediados del siglo pasado a casi todas las zonas cacaoteras de América, se considera una de las enfermedades más destructivas del cultivo (Bailey et al., 2018; Díaz-Valderrama et al., 2020; Jiménez et al., 2022).

Las condiciones ambientales favorecen su avance. El hongo prospera con humedad relativa superior a 85 % y temperaturas por encima de 25 °C, y sus conidias, únicas estructuras infectivas, se dispersan por el agua de lluvia, el viento y el contacto con los trabajadores (Varas et al., 2024). El período de incubación es largo: durante las primeras semanas la infección es asintomática, y el deterioro visible aparece cuando el daño interno ya es considerable (Bastidas-Ruiz et al., 2025). El cambio climático podría modificar, además, su distribución potencial en el Ecuador continental (Plasencia-Vázquez et al., 2022).

El manejo combina prácticas culturales, como la remoción de frutos enfermos, la poda y la regulación de la sombra, con fungicidas y agentes biológicos. La integración de estas medidas ha mostrado ser más efectiva que cada una por separado: en Colombia, añadir aplicaciones químicas y biológicas a la remoción de mazorcas enfermas redujo de forma significativa la incidencia de la enfermedad (Rodríguez Polanco et al., 2026). Esos autores señalan, no obstante, que por la frecuencia de aplicación que exige, el control químico resulta poco eficiente y económicamente inviable para los pequeños productores.

El control químico tiene, además, costos que rebasan la finca. Los productos a base de cobre se utilizan ampliamente en la agricultura convencional y en la orgánica, pero el cobre persiste en los suelos, puede transferirse a ambientes acuáticos y afecta a las comunidades microbianas y a los invertebrados (Pesce et al., 2025). Existen también riesgos para la salud: en Milagro y Naranjito, un estudio con 200 residentes de zonas bananeras halló que el 97,5 % había experimentado fumigación aérea en su vivienda o lugar de trabajo y que el 57 % presentaba niveles bajos de colinesterasa (Guillen et al., 2024). Aunque esa evidencia procede del banano, describe el contexto de exposición a agroquímicos en el cantón del presente estudio. Se ha señalado, además, que la ciencia de los plaguicidas en Ecuador no se separa de las relaciones de poder y de los legados coloniales que determinan quién se expone y quién decide (Brisbois et al., 2019). En la cadena bananera ecuatoriana, los costos de adaptarse a los estándares de sostenibilidad no se reparten entre todos los eslabones (Coral y Mithöfer, 2023), lo que advierte sobre quién podría asumir el costo de cualquier cambio tecnológico en el cacao.

A estos factores se suma la variabilidad en la respuesta del patógeno. Los aislados ecuatorianos mostraron alta sensibilidad *in vitro* a flutolanil y azoxistrobina, con diferencias entre aislados y entre regiones (Amaya-Márquez et al., 2022; Espinoza-Lozano et al., 2022). En cambio, el sulfato de cobre pentahidratado se clasificó como poco activo, pues alcanzó su inhibición máxima solo a 20 000 mg/L (Amaya-Márquez et al., 2025), aunque otro estudio comunicó inhibición del crecimiento micelial con concentraciones milimolares (Carrasco-de la Cruz et al., 2023). Estos resultados contrastantes indican que la respuesta depende del aislado, de la concentración y del método.

Entre los agentes biológicos, *Trichoderma* es uno de los géneros más estudiados. *T. harzianum* y las especies de su complejo inhiben a los hongos fitopatógenos por competencia por nutrientes y espacio,

micoparasitismo y antibiosis (Xiao et al., 2023). Frente a *M. roreri* se ha documentado antagonismo *in vitro* en cepas peruanas y ecuatorianas. Leiva et al. (2022) evaluaron 234 cepas nativas del norte de Perú, pertenecientes al menos a 18 especies, e identificaron especies con potencial de biocontrol. Guevara-Viejó et al. (2024) hallaron cinco cepas con antagonismo notable entre 50 evaluadas, y los biopreparados de *Trichoderma* mejoraron el desempeño productivo en campo. Cadena y Poma (2022) comunicaron una inhibición del crecimiento micelial de 58,6 % con *T. harzianum*, y en Ecuador también se han evaluado combinaciones con *Bacillus subtilis* (Varas et al., 2024) y microorganismos autóctonos (Bastidas-Ruiz et al., 2025).

Que una alternativa sea eficaz en laboratorio no garantiza que los productores la adopten. La disposición a usar insumos biológicos depende de la actitud y de la utilidad y la facilidad de uso percibidas (Forouzani et al., 2024). Las transiciones hacia una agricultura más sostenible en América Latina son procesos sociotécnicos que involucran conocimiento, instituciones y organización (Durán et al., 2023); requieren acción colectiva de los productores (Carrasco Torrontegui et al., 2024), tienen en cuenta la aversión al riesgo de cada familia (Omonte-Ferrufino et al., 2026) y se apoyan en mercados territoriales y circuitos cortos de comercialización (Levidow, 2023). Por ello, la evidencia técnica debe leerse junto con sus condiciones sociales de aplicación.

El fenpropimorf es un fungicida sistémico del grupo de las morfolinas. Según la ficha técnica del producto empleado en este estudio, su registro corresponde al cultivo de plátano, para el control de la sigatoka negra, y se recomienda alternarlo con otros grupos químicos para prevenir la resistencia. Por ello, su evaluación sobre *M. roreri* tiene carácter exploratorio.

El marco normativo ecuatoriano respalda la búsqueda de alternativas. La Constitución establece que cada actor de los procesos de producción asume la responsabilidad directa de prevenir los impactos ambientales y de mitigar y reparar los daños que cause (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 396), y la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria (2017) prevé medidas fitosanitarias y campañas de prevención y control de plagas (arts. 22 y 25). Ese marco no sustituye la validación técnica de cada alternativa.

A pesar de estos avances, falta evidencia comparativa obtenida, en una misma prueba de laboratorio, sobre el efecto de un antagonista y de fungicidas de uso común contra aislamientos locales del patógeno. Esa evidencia es el primer filtro para decidir qué alternativas merecen ensayos de campo participativos, que son más costosos y requieren la confianza de los productores. Este estudio compara el efecto de *T. harzianum*, del sulfato de cobre pentahidratado y del fenpropimorf sobre el crecimiento micelial de *M. roreri* obtenido en fincas del cantón Milagro y discute sus implicaciones para la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las familias productoras. Sus objetivos fueron confirmar la presencia del patógeno, comparar la acción de los tratamientos sobre el diámetro de la colonia y estimar el porcentaje de inhibición del crecimiento radial. Se planteó como hipótesis que al menos uno de los tratamientos reduce el crecimiento del patógeno respecto del testigo.

Aquí se aporta una evidencia de laboratorio y una lectura de sostenibilidad que se declara como hipótesis, en tres dimensiones: la ambiental (dependencia de cobre y de productos de síntesis), la sanitaria y económica de las familias, y la organizativa (adopción y acción colectiva). Propone, además, una ruta de validación participativa para pasar del laboratorio al campo.

Materiales y métodos

Enfoque y diseño

Se realizó un estudio experimental de laboratorio, con diseño completamente al azar (DCA), en el laboratorio de fitopatología de la Universidad Agraria del Ecuador, entre octubre y diciembre de 2025, como parte del trabajo de titulación de Piure Tenesaca (2026). Se evaluaron cuatro tratamientos con diez repeticiones cada uno, lo que suma 40 cajas Petri como unidades experimentales, asignadas al azar a los

tratamientos. La lectura de sostenibilidad ambiental e impacto social es complementaria y de carácter documental (véase el apartado correspondiente).

Materiales y medio de cultivo

El ensayo requirió cajas Petri, autoclave, cámara de flujo laminar, incubadora, mechero, microscopio e hipoclorito de sodio, además de los productos químicos y del agente biológico. La cámara de flujo laminar se utilizó para trabajar en condiciones asépticas durante la preparación del medio y la siembra. Todas las unidades experimentales se mantuvieron en la misma incubadora, de modo que las condiciones ambientales fueran comunes a los cuatro tratamientos.

Obtención y confirmación del patógeno

Se recolectaron mazorcas con síntomas característicos de moniliasis (deformaciones, manchas de color café oscuro y micelio blanquecino en la superficie) en cinco fincas del cantón Milagro (Tabla 1). Los tejidos infectados se sembraron en medio papa dextrosa agar (PDA) y se incubaron en condiciones controladas. Se observó el crecimiento micelial y se examinaron al microscopio las estructuras fúngicas, con atención a las hifas hialinas y septadas propias del patógeno. La identificación se basó en caracteres morfológicos. Las fincas cultivan distintas variedades de cacao, y los aislamientos no se analizaron por separado según la variedad.

Para el aislamiento de los fitopatógenos, los fragmentos de tejido procedentes de mazorcas de maíz se lavaron minuciosamente con agua destilada estéril y se sometieron a una desinfección superficial mediante inmersión secuencial en alcohol etílico al 70% (v/v) durante 1 minuto y hipoclorito de sodio al 3% (v/v) durante 3 minutos, ajustando los tiempos a la densidad del zuro y los granos. Para eliminar los residuos químicos, los tejidos se enjuagaron tres veces consecutivas con agua destilada estéril (1 min por lavado) y se secaron en una campana de flujo laminar. El aislamiento inicial se realizó mediante la técnica multispórica en medio Agar Papa Dextrosa (PDA), seguida de una purificación monospórica por el método de dilución seriada para garantizar la homogeneidad genética. Finalmente, los cultivos se mantuvieron bajo una temperatura de incubación controlada de 25 °C en condiciones de oscuridad, empleando los aislamientos seleccionados para la evaluación del ensayo.

[Aclarar cómo se aplicaron los productos químicos al medio (incorporación en el PDA o aplicación sobre una mitad de la caja), el volumen y la concentración final por caja y la cepa y el origen de T. harzianum.]

El proceso metodológico inició con el aislamiento del fitopatógeno a partir de un muestreo en cinco fincas del cantón Milagro, registrándose su presencia confirmada en la finca Hermanos Hernández (2° 06’ 11,91” S; 79° 30’ 53,56” O), Don Roberto (2° 06’ 55,09” S; 79° 29’ 51,30” O), Hermanos Piza (2° 06’ 59,67” S; 79° 30’ 19,38” O), Quinta Flores (2° 10’ 41,97” S; 79° 30’ 40,40” O) y Don Alvarado (2° 11’ 08,05” S; 79° 31’ 27,17” O). Posteriormente, bajo condiciones de laboratorio, se evaluaron los tratamientos empleando dosis comerciales basadas en un volumen de 3 mL por caja de Petri; para los tratamientos químicos y el testigo absoluto, los compuestos se aplicaron mediante la incorporación directa en el medio agar papa dextrosa (PDA) para medir el crecimiento radial del patógeno según la técnica de Igarashi, integrando el sulfato de cobre pentahidratado (Kupper) a una concentración de 270 g/L (frente a los 247 g/L del protocolo original) y el fenpropimorf (Volley) a 880 g/L. Por su parte, el tratamiento biológico se ejecutó mediante la técnica de cultivo dual en PDA, donde se enfrentó directamente al patógeno con una cepa de *Trichoderma harzianum* ajustada a una concentración de 10^9 conidios/mL, asegurando la confrontación de ambos microorganismos de forma narrativa y continua en una misma unidad experimental sin el uso de tablas.

Tratamientos

Los tratamientos se definieron con las dosis de la recomendación comercial de cada producto (Tabla 1). El sulfato de cobre pentahidratado se aplicó como formulación comercial Kupper y el

fenpropimorf como Volley. El tratamiento biológico se evaluó mediante cultivo dual en PDA, que enfrenta al patógeno con *T. harzianum* en una misma caja; los tratamientos químicos y el testigo se evaluaron mediante el crecimiento radial directo del patógeno en PDA, según la técnica de Igarashi indicada en el protocolo del ensayo.

Para la evaluación de los tratamientos químicos (T2 y T3) y el testigo absoluto (T4), se procedió a la incorporación directa de los compuestos en el medio agar papa dextrosa (PDA), cuantificando un volumen final por caja. De este modo, el sulfato de cobre pentahidratado (formulado comercialmente como Kupper, T2) se integró registrando una concentración de referencia técnica (frente a los valores del protocolo original), mientras que el fenpropimorf (Volley, T3) se aplicó según las especificaciones del producto; en ambos casos se evaluó el crecimiento radial directo del patógeno siguiendo la técnica de Igarashi. Por su parte, el tratamiento biológico (T1) consistió en la inoculación de una cepa de Trichoderma harzianum, la cual fue evaluada mediante la técnica de cultivo dual en PDA para enfrentar simultáneamente al antagonista y al patógeno dentro de una misma caja de Petri.

Tabla 1. *Tratamientos evaluados en condiciones de laboratorio*

Tratamiento	Agente o producto	Dosis	Concentración
T1	*Trichoderma harzianum* (cultivo dual)	3 mL	10^9 UFC
T2	Sulfato de cobre pentahidratado (Kupper)	3 mL	270 g/L
T3	Fenpropimorf (Volley)	3 mL	880 g/L
T4	Testigo absoluto	—	—

Variables

El diámetro del crecimiento micelial de *M. roreri* se midió con calibrador vernier a los 3, 5 y 7 días después de la siembra, en los cuatro tratamientos. Con esos valores se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) con la expresión PICR = [(R1 − R2) / R1] × 100, donde R1 es el radio del crecimiento micelial del patógeno en el testigo y R2, el radio en los tratamientos con *T. harzianum*, sulfato de cobre pentahidratado o fenpropimorf. Como se trata de una razón, su valor es el mismo si se calcula con radios o con diámetros. El PICR se calculó a partir de las medias de cada tratamiento.

Análisis estadístico

Se calcularon promedios y desviaciones estándar por tratamiento. Los datos originales mostraron coeficientes de variación de 27 % a 33 %, por lo que el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5 % ($p < 0,05$) se aplicaron sobre datos transformados, tras comprobar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuos. La transformación empleada fue logarítmica, log10(x + 10).

El esquema del ANOVA incluyó tres grados de libertad para los tratamientos, 36 para el error experimental y 39 en total.

Lectura de sostenibilidad ambiental e impacto social

A partir de los resultados del ensayo, se revisó la literatura citada para identificar, en cada alternativa, aspectos de cinco dimensiones: ambiental (persistencia y efectos sobre organismos no objetivo), salud ocupacional y comunitaria (exposición), económica (frecuencia y costo de aplicación para pequeños productores), social y de adopción (percepción, capacitación y acción colectiva) y normativa (registro y marco legal). La revisión priorizó estudios ecuatorianos y latinoamericanos y estudios recientes en revistas indexadas. No se recolectaron datos primarios con productores, trabajadores ni comunidades, y no se midieron variables ambientales, sanitarias ni económicas. Por ello, las implicaciones se formulan

como hipótesis para estudios posteriores, se resumen en la Tabla 6 y se traducen en una ruta de validación participativa propuesta.

Alcance y consideraciones éticas

El ensayo se realizó con un hongo fitopatógeno y un antagonista en condiciones de laboratorio, sin participación de personas ni de animales. Los productos químicos se manipularon según las normas de bioseguridad del laboratorio. Los resultados corresponden a un ensayo *in vitro* y no se extrapolan sin validación a condiciones de campo.

Resultados

Presencia del patógeno

Las mazorcas recolectadas en las cinco fincas presentaron los síntomas descritos y todas las muestras resultaron positivas a la presencia del patógeno. Tras la incubación en PDA se observó un crecimiento micelial activo y homogéneo, y el examen microscópico permitió identificar hifas hialinas y septadas de crecimiento regular, compatibles con *M. roreri*. Con ese material se estableció el ensayo de los tratamientos.

Diámetro del crecimiento micelial

Los datos originales presentaron coeficientes de variación de 27,02 % a 33,19 %, que se redujeron a 3,35 %–3,80 % tras la transformación (Tabla 2). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos a los 3, 5 y 7 días ($p < 0,0001$ en las tres fechas; Tabla 3). La prueba de Duncan sobre los datos transformados separó cuatro grupos a los 3 y a los 7 días, y tres grupos a los 5 días (Tabla 2).

A los 3 días, el menor diámetro correspondió a *T. harzianum* (3,00 mm), seguido por el fenpropimorf (5,55 mm), el sulfato de cobre (7,03 mm) y el testigo (32,00 mm). A los 5 días, *T. harzianum* mantuvo la colonia en 2,12 mm, mientras que los dos fungicidas, sin diferencias entre sí, alcanzaron 11,71 mm (sulfato de cobre) y 13,92 mm (fenpropimorf), frente a 34,05 mm del testigo. A los 7 días, los diámetros fueron de 1,48 mm con *T. harzianum*, 27,78 mm con fenpropimorf, 35,16 mm con sulfato de cobre y 47,00 mm en el testigo, con diferencias significativas entre los cuatro tratamientos (Figura 1).

Tabla 2. *Diámetro del micelio de* Moniliophthora roreri *(mm) a los 3, 5 y 7 días*

Tratamiento	3 días	5 días	7 días
T1: *T. harzianum*	3,00 a	2,12 a	1,48 a
T2: Sulfato de cobre pentahidratado	7,03 c	11,71 b	35,16 c
T3: Fenpropimorf	5,55 b	13,92 b	27,78 b
T4: Testigo	32,00 d	34,05 c	47,00 d
Error estándar agrupado	1,25	1,57	2,38
CV datos originales (%)	33,19	32,06	27,02
CV datos transformados (%)	3,35	3,80	3,75

Nota. Medias en la escala original. Las letras provienen de la prueba de Duncan ($p < 0,05$) sobre los datos transformados; medias con una letra común no difieren significativamente.

Tabla 3. *Análisis de varianza del diámetro del micelio con datos transformados*

Día	F (3; 36 gl)	p-valor	R^2	R^2 ajustado
3	271,54	< 0,0001	0,96	0,95
5	189,29	< 0,0001	0,94	0,94
7	294,17	< 0,0001	0,96	0,96

En el tratamiento con *T. harzianum*, el diámetro medido de la colonia del patógeno disminuyó entre fechas (de 3,00 a 1,48 mm), mientras que en los demás tratamientos aumentó. Con sulfato de cobre pasó de 7,03 a 35,16 mm y con fenpropimorf, de 5,55 a 27,78 mm, de modo que el efecto restrictivo de ambos fungicidas se redujo con el tiempo (Figura 2).

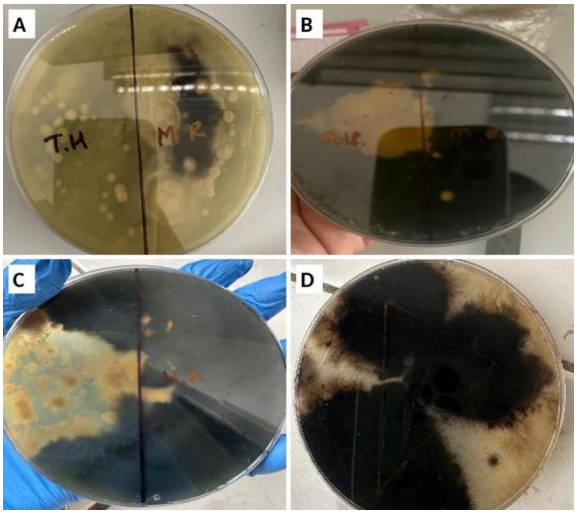


Figura 1. *Cultivos de* Moniliophthora roreri *con los tratamientos evaluados: (A)* T. harzianum*, (B) sulfato de cobre pentahidratado, (C) fenpropimorf y (D) testigo*

Inhibición del crecimiento radial

El PICR de *T. harzianum* fue de 90,63 % a los 3 días y aumentó a 93,78 % a los 5 días y a 96,85 % a los 7 días (Tabla 5). En cambio, el PICR del sulfato de cobre pentahidratado descendió de 78,03 % a 65,61 % y a 25,19 %, y el del fenpropimorf, de 82,66 % a 59,13 % y a 40,89 %. A los 3 días, el fenpropimorf superó al sulfato de cobre; a los 5 días ocurrió lo contrario, y a los 7 días el fenpropimorf mantuvo un PICR mayor (Figura 2). El PICR se calculó a partir de las medias, por lo que no se acompaña de una medida de dispersión ni de una prueba estadística propia. En síntesis, *T. harzianum* fue el único tratamiento cuyo efecto se mantuvo o aumentó entre los 3 y los 7 días.

Tabla 4. *Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de* Moniliophthora roreri *(%)*

Tratamiento	3 días	5 días	7 días
T1: *T. harzianum*	90,63	93,78	96,85
T2: Sulfato de cobre pentahidratado	78,03	65,61	25,19
T3: Fenpropimorf	82,66	59,13	40,89

Nota. PICR = [(R1 − R2) / R1] × 100, calculado con las medias de cada tratamiento y del testigo.

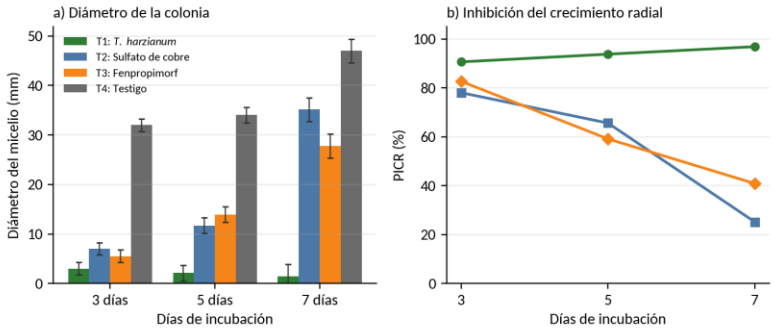


Figura 2. *Diámetro del micelio (±error estándar agrupado) y porcentaje de inhibición del crecimiento radial por tratamiento*

Discusión

Lectura técnica de los resultados

Los resultados confirman la hipótesis: los tres tratamientos redujeron el crecimiento del patógeno respecto del testigo, pero con patrones distintos en el tiempo. La presencia de *M. roreri* en las cinco fincas muestreadas coincide con la amplia distribución de la enfermedad en el litoral ecuatoriano (Varas et al., 2024; Plasencia-Vázquez et al., 2022). Con todo, la identificación del aislamiento se apoyó en caracteres morfológicos; la confirmación molecular, habitual en los estudios recientes sobre la diversidad del patógeno (Espinoza-Lozano et al., 2022), fortalecería la validez del ensayo.

T. harzianum fue el tratamiento más eficaz y el más estable. El testigo alcanzó 32,00 mm a los 3 días y 47,00 mm a los 7, lo que confirma el crecimiento activo del aislamiento en PDA y respalda la comparación. El PICR de *T. harzianum* (90,6 % a 96,9 %) supera el 58,6 % comunicado por Cadena y Poma (2022) para la misma especie, lo que concuerda con la variabilidad entre cepas descrita en los cribados de antagonistas: Leiva et al. (2022) identificaron especies con potencial entre 234 cepas, y Guevara-Viejó et al. (2024) seleccionaron cinco cepas entre 50. La inhibición observada es compatible con los mecanismos descritos para el complejo *T. harzianum*, a saber, competencia por nutrientes y espacio, micoparasitismo y antibiosis (Xiao et al., 2023). Sin embargo, este ensayo no permite separar esos mecanismos, y no se examinó la zona de interacción al microscopio. Tampoco se sabe si la reducción del diámetro medido entre fechas refleja un retroceso real de la colonia o el avance de *Trichoderma* sobre ella.

El efecto de los fungicidas decreció con el tiempo. El PICR del sulfato de cobre pasó de 78,0 % a 25,2 %, y el del fenpropimorf, de 82,7 % a 40,9 %. Una posible explicación es que ambos actuaron sobre todo de manera fungistática, es decir, retrasaron el crecimiento sin detenerlo, y que su efecto se diluyó a medida que el patógeno colonizó el medio. Esta explicación es una hipótesis, porque no se midió la concentración final en el medio ni se evaluó la viabilidad del hongo tras el tratamiento. Los antecedentes muestran respuestas variables según el aislado y la dosis: el sulfato de cobre pentahidratado alcanzó su inhibición máxima solo a 20 000 mg/L (Amaya-Márquez et al., 2025), y una concentración baja de otro fungicida estimuló el crecimiento de algunos aislados (Amaya-Márquez et al., 2022). Por ello, resulta imprescindible conocer la concentración final por caja antes de comparar con otros estudios, incluido el de Carrasco-de la Cruz et al. (2023).

La comparación directa entre el PICR del antagonista y el de los fungicidas exige cautela. El tratamiento biológico se evaluó en cultivo dual, mientras que los productos químicos se evaluaron mediante crecimiento radial directo, y las fotografías de las cajas sugieren que, en los tratamientos químicos, el producto y el patógeno también ocuparon mitades distintas del medio (Figura 1). Si el diseño no fue idéntico, parte de la diferencia podría deberse al método y no al agente. Además, el fenpropimorf se evaluó con una sola dosis, y su ficha técnica lo registra para plátano, de modo que sus resultados sobre el cacao no sustentan por sí solos una recomendación de uso.

Implicaciones para la sostenibilidad ambiental

Un antagonista que mantenga su efecto en campo podría disminuir la dependencia de productos de síntesis y de cobre. El cobre persiste en los suelos y afecta a las comunidades microbianas y a los invertebrados (Pesce et al., 2025), y la variabilidad de la sensibilidad del patógeno entre aislados y regiones (Amaya-Márquez et al., 2022; Espinoza-Lozano et al., 2022) indica que el uso repetido de pocos ingredientes activos exige vigilancia. Esta lectura coincide con la responsabilidad ambiental que establece la Constitución (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008, art. 396) y con las campañas de prevención y control que prevé la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria (2017). La evidencia disponible apunta a integrar el biocontrol con la remoción de mazorcas enfermas y otras prácticas culturales, y no a sustituirlas (Rodríguez Polanco et al., 2026). Además, el desempeño de una cepa en caja Petri no garantiza el mismo resultado en el cultivo, donde influyen el clima y el suelo, y el clima futuro podría modificar la distribución del hongo (Plasencia-Vázquez et al., 2022).

Implicaciones sociales: salud, ingreso y organización

En cuanto a la salud, este estudio no midió exposición, pero la fumigación aérea y los bajos niveles de colinesterasa descritos en Milagro y Naranjito (Guillen et al., 2024), y los estudios de genotoxicidad en trabajadores de plantaciones bananeras ecológicas y convencionales (Hutter et al., 2020), muestran que la exposición a agroquímicos puede cuantificarse. Reducir la frecuencia de aplicaciones de síntesis es una vía plausible para disminuirla, hipótesis que debe contrastarse en cacao. La lectura crítica de Brisbois et al. (2019) recuerda, además, que quienes se exponen no siempre son quienes deciden qué se aplica, lo que justifica incluir a los trabajadores y a las comunidades en la evaluación.

En cuanto al ingreso, si el control químico exige aplicaciones frecuentes e inviables para los pequeños productores (Rodríguez Polanco et al., 2026), una alternativa biológica solo será socialmente útil si su costo de producción, su frecuencia de aplicación y su disponibilidad son accesibles; de lo contrario, el costo de la transición podría recaer, como en la cadena bananera, en los eslabones con menor poder (Coral y Mithöfer, 2023). Una evaluación de costo-beneficio por hectárea, que incorpore la mano de obra, es una condición para recomendar el producto, y las oportunidades de economía circular en Los Ríos (Díaz y Chesme, 2023) podrían ofrecer una vía para producir el antagonista en el territorio.

En cuanto a la organización, la adopción depende de la actitud y de la utilidad y facilidad de uso percibidas (Forouzani et al., 2024), y la transición es un proceso sociotécnico (Durán et al., 2023) que requiere acción colectiva (Carrasco Torrontegui et al., 2024), atención a la aversión al riesgo de cada familia (Omonte-Ferrufino et al., 2026) y mercados que reconozcan una producción con menos agroquímicos (Levidow, 2023). Por ello, informar con transparencia lo que *T. harzianum* logró y lo que no, y probarlo con las asociaciones de productores, forma parte de construir confianza. La Tabla 6 resume las dimensiones de sostenibilidad y validación participativa.

La primera fase, denominada confirmación en laboratorio, plantea la identificación molecular del aislamiento y ensayos de dosis con la participación de la universidad y técnicos para medir la identidad del patógeno, la concentración final y su viabilidad. en la segunda fase se establecerán parcelas demostrativas mediante ensayos en las fincas muestreadas, integrando a productores, asociaciones y técnicos para evaluar la incidencia de moniliasis, el rendimiento y los costos. la tercera fase contempla la evaluación económica y de adopción a través de un análisis de costo-beneficio y consultas a los productores, coordinada por estos últimos junto a extensionistas para cuantificar el costo por hectárea, el ingreso y la percepción de utilidad. para la cuarta fase se ejecutará un seguimiento ambiental y sanitario basado en el monitoreo del suelo y de la exposición ocupacional, donde participarán laboratorios y entidades de salud pública midiendo los niveles de cobre en el suelo y la exposición de los trabajadores.

Finalmente, la quinta fase abarca la institucionalización mediante el registro de agentes biológicos y jornadas de capacitación, liderada por la autoridad fitosanitaria y los gobiernos locales para evaluar los registros logrados, el alcance de la capacitación y los acuerdos de uso establecidosel estudio tiene limitaciones que condicionan sus conclusiones: se evaluó una sola dosis por producto y una sola cepa de *trichoderma*; el método de aplicación de los productos químicos no está plenamente descrito; la identificación del patógeno fue morfológica; el período de observación fue de siete días; y la prueba de duncan es relativamente liberal frente a otras pruebas de comparación múltiple. además, la lectura de sostenibilidad es documental. futuras investigaciones deberían incluir curvas dosis-respuesta, pruebas de viabilidad del patógeno, confirmación molecular del aislamiento, ensayos de campo participativos con asociaciones de productores, evaluación económica de costo-beneficio por hectárea, mediciones de persistencia de cobre en el suelo y de exposición ocupacional, y estudios sobre conocimientos y actitudes frente al biocontrol.

Consideraciones finales

En condiciones de laboratorio, *T. harzianum* redujo el crecimiento de *M. roreri* de forma más marcada y sostenida que el sulfato de cobre pentahidratado y el fenpropimorf: mantuvo el diámetro de la

colonia entre 1,5 y 3,0 mm y alcanzó un PICR de 90,6 % a 96,9 %, mientras que el PICR de los fungicidas descendió a 25,2 % y 40,9 % a los 7 días. Este resultado respalda la selección de *T. harzianum* para ensayos posteriores, pero no demuestra eficacia en campo ni autoriza por sí solo una recomendación a los productores.

Desde la sostenibilidad y el impacto social, el valor de este hallazgo reside en su potencial para reducir la dependencia de productos de síntesis, con posibles beneficios ambientales, sanitarios y económicos para las familias productoras que este estudio no midió y que deben comprobarse. Para que ese potencial se traduzca en bienestar, el control biológico debe ser accesible en costo, estar acompañado de capacitación y de organización de los productores, contar con registro y respaldo institucional y evaluarse con indicadores de exposición, de persistencia ambiental y de ingreso. La ruta de validación participativa propuesta ofrece un camino para que la evidencia de laboratorio se convierta en una opción de manejo segura y realmente al alcance de quienes producen cacao.

Agradecimientos

A nuestras casas de estudio.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Referencias

Amaya-Márquez, D. J., Avilés Párraga, D. D., Peñaherrera-Morales, A. L., Mendoza Thompson, J. U., Sánchez Castro, E. E., & Álava Murillo, A. G. (2025). In vitro evaluation of chemical fungicides for the control of *Moniliophthora roreri*, the causal agent of cacao frosty pod rot (*Theobroma cacao* L.). *Revista Tecnológica – ESPOL, 37*(2), 132–143. https://doi.org/10.37815/rte.v37n2.1325

Amaya-Márquez, D. J., Espinoza-Lozano, R. F., Villavicencio-Vásquez, M. E., Sosa del Castillo, D., & Pérez-Martínez, S. (2022). Inhibición y estimulación del crecimiento micelial de *Moniliophthora roreri* por flutolanil en poblaciones de Ecuador. *Acta Agronómica, 70*(3), 240–248. https://doi.org/10.15446/acag.v70n3.88905

Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador* (Registro Oficial 449, 20 de octubre de 2008; última modificación 25 de enero de 2021).

Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria* (Registro Oficial Suplemento 27, 3 de julio de 2017).

Bailey, B. A., Evans, H. C., Phillips-Mora, W., Ali, S. S., & Meinhardt, L. W. (2018). *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular Plant Pathology, 19*(7), 1580–1594. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29194910/

Bastidas-Ruiz, V. E., Paredes-Toala, L. A., & Jácome-López, G. A. (2025). Control biológico de moniliosis (*Moniliophthora roreri*) en cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) mediante microorganismos autóctonos. *Agrotecnológica Amazónica, 5*(1), 2–9. https://doi.org/10.51252/raa.v5i1.794

Brisbois, B. W., Spiegel, J. M., & Harris, L. (2019). Health, environment and colonial legacies: Situating the science of pesticides, bananas and bodies in Ecuador. *Social Science & Medicine, 239*, 112529. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112529

Cadena, F., & Poma, E. (2022). Manejo de la moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*) con la aplicación de dos especies de *Trichoderma*. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 9*(2), 37–50. https://doi.org/10.53287/toks1912pc49l

Carrasco Torrontegui, A., Quispe, M., Pardo, R., Apaza, M., Cota, R., Gallegos Riofrío, C. A., Bucini, G., Anderson, C., Caswell, M., & Méndez, E. (2024). Acción colectiva para la transición agroecológica

en el altiplano boliviano. *Mundos Plurales: Revista Latinoamericana de Política y Acción Pública, 11*(1), 49–84. http://hdl.handle.net/10469/21826

Carrasco-de la Cruz, T. P., Olivo-Vidal, Z. E., Sánchez-Peregrino, J. A., & Mendoza-Lorenzo, P. (2023). Evaluación del efecto antifúngico del sulfato de cobre (II) pentahidratado en *Moniliophthora roreri*. *Journal of Basic Sciences, 9*(25), 8–18. https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/6133

Coral, C., & Mithöfer, D. (2023). Contemporary narratives about asymmetries in responsibility in global agri-food value chains: The case of the Ecuadorian stakeholders in the banana value chain. *Agriculture and Human Values, 40*(3), 1019–1038. https://doi.org/10.1007/s10460-022-10405-3

Díaz, M., & Chesme, X. C. (2023). Sostenibilidad en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) por las oportunidades de economía circular para la provincia de Los Ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7*(4), 5182–5197. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7342

Díaz-Valderrama, J. R., Leiva-Espinoza, S. T., & Aime, M. C. (2020). The history of cacao and its diseases in the Americas. *Phytopathology, 110*(10), 1604–1619. https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-20-0178-RVW

Durán, Y., Gómez-Valenzuela, V., & Ramírez, K. (2023). Socio-technical transitions and sustainable agriculture in Latin America and the Caribbean: A systematic review of the literature 2010–2021. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1145263. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1145263

Espinoza-Lozano, F., Amaya-Márquez, D., Pinto, C. M., Villavicencio-Vásquez, M., Sosa del Castillo, D., & Pérez-Martínez, S. (2022). Multiple introductions of *Moniliophthora roreri* from the Amazon to the Pacific region in Ecuador and shared high azoxystrobin sensitivity. *Agronomy, 12*(5), 1119. https://doi.org/10.3390/agronomy12051119

Forouzani, M., Bondori, A., & Mombini, A. S. (2024). Why are farmers reluctant to accept biological inputs? A structural equation model of technology adoption. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, 1360887. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1360887

Guevara-Viejó, F., Valenzuela-Cobos, J. D., Noriega-Verdugo, D., Garcés-Moncayo, M. F., & Basurto Quilligana, R. (2024). Application of biplot techniques to evaluate the potential of *Trichoderma* spp. as a biological control of moniliasis in Ecuadorian cacao. *Applied Sciences, 14*(13), 5481. https://doi.org/10.3390/app14135481

Guillen, M., Calderon, J., Espinoza, F., & Ayol, L. (2024). Aerial spraying and its impacts on human health in banana-growing areas of Ecuador. *Healthcare, 12*(20), 2052. https://doi.org/10.3390/healthcare12202052

Hutter, H.-P., Poteser, M., Lemmerer, K., Wallner, P., Shahraki Sanavi, S., Kundi, M., Moshammer, H., & Weitensfelder, L. (2020). Indicators of genotoxicity in farmers and laborers of ecological and conventional banana plantations in Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(4), 1435. https://doi.org/10.3390/ijerph17041435

Jiménez, D. L., Álvarez, J. C., & Mosquera, S. (2022). Frosty pod rot: A major threat to cacao plantations on the move. *Tropical Plant Pathology, 47*, 187–200. https://doi.org/10.1007/s40858-021-00472-y

Leiva, S., Rubio, K., Díaz-Valderrama, J. R., Granda-Santos, M., & Mattos, L. (2022). Phylogenetic affinity in the potential antagonism of *Trichoderma* spp. against *Moniliophthora roreri*. *Agronomy, 12*(9), 2052. https://doi.org/10.3390/agronomy12092052

Levidow, L. (2023). Territorialising local food systems for an agroecological transition in Latin America. *Land, 12*(8), 1577. https://doi.org/10.3390/land12081577

Omonte-Ferrufino, M. C., De Angelis, R., Navarrete, I., Alem-Zabalaga, M., & Barahona-Zamora, C. (2026). Navigating agroecological transitions: Key factors for Bolivian small producers. *Frontiers in Agronomy, 8*, 1655378. https://doi.org/10.3389/fagro.2026.1655378

Pesce, S., Mamy, L., Sanchez, W., Artigas, J., Bérard, A., Betoulle, S., Chaumot, A., Coutellec, M.-A., Crouzet, O., Faburé, J., Hedde, M., Leboulanger, C., Margoum, C., Martin-Laurent, F., Morin, S., Mougin, C., Munaron, D., Nélieu, S., Pelosi, C., & Leenhardt, S. (2025). The use of copper as plant protection product contributes to environmental contamination and resulting impacts on terrestrial and aquatic biodiversity and ecosystem functions. *Environmental Science and Pollution Research, 32*(6), 2830–2846. https://doi.org/10.1007/s11356-024-32145-z

Piure Tenesaca, A. G. (2026). *Control químico y biológico de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*), bajo condiciones de laboratorio* [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador].

Plasencia-Vázquez, A. H., Vilchez-Ponce, C. R., Ferrer-Sánchez, Y., & Veloz-Portillo, C. E. (2022). Efecto del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo *Moniliophthora roreri* y el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental. *Terra Latinoamericana, 40*. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1151

Rodríguez Polanco, E., Parra Alferes, E. B., López-Hernández, F., Bermeo-Fúquene, P., Navarro, D. A., Rico, E. M., & Zuluaga, J. J. (2026). Integrated management of a frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) epidemic in cacao through simultaneous application of cultural, chemical, and biological practices. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 79*, e120359. https://doi.org/10.15446/rfnam.v79.120359

Varas, I., Macias, C., Mendoza, J., & Bravo, D. C. (2024). Biocontrol de *Moniliophthora roreri* con *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* en cacao CCN-51. *Código Científico, 5*(4), 72–92. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/462

Xiao, Z., Zhao, Q., Li, W., Gao, L., & Liu, G. (2023). Strain improvement of *Trichoderma harzianum* for enhanced biocontrol capacity: Strategies and prospects. *Frontiers in Microbiology, 14*, 1146210. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1146210