

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Eficacia de mezclas de *Trichoderma* spp. y aceite de palma en el manejo de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en cacao

Efficacy of mixtures of *Trichoderma* spp. and palm oil in the management of *Moniliophthora roreri* Cif & Par in cocoa

Sofía Peñaherrera Villafuerte¹² , Galo Cedeño García^{3*} , Fernando Solórzano Alcívar⁴ , George Cedeño-García⁵ , Pedro Terrero Yépez⁶ 

¹ Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Av. José María Urbina, Portoviejo, Manabí, Ecuador

² Estación Experimental Tropical Pichilingue, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, km 5 vía Quevedo-El Empalme, Cantón Mocache, Los Ríos, Ecuador

³ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, sector El Gramal, Calceta, Manabí, Ecuador

⁴ Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, San Francisco de Quito, Pichincha, Ecuador

⁵ Departamento de Agronomía, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, km 13 ½ vía Portoviejo - Santa Ana, Santa Ana, Manabí, Ecuador

⁶ Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario - AGROCALIDAD, San Francisco de Quito, Pichincha, Ecuador

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 5/06/2019
Aceptado: 20/01/2020

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Galo Cedeño García
gcedeno@espam.edu.ec
alex.musaespam@gmail.com



RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue evaluar la eficacia de mezclas de *Trichoderma* spp., y el aceite de palma en el manejo de la moniliasis del cacao. El experimento se desarrolló durante el año 2016 en una plantación policlonal de 40 años de edad, conformada por los clones EET-19, EET-95 y EET-103, sensibles a moniliasis. Los tratamientos evaluados fueron: aceite de palma + *Trichoderma koningiopsis* y *T. stromaticum* (T1), aceite de palma + *T. ovalisporum* (T2), *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* (T3), *T. ovalisporum* (T4), Hidróxido de Cobre (T5) y un tratamiento control (T6). Las principales variables registradas fueron: el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), la eficacia de control, el rendimiento y el beneficio económico neto. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey, con 5 % de probabilidad de error. Los tratamientos influenciaron significativamente sobre las variables evaluadas. T1 y T2 mostraron la mayor eficacia de

control de moniliasis con 50,27 y 41,68 % respectivamente, además de poseer menores intensidades de la enfermedad en el tiempo (ABCPE) respecto al control. Así mismo, estos tratamientos mostraron mayor incremento del rendimiento de granos secos con 30,18 y 29,46 %, en su orden respectivo; a la vez, lograron los mayores beneficios económicos netos con 1094 y 1050 USD ha⁻¹. Las mezclas de *Trichoderma* spp., y aceite de palma fueron eficaces para el manejo de la enfermedad e incrementan el rendimiento y beneficio económico del cacao.

Palabras clave: aceite vegetal, biocontrol, hongos antagonistas, moniliasis del cacao

ABSTRACT

The main objective of the research was to evaluate the efficacy of mixtures of *Trichoderma* spp. and palm oil in the management of cocoa moniliasis. The experiment was carried out during 2016 in a 40 year old polyclonal plantation, made up of clones EET-19, EET-95 and EET-103, sensitive to moniliasis. The treatments evaluated were: palm oil + *Trichoderma koningiopsis* and *T. stromaticum* (T1), palm oil + *T. ovalisporum* (T2), *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* (T3), *T. ovalisporum* (T4), Hydroxide of Copper (T5) and a control treatment (T6). The main variables recorded were: the area under the disease progress curve (ABCPE), the control efficacy, the yield and the net economic benefit. The data were subjected to the analysis of variance and the comparison of means through the Tukey test, with a 5 % probability of error. The treatments significantly influenced the evaluated variables. T1 and T2 showed the highest moniliasis control efficacy with 50.27 and 41.68 % respectively, in addition to having lower disease intensities over time (ABCPE) compared to control. Likewise, these treatments showed a greater increase in the yield of dry grains with 30.18 and 29.46 %, in their respective order; at the same time, they achieved the highest net economic benefits with 1094 and 1050 USD ha⁻¹. The mixtures of *Trichoderma* spp. and palm oil were effective in managing the disease and increase the yield and economic benefit of cocoa.

Keywords: vegetable oil, biocontrol, antagonist fungi, frosty pod rot of cocoa

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos industriales de mayor importancia global dado que los granos constituyen la materia prima para la elaboración del chocolate, confiterías y alimentos recubiertos de la industria alimentaria; además, es utilizado en la fabricación de productos cosméticos y farmacéuticos (ICCO, 2015). Entre los países productores del mundo, Ecuador es el primer exportador mundial de cacao fino y de aroma, rubro importante en la generación de trabajos, ingresos económicos y divisas para el país; sin embargo, presenta los rendimientos más bajos de la región sudamericana y su cadena productiva muestra varios riegos que merman su producción (Rodríguez y Fusco, 2017).

La moniliasis (*Moniliophthora roreri* H.C. Evans *et al.*) es la enfermedad más importante

del cultivo de cacao, ya que afecta los frutos en cualquier estado de desarrollo, ocasionando la reducción del rendimiento y pérdidas económicas que pueden alcanzar hasta el 60 % de la producción; pero se han registrado pérdidas de hasta el 80 y 100 % de la producción bajo condiciones de Ecuador y Colombia (Ramírez, 2016; Pérez, 2018).

El manejo de la enfermedad se realiza tradicionalmente con la integración de prácticas culturales, el uso de variedades tolerantes a la enfermedad y las aplicaciones de fungicidas químicos en los picos de producción y desarrollo de los frutos (Sánchez *et al.*, 2015). En este sentido, a pesar de la eficacia que han mostrado algunos fungicidas para el control de la enfermedad, la resistencia genética varietal sigue siendo la opción más económica y ambientalmente sostenible para el manejo de la misma (McElroy *et al.*, 2018). No obstante, el control biológico de moniliasis

es otra de las estrategias de manejo integral fitosanitario que viene tomando fuerza en países productores, con resultados favorables en el manejo de la enfermedad (Vera *et al.*, 2018).

Entre los biocontroladores más estudiados para el manejo de enfermedades del cacao, los hongos del género *Trichoderma* aplicados en formulaciones con adherentes, han mostrado un buen potencial de control sobre *M. royeri*, *Phytophthora megakarya* Brassier & Griffin. y *Phytophthora palmivora* E. J. Butler. (Mbarga *et al.*, 2014; Reyes *et al.*, 2016; Sriwati *et al.*, 2019). En este sentido, Mbarga *et al.* (2014) reportaron que aplicaciones de *Trichoderma asperellum* Samuels *et al.* combinado con aceites vegetales lograron una protección contra *P. megakarya* de hasta el 55 % de los frutos sanos, luego de tres semanas de la aplicación. Investigaciones desarrolladas por Seng *et al.* (2014) y Sriwati *et al.* (2019) mostraron resultados similares para *M. royeri* y *P. palmivora*, en su orden respectivo.

Ecuador posee limitada información relacionada al control biológico de moniliasis en campo con el uso de *Trichoderma* spp., y aceites vegetales, por lo que es preciso conocer la eficacia de estas alternativas de control. Por lo anterior el objetivo principal de la investigación fue evaluar la eficacia de mezclas de *Trichoderma* spp., y aceite de palma en el manejo de moniliasis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló de enero a diciembre de 2016 en la Estación Experimental

Tropical Pichilingue, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quevedo, Ecuador, localizada en las coordenadas geográficas 01°05'24" latitud sur y 70°28'06" longitud oeste, a una altitud de 85 msnm. La zona de estudio mostró en promedio las siguientes características climáticas: precipitación 2063 mm, temperatura 25,41 °C, humedad relativa 83,50 %, y heliofanía de 963,7 horas luz.

El ensayo se estableció en una plantación de cacao de 40 años de edad, conformada por los clones del complejo nacional EET-19, EET-95 y EET-103, moderadamente susceptibles a moniliasis, establecidos bajo un sistema agroforestal con un 30 % de sombreado y una densidad de 1111 plantas ha⁻¹.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Los tratamientos probados se detallan en la Tabla 1. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos, cuatro réplicas y 24 unidades experimentales que se conformaron de parcelas constituidas por 25 plantas cada una. Previo al establecimiento del ensayo, en la primera semana de noviembre del 2015, las plantas fueron sometidas a podas de mantenimiento, donde fueron retirados la totalidad de los frutos. Con la finalidad de homogenizar el inicio de la producción de cojinetes florales y pepinillos, después de las podas, se realizaron riegos semanales hasta la llegada de la época lluviosa del 2016. Además, 30 días después de las podas se realizaron aplicaciones foliares de un regulador de crecimiento trihormonal a base de 90 ppm de citocininas, 50 ppm de auxinas y 50 ppm de ácido giberélico.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos probados para el control de moniliasis en campo

Tratamientos	Descripción
T1	Aceite de palma + <i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>
T2	Aceite de palma + <i>T. ovalisporum</i>
T3	<i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>
T4	<i>T. ovalisporum</i>
T5	Hidróxido de Cobre
T6	Control absoluto

Preparación del inóculo y aplicación de tratamientos

Se utilizaron cepas preseleccionadas de *T. koningiopsis*, *T. stromaticum* y *T. ovalisporum*, pertenecientes a la colección de microorganismos antagónicos del Laboratorio de Fitopatología de la EET-Pichilingue, aisladas de cojinetes florales y frutos del mismo lote experimental, en meses anteriores al establecimiento del ensayo, cuya efectividad sobre moniliasis fue comprobada previamente en ensayos de laboratorio “*in vitro*”, utilizando la técnica de confrontación descrita por Reyes *et al.* (2016). Las esporas fueron homogenizadas en medio de cultivo Papa Dextrosa Broth (PDB) dentro de un Erlenmeyer de 100 mL, donde se añadió 50 mL de aceite de palma, 2 mL de lecitina y 48 mL de agua destilada estéril hasta formar una emulsión que se dejó en constante agitación. La formulación descrita correspondió a los tratamientos T1 y T2. Para los tratamientos T3 y T4 se aplicó el mismo procedimiento descrito para las especies de *Trichoderma*, donde las esporas fueron suspendidas únicamente en agua destilada estéril.

La concentración de inóculo fue ajustada a 1×10^{12} esporas mL^{-1} , para cada especie de *Trichoderma*. En las aplicaciones de campo, tanto la emulsión de *Trichoderma* spp., + aceite de palma y la suspensión de *Trichoderma* spp., + agua destilada estéril fueron mezcladas con agua y asperjadas sobre las plantas de cacao previamente seleccionadas a razón de 200 mL árbol⁻¹, siguiendo las recomendaciones de Villamil *et al.* (2015) usando una bomba motorizada de espalda (marca STHIL SR-420) con boquilla de descarga Ø 0,65. Para evitar traslape entre los distintos tratamientos se usaron pantallas plásticas de 5 m de altura en los cuatro lados de las parcelas experimentales durante la aplicación de los tratamientos.

Se realizaron seis aplicaciones en el año, lo cual se hizo a partir de las 17:00 horas durante las dos principales temporadas de intensa floración y fructificación, a intervalos de 21 días, por lo que se realizaron tres aplicaciones seguidas por temporada. En el tratamiento químico, se hicieron aplicaciones de Hidróxido

de Cobre 538 g kg^{-1} (gramos de ingrediente activo por kg de producto comercial), en los mismos tiempos descritos para los tratamientos de *Trichoderma* spp., a dosis de 1 kg ha^{-1} de producto comercial.

Variables respuestas y análisis de datos

Se registró el número de frutos sanos, cherelles y con moniliasis por planta por año, lo cual se contabilizó en las 14 cosechas realizadas durante el año. También se registró el peso fresco de los granos por planta por año, lo cual se cometió en cada cosecha realizada. Con el acumulado del peso fresco se calculó el rendimiento de granos secos por hectárea en el año mediante la constante (100 - 40) con 7 % de humedad, siguiendo lo descrito por Sánchez *et al.* (2015). Además, se determinó el Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), con base a la incidencia de frutos con moniliasis. Esta variable se calculó integrando los rectángulos formados por el punto medio de la intensidad de la enfermedad (incidencia en %) alcanzada entre los tiempos en que se evaluó la enfermedad, lo cual se expresó con la ecuación descrita por Shaner y Finney (1977):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Y_{i+n1} + Y_i)}{2} \right] * [X_{i+1} - X_i]$$

Y_i - Incidencia de moniliasis (en porcentaje) en la i-ésima observación

X_i - tiempo (en días) en la i-ésima observación

n - total de número de observaciones

La eficacia de los tratamientos fue estimada con el número total de frutos con moniliasis, de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Pe = [(Cd - Td)/Cd] * 100$$

Pe - Porcentaje de eficacia

Td - Frutos con moniliasis en parcelas que reciben tratamientos

Cd - Frutos con moniliasis en parcelas del tratamiento control

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias

fue determinada con el test de Tukey, al 5 % de probabilidades de error. Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico Infostat versión libre del 2019.

Análisis económico

El análisis económico se realizó sobre la base de la estimación de incrementos de los costos y los rendimientos que varían en cada tratamiento respecto al tratamiento control, con lo cual se cuantificó el beneficio económico neto según la metodología descrita por Duicela y Ponce (2015).

Manejo específico del experimento

El manejo de malezas fue realizado de forma mecánica con una desbrozadora motorizada. Se realizó remoción de frutos enfermos y cherelles como parte del manejo integral fitosanitario en cada cosecha efectuada. La fertilización fue planificada en función al análisis químico de suelo reportado por el laboratorio de suelos y tejidos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). El contenido de macro nutrientes reportado fue de 18 ppm de N, 12 ppm de P y 0,3 meq K/100 g. Con base a lo anterior, la fertilización se realizó en dosis de 250, 60 y 280 kg de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Las fuentes usadas en la fertilización fueron urea (46 % de N), MicroEssentials SZ (12 % N, 40 % P₂O₅, 10 % S, 1 % Zn) y Korn Kali (40 % K₂O, 6 % MgO, 5 %

S, 0,25 % B).

La fertilización fue aplicada en cuatro fracciones anuales. El fertilizante fosfatado fue colocado en su totalidad durante la primera fracción, mientras que las dosis de fertilización nitrogenadas y potásicas fueron divididas en cuatro partes iguales, en cada fracción. El riego se complementó durante la época seca que se presentó desde julio a diciembre y se efectuó por aspersión a frecuencias mensuales.

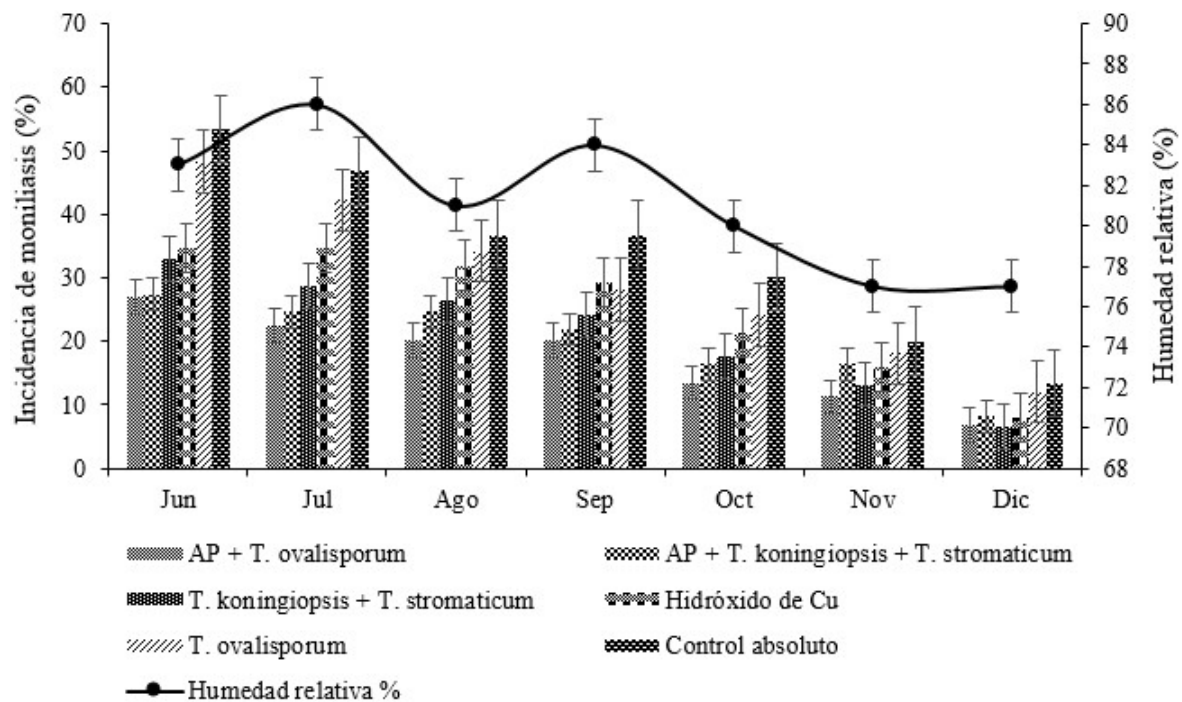
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los frutos con moniliasis por planta y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) fueron influenciadas significativamente por los tratamientos evaluados. Las aplicaciones combinadas de aceite de palma (AP) con *T. koningiopsis* y *T. stromaticum* y aceite de palma (AP) con *T. ovalisporum* presentaron menor cantidad de frutos afectados por moniliasis e intensidad de la enfermedad (ABCPE), con valores promedios de 17 y 18 frutos planta⁻¹, y 4291 y 5040 de ABCPE respectivamente, promedios que fueron significativamente inferiores respecto al tratamiento control (Tabla 2). La incidencia de moniliasis tiende a reducirse en el tiempo a medida que se acentúa la época seca, independientemente de los tratamientos de manejo de la enfermedad, lo cual coincide con una disminución de la humedad ambiental a medida que avanza la época seca (Figura),

Tabla 2. Efecto de combinaciones de especies de *Trichoderma* spp. y aceite de palma sobre el número de frutos enfermos, área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y eficacia de control de moniliasis en cacao nacional

Tratamientos	Frutos con moniliasis planta ⁻¹ año ⁻¹	ABCPE	Eficacia de control (%)
Aceite de palma + <i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	17±1,20 a	4297,45±2,80 a	50,27±2,96
Aceite de palma + <i>T. ovalisporum</i>	18±3,52 a	5040,33±1,65 ab	41,68±2,50
<i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	23±6,70 b	5282,16±3,14 bc	38,88±3,43
<i>T. ovalisporum</i>	24±2,21 b	7391,24±1,45 cd	24,46±3,12
Hidróxido de Cu	22±1,44 b	6414,67±2,16 cd	25,67±2,66
Control absoluto	34±2,63 c	8643,42±4,18 d	-----

Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidades de error



Cada barra representa el promedio de cuatro repeticiones (\pm Error estándar)

Figura. Relación entre la incidencia de moniliasis sobre frutos de cacao y la humedad relativa en el tiempo

donde disminuyen marcadamente las precipitaciones y por tanto, las condiciones para que la enfermedad no se intensifique.

Los resultados indican que el aceite de palma potenció la capacidad de biocontrol de los tratamientos *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* y de *T. ovalisporum*, con una eficacia del 50 y 42 % en su orden respectivo en lo que se refiere al control, superando al tratamiento de Hidróxido de Cobre que alcanzó el 26 % de eficacia (Tabla 2). A la vez, los tratamientos *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* y *T. ovalisporum* aplicados únicamente con agua, alcanzaron una eficacia menor al de los tratamientos a base de aceite de palma (Tabla 2).

Los resultados obtenidos se asemejan a los hallados por Seng *et al.* (2014) quienes reportaron que la mezcla *Trichoderma* spp., agua, suelo esterilizado y ceniza sobre plantas de cacao en campo redujo un 11 % la incidencia de moniliasis en 35 días después de la aplicación. Igualmente, Mbarga *et al.* (2014) demostraron que el uso de aceites vegetales en la formulación de *T. asperellum* alcanzó hasta un 90 % de control de *Phytophthora megakarya* después de una semana de la aplicación y 50 %

luego de 3,2 semanas, en mazorcas de cacao. Resultados similares fueron logrados por Villamil *et al.* (2015) que reportaron menores porcentajes de incidencia y severidad de moniliasis en campo cuando combinaron prácticas culturales con aplicaciones de cepas comerciales y nativas de *Trichoderma* sp. Por su parte, Sriwati *et al.* (2019) redujeron el porcentaje de frutos infectados con *Phytophthora palmivora* en un 48,57 y 40,61 % con aplicaciones de suspensiones de *T. harzianum* y *T. virens* respectivamente, 12 semanas después de la aplicación.

La cantidad de frutos sanos por planta también fue influenciada significativamente por los tratamientos probados, donde las combinaciones a base de aceite de palma + *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* y aceite de palma + *T. ovalisporum* mostraron el mayor número de frutos sanos con 50 y 46 frutos planta⁻¹ respecto a *T. ovalisporum* en solución acuosa y el control que alcanzaron menores cantidades de frutos sanos por planta (Tabla 3). Los tratamientos a base de Hidróxido de Cobre y la combinación de *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* en solución acuosa tuvieron

mayor producción de frutos sanos que el control, al igual que *T. ovalisporum* en solución acuosa, pero menor cantidad de frutos respecto a los tratamientos con aceite de palma.

La producción de frutos cherelles marchitos por planta también mostró respuestas significativas a la aplicación de los tratamientos evaluados. Esto fue evidente debido a que los tratamientos basados en combinaciones de aceite palma con *Trichoderma* alcanzaron menores cantidades de frutos cherelles en proporción a los demás tratamientos.

Lo anterior indica la importancia del uso de aceites o adherentes en la formulación de biocontroladores para aplicaciones en campo. En este contexto, los resultados son cercanos a los reportados por Mbarga *et al.* (2014) y Seng *et al.* (2014) quienes alcanzaron mayores cantidades de frutos sanos por planta en los tratamientos de *Trichoderma* con adherentes o

aceites. Los resultados también guardan similitud a los obtenidos por Tuesta *et al.* (2017) quienes redujeron la cantidad de frutos cherelles en tratamientos fertilizados con *Trichoderma* y micorrizas.

El efecto positivo de las especies *T. koningiopsis*, *T. stromaticum* y *T. ovalisporum* combinadas con aceite de palma sobre la menor cantidad de frutos afectados por moniliasis y cherelles marchitos, se evidenció en una mayor cantidad de frutos sanos y por ende en mayor rendimiento de granos, que fue influenciado significativamente por los tratamientos evaluados. Las combinaciones basadas en aceite de palma + *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* y aceite de palma + *T. ovalisporum* alcanzaron mayores rendimientos, superando los 2000 kg ha⁻¹ con un incremento de 30,18 y 28,46 % en su orden respectivo, con relación al tratamiento control (Tabla 4). Los

Tabla 3. Efecto de combinaciones de especies de *Trichoderma* spp y aceite de palma sobre el número de frutos sanos y cherelles en planas de cacao nacional

Tratamientos	Frutos sanos planta ⁻¹ año ⁻¹	Frutos cherelles planta ⁻¹ año ⁻¹
Aceite de palma + <i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	50,48±1,86 a	17,74±2,22 a
Aceite de palma + <i>T. ovalisporum</i>	46,33±1,34 ab	18,33±1,12 a
<i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	44,33±2,42 ab	39,68±1,80 bc
<i>T. ovalisporum</i>	27,67±1,98 c	39,59±2,16 bc
Hidróxido de Cu	38,41±3,26 bc	27,67±2,84 ab
Control absoluto	32,00±2,55 c	49,67±3,15 c

Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidades de error

Tabla 4. Efecto de las combinaciones de especies de *Trichoderma* y el aceite de palma sobre el rendimiento del cacao

Tratamientos	Rendimiento de grano seco (kg ha ⁻¹)	Incremento productivo con respecto al tratamiento control	
		Kg ha ⁻¹	(%)
Aceite de palma + <i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	2036,81±1,26	614,73±2,14	30,18±2,88
Aceite de palma + <i>T. ovalisporum</i>	2016,09±2,12	594,01±3,48	29,46±3,46
<i>T. koningiopsis</i> + <i>T. stromaticum</i>	1971,66±2,54	549,58±3,22	27,87±4,12
<i>T. ovalisporum</i>	1688,72±3,08	266,64±2,35	15,79±2,74
Hidróxido de Cu	1236,91±1,98	-185,17±3,16	-14,97±3,27
Control absoluto	1422,08±2,70	-----	-----
p-valor ANOVA	<0,0002	-----	-----
C.V. (%)	9,80	-----	-----

demás tratamientos evaluados también superaron el rendimiento del control, a excepción del *T. ovalisporum*. Este hecho sugiere que el *T. ovalisporum* necesita aplicarse en suspensión con adherentes para potenciar su efecto protectante y estimulador en las plantas.

Los rendimientos obtenidos se asemejan a los hallados por Seng *et al.* (2014) quienes reportaron que el tratamiento con *Trichoderma* spp., agua, suelo esterilizado y ceniza, incrementó el rendimiento de granos secos en 198 kg ha⁻¹ por encima del rendimiento medio de 1 500 kg ha⁻¹ obtenido en los demás tratamientos. Así mismo, los hallazgos encontrados se acercan a los reportados por Tuesta *et al.* (2017) quienes alcanzaron, con el genotipo CCN-51, rendimientos de granos secos superiores a los 2000 kg ha⁻¹ en tratamientos a base de *Trichoderma* y micorrizas combinados con fertilizantes orgánicos y minerales.

Respecto al análisis económico, el costo promedio que varía por las aplicaciones de productos para el control de moniliasis fue de 490 USD, y el promedio de los beneficios netos fue de 598,20 USD. Entre los beneficios netos se destacan los tratamientos a base de aceite de palma + *T. koningiopsis* + *T. stromaticum* y aceite de palma + *T. ovalisporum* con 1094 y 1050 USD ha⁻¹ respectivamente, superiores a los demás tratamientos, lo que equivale a una relación beneficio/costo de 2,15 y 2,06 USD.

Los resultados evidencian que las especies *T. koningiopsis*, *T. stromaticum* y *T. ovalisporum* mezclados con aceite de palma reducen la cantidad de frutos con moniliasis y cherelles e incrementan la cantidad de frutos sanos y el rendimiento del cultivo de cacao. Según varios autores, lo anterior puede deberse a que desde el punto biosanitario, *Trichoderma* spp., puede afectar negativamente el desarrollo de hongos patógenos a través de sus diferentes mecanismos de acción (Singh *et al.*, 2018). Además, puede contribuir al control de enfermedades mediante mecanismos de resistencia inducida en las plantas, estimulando la producción de metabolitos específicos que limitan el desarrollo de agentes patógenos

(Dinesh y Prateeksha, 2015).

Posiblemente, el aceite de palma potenció el efecto biocontrol de las especies de *Trichoderma* al formar biopelículas que permitieron a las esporas de *Trichoderma* spp., fijarse y actuar de mejor manera sobre el fitopatógeno. Igualmente, el aceite de palma contiene compuestos terpenoides que pudieron haber actuado como agentes fungistáticos o antifúngicos sobre moniliasis (Rincón y Martínez, 2009). En este sentido, Mbarga *et al.* (2014) demostraron bajo condiciones “*in vitro*” que formulaciones de *T. asperellum* con aceite de maní y palma mostraron efectos fungitóxicos sobre los conidios de *T. asperellum* además de potenciar el control sobre *Phytophthora megakarya* en mazorcas de cacao. En este contexto, investigaciones desarrolladas por Lozada *et al.* (2012) demostraron que aceites esenciales de *Lippia origanoides* H.B.K, *L. citriodora* (Cav.) Kunth y *L. alba* (Mill.) N.E. Brown inhibieron 100 % la germinación y el crecimiento micelial de *Moniliophthora roreri* en condiciones “*in vitro*”.

El efecto de las aplicaciones de *Trichoderma* spp., sobre el incremento del rendimiento, puede estar dado porque al interactuar con las plantas, sintetizan y secretan sustancias de crecimiento que estimulan los procesos metabólicos de las plantas y, por ende, potencian el desarrollo y rendimiento del cultivo (González *et al.*, 2018). Lo anteriormente expuesto, afianza los resultados alcanzados y explica los posibles efectos y beneficios del uso de *Trichoderma* spp., formulado con aceite de palma para el control de enfermedades e incremento productivo del cacao.

CONCLUSIONES

Las especies *T. koningiopsis* y *T. stromaticum* fueron más efectivas que *T. ovalisporum* para reducir la incidencia de frutos con moniliasis, independientemente del uso de aceite de palma, sin embargo, este último fue determinante para potenciar la capacidad biocontrol de las especies de *Trichoderma*

evaluadas. El costo promedio de las aplicaciones de aceite de palma + *T. koningiopsis* y *T. stromaticum* y aceite de palma + *T. ovalisporum* fue de 510 USD ha⁻¹, y los beneficios netos 1 094 y 1 050 USD ha⁻¹.

Las aplicaciones de biocontroladores en combinación con aceite de palma, bajo las condiciones probadas, reducen los niveles de incidencia de moniliasis, incrementan los rendimientos y proporcionan altos beneficios netos, sin embargo, se debe tener presente que los biocontroladores y fungicidas no actúan por sí solos, sino que deben ser incluidos como una herramienta más del manejo integrado de la enfermedad. Es recomendable seguir evaluando el efecto de los antagonistas a base de *Trichoderma* spp., como mínimo por tres años consecutivos en un mismo lote, registrando las variables climáticas; ya que el control biológico, actúa a largo plazo y consiste en aumentar las poblaciones de los antagonistas microbianos que han coevolucionado con *M. royeri* en determinadas zonas agroecológicas.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

- **Sofía Peñaherrera Villafuerte:** conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Fue la responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación. Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación.
- **Galo Cedeño García:** desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados. Fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados por los árbitros y el Consejo Editorial). Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.
- **George Cedeño García:** contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo.
- **Fernando Solórzano Alcívar:** responsable de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación. Apoyó en el trabajo de laboratorio.
- **Pedro Terrero Yépez:** responsable del registro y la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación. Apoyó en el trabajo de laboratorio.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses relacionados o derivados de la presente contribución.

BIBLIOGRAFÍA

- DUICELA, L. y PONCE, L. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *La Técnica*, 15 (2): 6 - 17.
- DINESH, R. and PRATEEKSHA, M. 2015. A review on interactions of *Trichoderma* with Plant and Pathogens. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 3 (2): 20-23.
- GONZÁLEZ, E., ORTEGA, M., SALAZAR, F., et al. 2018. The Arabidopsis-*Trichoderma* interaction reveals that the fungal growth medium is an important factor in plant growth induction. *Scientific Reports*, 8 (16427): 1 - 14.
- ICCO (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION). 2015. Reporte anual de

- estadística del cacao. Disponible en: <http://www.icco.org> (Consultado el 20/05/2019).
- LOZADA, B., HERRERA, L., PEREA, J., *et al.* 2012. Efecto *in vitro* de aceites esenciales de tres especies de *Lippia* sobre *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans *et al.*, agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 61 (2): 102-110.
- MBARGA, J., BEGOUDE, B., AMBANG, Z., *et al.* 2014. A new oil-based formulation of *Trichoderma asperellum* for the biological control of cacao black pod disease caused by *Phytophthora megakarya*. *Biological Control*, 77: 15-22.
- MCELROY, M., NAVARRO, J., MUSTIGA, G., *et al.* 2018. Prediction of Cacao (*Theobroma cacao*) Resistance to *Moniliophthora* spp., Diseases via Genome-Wide Association Analysis and Genomic Selection. *Frontiers in Plant Science*, 9 (343): 1 - 12.
- PÉREZ, L. 2018. *Moniliophthora roreri* H.C. Evans *et al.* y *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo. *Rev. Protección Veg.*, 33 (1): 1 - 13.
- RAMÍREZ, J. 2016. Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans *et al.*, en la hacienda *Theobroma*, Colombia. *Rev. Protección Veg.*, 31 (1): 42-49.
- REYES, O., ORTIZ, C., TORRES, M., *et al.* 2016. *Trichoderma* species from the cacao agroecosystem with biocontrol potential of *Moniliophthora roreri*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22 (2): 149-163.
- RODRÍGUEZ, D. y FUSCO, M. 2017. Gestión de riesgos agropecuarios en el sector del cacao en Ecuador. *Revista de Investigación en Modelos Financieros*, 1 (1): 57-74.
- RINCÓN, S. y MARTÍNEZ, D. 2009. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas*, 30 (2): 11 - 24.
- SÁNCHEZ, F., MEDINA, S., DÍAZ, G., *et al.* 2015. Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Rev. Fitotec. Mex.*, 38 (3): 265 - 274.
- SENG, J., HERRERA, G., VAUGHAN, C. and MCCOY, M. 2014. Use of *Trichoderma* fungi in spray solutions to reduce *Moniliophthora roreri* infection of *Theobroma cacao* fruits in Northeastern Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 62 (3): 899-907.
- SINGH, A., SHUKLA, N., KABADWAL, B., *et al.* 2018. Review on Plant-*Trichoderma*-Pathogen Interaction. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7 (2): 2382-2397.
- SRIWATI, R., CHAMZURNI, T., SOESANTO, L. and MUNAZHIRA, H. 2019. Field Application of *Trichoderma* Suspension to Control Cacao Pod Rot (*Phytophthora palmivora*). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 41 (1): 175-182.
- SHANER, G. and FINNEY, R. 1977. The Effect of Nitrogen Fertilization on the Expression of Slow-Mildewing Resistance in Knox Wheat. *Phytopathology*, 67: 1051 - 1056.
- TUESTA, A., TRIGOZO, E., CAYOTOPA, J., *et al.* 2017. Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares. *Tecnología en Marcha*, 30 (1): 67 - 78.
- VERA, M., BERNAL, A., LEIVA, M., *et al.* 2018. Microorganismos endófitos asociados a *Theobroma cacao* como agentes de control biológico de *Moniliophthora roreri*. *Centro Agrícola*, 45 (3): 81-87.

VILLAMIL, J., SIERRA, L., OLARTE, Y., *et al.* control biológico para el manejo de
2015. Integración de prácticas culturales y *Moniliophthora roreri* Cif & Par. *Revista de*
Ciencias Agrícolas, 32 (2): 13 - 25.

Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento en cualquier medio, siempre que la obra sea debidamente citada.