

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.4887>



Manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora palmivora*) en cacao por aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas*

Eleonora Rodríguez Polanco^a ■ Edinson Bayardo Parra Alferes^b ■ Paula Andrea Bermeo Fuquene^c ■ Jose Dimas Segura Amaya^d ■ Luz Astrid Rodríguez Polanco^e

Resumen: el 30 % de la producción de cacao se pierde por *Phytophthora* y en Colombia esta es una enfermedad limitante que llega a ocasionar pérdidas del 23 % en algunas regiones. Con el objeto de determinar la eficiencia de la remoción de frutas enfermas y la aplicación de fungicidas y un potencializador de resistencia contra *Phytophthora palmivora*, se establecieron durante un ciclo de producción dos ensayos experimentales con clones susceptibles a la enfermedad (ccn51) y cuatro tratamientos: MT (manejo tradicional-remoción ocasional de fruta enferma), MIC-7, MIC-14 y MIC-21, los cuales incluyeron el manejo integrado del cultivo (MIC) y la remoción de frutos enfermos cada siete, catorce y veintiún días, respectivamente. La incidencia fue determinada inicial y periódicamente de acuerdo con el tiempo de remoción de los frutos en cada tratamiento y los frutos enfermos fueron retirados del árbol. El experimento en campo se estableció bajo un DBCA con dieciséis réplicas (árboles) por tratamiento. Los análisis estadísticos se realizaron empleando Anava y la diferencia entre tratamientos se estimó por Tukey ($p \leq 0,05$). Se realizó el análisis económico con el fin de estimar la variación neta de cada tratamiento con relación al MT. En conclusión, la remoción de mazorcas enfermas constituye la base del manejo de *Phytophthora palmivora* en un clon susceptible como ccn51, al permitir una disminución del 43,13 % de la incidencia en el MIC-7 con relación al MIC-21. El efecto aditivo de la aplicación de las moléculas químicas en el MIC-14 fue insuficiente para disminuir la producción

* Artículo de investigación.

- a** Doctora en Fitopatología. Magíster en Ingeniería Agronómica. Agrosavia C. I. Nataima, Espinal, Colombia.
Correo electrónico: lrodriguezp@agrosavia.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8553-2449>
- b** Ingeniero agrónomo. Agrosavia C. I. Nataima, Espinal, Colombia.
Correo electrónico: pbermeo@agrosavia.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2494-0120>
- c** Ingeniera agrónoma. Agrosavia C. I. Nataima, Espinal, Colombia.
Correo electrónico: lrodriguezp@agrosavia.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1838-3578>
- d** Tecnólogo agrícola. I. A. Agrosavia. C. I. Nataima, Espinal, Colombia.
Correo electrónico: jsegura@agrosavia.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6795-8921>
- e** Economista. Ibagué, Tolima, Colombia.
Correo electrónico: astridrodriguezpolanco@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5016-0705>

de inóculo infectivo en la misma proporción que lo hace la remoción semanal de mazorcas enfermas, generando pérdidas de COP 369,041 ha⁻¹ con relación al TM. El MIC-7 se consideró como rentable al generar ganancias de COP 834 384 ha⁻¹ con relación al TM.

Palabras clave: fungicidas; Oomycetos; prácticas culturales; pudrición parda; *Theobroma Cacao*

Recibido: 05/06/2020

Aprobado: 20/08/2020

Disponible en línea: 19/03/2021

Cómo citar: E. Rodríguez Polanco, E. B. Parra Alferes, P. A. Bermeo Fuquene, J. D. Segura Amaya, y L. A. Rodríguez Polanco, «Manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora palmivora*) en cacao por aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas», Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 16, n.º 1, mar. 2021.

*Managing the black pod disease (*Phytophthora palmivora*) in cocoa by joint application of cultural and chemical practices*

Abstract: 30% of cocoa production is lost by *Phytophthora* and in Colombia this is a limiting disease that causes losses of 23% in some regions. In order to determine the efficiency of the removal of diseased fruits and the application of fungicides and a resistance booster against *Phytophthora palmivora*, two experimental trials with clones susceptible to the disease (ccn51) and four treatments were established during a production cycle: TM (traditional management - occasional removal of diseased fruit), ICM-7, ICM-14 and ICM-21, which included integrated crop management (ICM) and removal of diseased fruits every seven, fourteen and twenty-one days, respectively. The incidence was determined initially and periodically according to the time of removal of the fruits in each treatment and the diseased fruits were removed from the tree. The field experiment was established under a RCBD with sixteen replicates (trees) per treatment. Statistical analyzes were performed using Anava and the difference between treatments was estimated by Tukey ($p \leq 0.05$). The economic analysis was carried out in order to estimate the net variation of each treatment in relation to the TM. In conclusion, the removal of diseased pods constitutes the basis of the management of *Phytophthora palmivora* in a susceptible clone such as ccn51, by allowing a 43.13% decrease in the incidence in ICM-7 in relation to ICM-2. The additive effect of the application of chemical molecules in ICM-14 was insufficient to reduce the production of infective inoculum in the same proportion as the weekly removal of diseased ears, generating losses of COP 369,041 ha⁻¹ in relation to TM. ICM-7 was considered profitable as it generated profits of COP 834 384 ha⁻¹ in relation to TM.

Keywords: fungicides; Oomycetos; cultural practices; brown rot; *Theobroma Cacao*

*Gestão da podridão parda do milho (*Phytophthora palmivora*) em cacau por aplicação conjunta de práticas culturais e químicas*

Resumo: *phytophthora* é a causa da perda de 30 % da produção de cacau e, na Colômbia, essa é uma doença limitante que chega a ocasionar perdas de 23 % em algumas regiões. Com o objeto de determinar a eficiência da remoção de frutas doentes e da aplicação de fungicidas e um potencializador de resistência contra *Phytophthora palmivora*, foram estabelecidos durante um ciclo de produção dois

ensaios experimentais com clones suscetíveis à doença (ccn51) e quatro tratamentos: MT (gestão tradicional-remoção ocasional de fruta doente), MIC-7, MIC-14 e MIC-21, os quais incluíram a gestão integrada do cultivo (MIC) e a remoção de frutos doentes a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente. A incidência foi determinada inicial e periodicamente de acordo com o tempo de remoção dos frutos retirados da árvore. A experiência em campo foi estabelecida sob um DBCA com 16 réplicas (árvores) por tratamento. As análises estatísticas foram realizadas com a utilização Anava e a diferença entre tratamentos foi estimada com a Tukey ($p \leq 0,05$). Foi realizada a análise econômica a fim de estimar a variação líquida de cada tratamento quanto ao MT. Em conclusão, a remoção de milhos doentes constitui a base da gestão de *Phytophthora palmivora* em um clone suscetível como ccn51, ao permitir uma diminuição de 43,13 % da incidência no MIC-7 com relação ao MIC-21. O efeito aditivo da aplicação das moléculas químicas no MIC-14 foi insuficiente para diminuir a produção de inóculo ineficaz na mesma proporção que a remoção semanal de milhos doentes faz, gerando perdas de COP 369,041 ha⁻¹ comparado com o MT. O MIC-7 foi considerado como rentável ao gerar lucro de COP 834 384 ha⁻¹ com relação ao MT.

Palavras-chave: fungicidas; *Oomycetos*; práticas culturais; podridão parda; *Theobroma Cacao*

Introducción

La industria del chocolate mundial está valorada en 110 mil millones de dólares anuales [1]. De la cosecha mundial de cacao, aproximadamente el 30 % se pierde por *Phytophthora* spp., debido a su presencia en la región productora del occidente de África, responsable del 70 % de la producción mundial [2]. Para el 2015, la cosecha mundial fue de 4 168 000 toneladas, lo que se tradujo en una pérdida aproximada de 12,5 mil millones de dólares por su ataque [3]. La pudrición parda de la mazorca (PPM) causada por diferentes especies de *Phytophthora* está presente en todas las regiones donde se cultiva cacao [4]; la especie *palmivora* es la más difundida a nivel mundial, *megakarya* es la especie más virulenta y confinada en África [5], [6]. La PPM puede causar pérdidas del 100 % en los cultivos del trópico bajo condiciones ambientales favorables para su desarrollo o por prácticas de manejo deficientes [7]. El cacao es susceptible a la PPM durante todas las etapas del desarrollo de la planta; los síntomas principales incluyen manchas necróticas en plántulas y frutos, chancros en el tallo y pudrición de los granos [8].

En Colombia, el cacao es un producto importante para la producción agrícola nacional, ya que participa con el 0,51 % (56,867 Tm) de la producción agropecuaria nacional y ocupa el 3,5 % (176 050 ha) del área cultivada [9]. El país cuenta con condiciones agroecológicas favorables para su producción y con calidad reconocida internacionalmente como productor de cacao fino y de aroma; casi la totalidad de la producción nacional la absorbe la industria nacional de chocolates y sus derivados.

En el país el fomento del cultivo de cacao a partir del año 2000 incrementó las áreas de siembra en altitudes superiores a 800 m. s. n. m., donde prevalecen las bajas temperaturas que favorecen a *Phytophthora palmivora* (*P. palmivora*); además, la preferencia de los productores por el clon CCN51 permitió la combinación de condiciones agroecológicas y genéticas predisponentes, lo cual llevó a que se incrementaran las pérdidas causadas por su ataque, de modo que llegó incluso a desplazar a los hongos *Monilia* en algunas regiones del país [10], [11].

El genotipo CCN51 (Colección Castro Naranjal) se ha convertido en el preferido por los productores

en América Latina, debido a su alta productividad, alto contenido de grasa en el grano, autocompatibilidad, tolerancia a las variaciones climáticas y al patógeno *Moniliophthora perniciosa* [12], que se superponen a otras como alta acidez, amargor, sensación de astringencia en los granos [13] y alta susceptibilidad a la PPM [11].

Se han realizado estudios sobre el control de la PPM en los que el desarrollo de cultivares de cacao resistentes ha recibido bastante atención [14], pero hasta la fecha no existe resistencia completa. La estrategia de manejo de la PPM a partir de prácticas al cultivo (culturales), como, por ejemplo, la remoción de frutas enfermas, ha demostrado ser relativamente eficiente en la reducción del inóculo secundario [15], [16]. Además, el control cultural consume mucho tiempo y proporciona un control insuficiente [17], [18]. Aunque el uso de fungicidas sistémicos y de contacto a base de cobre ha sido efectivo para reducir el nivel de infección por diferentes especies de *Phytophthora* [19]-[23], el alto costo de estos productos los hace inaccesibles para los pequeños agricultores, quienes producen más del 50 % del cacao en todo el mundo [23]. De igual forma, a largo plazo la pulverización química tendría un impacto ambiental adverso y el posible desarrollo de resistencia por el patógeno [17], [22], [24].

Sin embargo, estos métodos cuando se utilizan individualmente no proporcionan un nivel satisfactorio de control de la PPM en las fincas de pequeños agricultores. Desarrollar un enfoque integrado para el manejo de esta enfermedad significa abordar aspectos tales como la comprensión de la biología del patógeno, la epidemiología de la enfermedad, la resistencia del hospedero y los parámetros ambientales que podrían tener un impacto en la eficiencia de este. En este contexto, el número y la frecuencia de remoción de las frutas enfermas podría reducirse con la aspersión conjunta de moléculas químicas de última generación en la etapa de mayor susceptibilidad de la fruta que permitan en el tiempo disminuir la dependencia de mano de obra, reducir las pérdidas e incrementar la sostenibilidad del cultivo.

En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación conjunta de la práctica cultural de remoción de mazorcas enfermas y la aplicación de fungicidas y un potencializador de resistencia en el manejo de la PPM en cacao.

Materiales y métodos

Localización de los experimentos

La evaluación de las moléculas químicas de última generación para el control de *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao se realizó en bioensayos de inoculación artificial en tres clones de cacao en

plantaciones comerciales. Los bioensayos se establecieron en dos fincas del municipio de Palocabildo, Tolima, con condiciones agroecológicas predisponentes a la enfermedad, niveles de incidencia cercanos al 15 % y manejo agronómico (poda, fertilización y remoción periódica de mazorcas con síntomas de Monilia y pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora* spp.) (Tabla 1).

Tabla 1. Localización de los bioensayos experimentales de evaluación de moléculas químicas y potencializador de resistencia para el control de *P. palmivora* en cacao, 2017.

Municipio	Vereda	Finca	Coordenadas	ASNM (m)	Temperatura (°C)	Clones utilizados
Palocabildo	El Reposo	La Fortuna	5° 4' 34,5" N 74° 59' 49,0" W	1250	23	ICS95 TSH565 CCN51
		El Fresnito	5° 7' 47,1" N 75° 00' 00,2" W	1231	23	ICS95 TSH565 CCN51

Fuente: elaboración propia.

Selección de fungicidas

Con el propósito de determinar el efecto de las moléculas químicas de última generación en el control de *Phytophthora* spp. en cacao se inició una

revisión bibliográfica de los productos químicos empleados para su control en cacao y otros patosistemas [19]-[21], [25]-[30]. Dos fungicidas protectantes, dos sistémicos y un potencializador de la resistencia fueron seleccionados (Tabla 2).

Tabla 2. Productos químicos evaluados para el control de *Phytophthora palmivora* en bioensayos en frutos, clones ICS95, TSH565 y CCN51. Palocabildo (Tolima). Semestre 1 de 2018.

Modo de acción	Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis ^{L-1}	Aplicación del producto (edad frutos)	Definición del tratamiento
Preventivo	Manzate 200 WP	Mancozeb	2,5 g	Cuatro meses	Aplicación del producto y dos días después inoculación con <i>P. palmivora</i>
	Antrasin P.C.	Sulafito de Cu 21%+Sulfato de Ca 18%	3 g		
Curativo	Agrifos 400 SL	Fosfito mono y dipotásico 48 %	5 mL	Cuatro meses	Efecto preventivo: aplicación del producto y dos días después inoculación con <i>P. palmivora</i> Efecto curativo: inoculación con <i>P. palmivora</i> y dos días después aplicación del producto.
	Fosetal 80 WP	Fosetyl-Al 80 %	5 g		
	Prevalor	Fosetyl-Al 31 %+ Propamocarb 53 %	2,5 mL		

Potencializador de resistencia	Silikum	Silicio (SiO ₂) 25 %, Potasio (K ₂ O) 12 %	5 mL	Dos meses	Aplicación del producto y seis semanas después inoculación con <i>P. palmivora</i>
--------------------------------	---------	---	------	-----------	--

Fuente: elaboración propia.

Los bioensayos se establecieron en frutos de los clones CCN51, ICS95 y TSH565. El CCN51 se empleó como testigo susceptible, el ICS95 y el TSH565 como moderadamente susceptibles [31]-[33].

Con el objeto de garantizar la sanidad de los frutos empleados en los bioensayos, se embolsaron una vez alcanzaron una edad aproximada de un mes y medio (edad en la que el árbol ya los sostiene a cosecha); cuando los frutos alcanzaron los cuatro meses de desarrollo fueron inoculados artificialmente de acuerdo con la metodología de [31], empleando el aislamiento HURV19 (identidad de secuencia [ITS] GenBank: M650992.1), dispuestos en cámara húmeda empleando una bolsa plástica con una servilleta humedecida, esta última retirada dos días después. La bolsa plástica permaneció durante todo el ensayo para evitar riesgos de dispersión del patógeno en el lote.

Los productos con mecanismo curativo fueron evaluados también por su posible acción preventiva, por lo que se establecieron diez tratamientos (T1: Mancozeb, T2: sulfato de Cu 21 % + sulfato de Ca 18 %, T3: fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo, T4: fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo, T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo, T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo, T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo, T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- preventivo, T9: silicio (SiO₂) 25 %, potasio (K₂O) 12 %, T10: testigo absoluto inoculado (Tabla 2).

Para los tratamientos de tipo preventivo se realizó la aplicación del producto y dos días después se realizó la inoculación con *P. palmivora*; en los tratamientos de tipo curativo la metodología fue opuesta, pues se realizó primero la inoculación y dos días después la aplicación del producto químico. Para el potencializador de resistencia la aspersión se realizó cuando el fruto tenía dos meses de desarrollo y seis semanas después se realizó la inoculación. La aspersión de las moléculas químicas

se realizó de acuerdo con las dosis comerciales recomendadas en la etiqueta del producto (véase la Tabla 2), empleando un pulverizador manual STILH SG 11.

Dos días después de la inoculación y/o aplicación del producto se inició la toma de datos que comprendía la verificación de la infección y la medida del diámetro de la lesión en sentido horizontal y vertical; las lecturas se realizaron hasta el octavo día.

Una vez finalizado el ensayo, se obtuvo la incidencia por cada tratamiento empleando (1).

$$\text{Incidencia} = (\text{número de frutos con síntomas} / \text{número total de frutos inoculados}) * 100 \quad (1)$$

La severidad o el tamaño de la lesión se calculó mediante la fórmula de la elipse (debido a la semejanza de lesión con este formato). Área de lesión = $a * b * \pi$, donde a = semieje de la medida “largo” de la lesión y b = semieje de la medida “ancho” de la lesión.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar (DCA) con quince repeticiones por tratamiento. Los análisis estadísticos de los datos de incidencia y severidad se realizaron empleando Anava. La normalidad de los residuos y la homogeneidad de las variaciones se verificaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente; las diferencias entre tratamientos establecidas por la prueba LSD-Fisher ($p \leq 0,05$) utilizando el *software* estadístico (R project versión 3.5.3) [34].

Aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas

Con el objeto de determinar el efecto de diferentes frecuencias de remoción de la fruta enferma y la aplicación de moléculas químicas de última generación seleccionadas en el bioensayo anterior se establecieron dos ensayos experimentales en plantaciones comerciales del clon CCN51 (véase la Tabla 1).

El diseño de los tratamientos consideró el ciclo de la enfermedad, la época de mayor susceptibilidad del fruto y el mecanismo y modo de acción de los fungicidas. El menor intervalo de remoción (cada siete días) se estableció de acuerdo con investigaciones previas que determinaron los valores más bajos para el clon ICS95 con 4,7 y 8,0 días para el periodo de latencia y el periodo de incubación, respectivamente [11]. Cuatro tratamientos se diseñaron de acuerdo con la frecuencia de remoción de fruta enferma y el tipo de manejo al cultivo, en los que MT (manejo tradicional-remoción ocasional de fruta enferma), MIC-7, MIC-14 y MIC-21 incluyeron el manejo integrado del cultivo (MIC) y la remoción de frutos enfermos cada siete, catorce y veintiún días, respectivamente. Cada tratamiento contó con dieciséis árboles o repeticiones.

El MT incluyó: control mecánico de arvenses, adecuación de drenajes y eliminación mecánica de renuevos; el MIC incluyó: las prácticas empleadas en el MT y otras prácticas tales como poda fitosanitaria, purga (eliminación total de frutos en periodo de baja producción), aplicaciones del potencializador de resistencia, fungicidas protectante y curativo. Los productos químicos fueron aplicados de acuerdo con la edad del fruto (relacionado con su susceptibilidad) y su mecanismo de acción (véase la Tabla 3).

Los productos químicos se aplicaron empleando fumigadora a motor Stihl SR 450, garantizando así el máximo cubrimiento de los frutos, y Agrotin SL como coadyuvante (1 ml/L⁻¹ de agua).

Tabla 3. Frecuencia y dosis de aplicación de los productos químicos en los tratamientos de MT y MIC para el control de *P. palmivora* en el clon CCN51. Palocabildo Tolima, 2019.

Orden de aplicación	Edad del fruto (meses)	Producto químico	Dosis *
1	2	Silikhum [Silicio (SiO ₂) 25 %, Potasio (K ₂ O) 12%]	100 mL
2	3,5	Manzate WP (Mancozeb 80 %)	50 g
3	4	Fosetal 80 WP (Fosetyl-Al 80 %)	100 g

*Dosis en 20 L de agua

Fuente: elaboración propia.

La incidencia de la enfermedad fue determinada inicial y periódicamente de acuerdo con el tiempo de remoción de los frutos en cada tratamiento. Para esto se realizaron conteos de frutos sanos y enfermos de acuerdo con la edad de los frutos: cero a dos meses, dos a cuatro meses y mayores de cuatro meses (los frutos enfermos fueron retirados del árbol). La producción de cada tratamiento se estimó de acuerdo con el registro de los frutos cosechados por árbol y se extrapoló a kilos de cacao seco ha⁻¹ con 1100 árboles. La incidencia fue calculada de forma similar a la empleada en el ensayo de preselección de moléculas químicas. Se realizó el análisis económico con el fin de estimar la ganancia o la pérdida neta de cada tratamiento con relación al MT.

El diseño experimental empleado fue bloques completamente al azar (BCA). El análisis estadístico de los datos de incidencia se realizó empleando

Anova; tanto la normalidad de los residuos como la homogeneidad de las variaciones se verificaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Las diferencias entre tratamientos se establecieron por la prueba Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando el *software* estadístico R project versión 3.5.3 [34].

Resultados y discusión

Selección de fungicidas

La aparición de síntomas se observó entre los dos a cuatro días después de la inoculación (DDI). A partir del sexto y hasta el octavo DDI los niveles de incidencia se mantuvieron constantes en todos los tratamientos evaluados en cada clon.

Los fungicidas preventivos (Mancozeb y sulfato de Cu 21 % + sulfato de Ca 18 %) presentaron los

valores más bajos de incidencia al 8 DDI en los tres clones con valores de 13,33 y 26,66 en CCN51, 46,66 y 53,33 en ICS 95, e igual valor para ambos: 26,66 en TSH 565 (véanse las figuras 1A, 1B y 1C). De esta manera, indica su efecto fungistático o inhibidor de la germinación, penetración o crecimiento del

patógeno. Los fungicidas curativos evaluados por acción preventiva y curativa mostraron un comportamiento similar para la incidencia en los tres clones con valores de incidencia superiores al 60 %; no se observó acción fungistática entre ellos (véanse las figuras 1A, 1B y 1C).

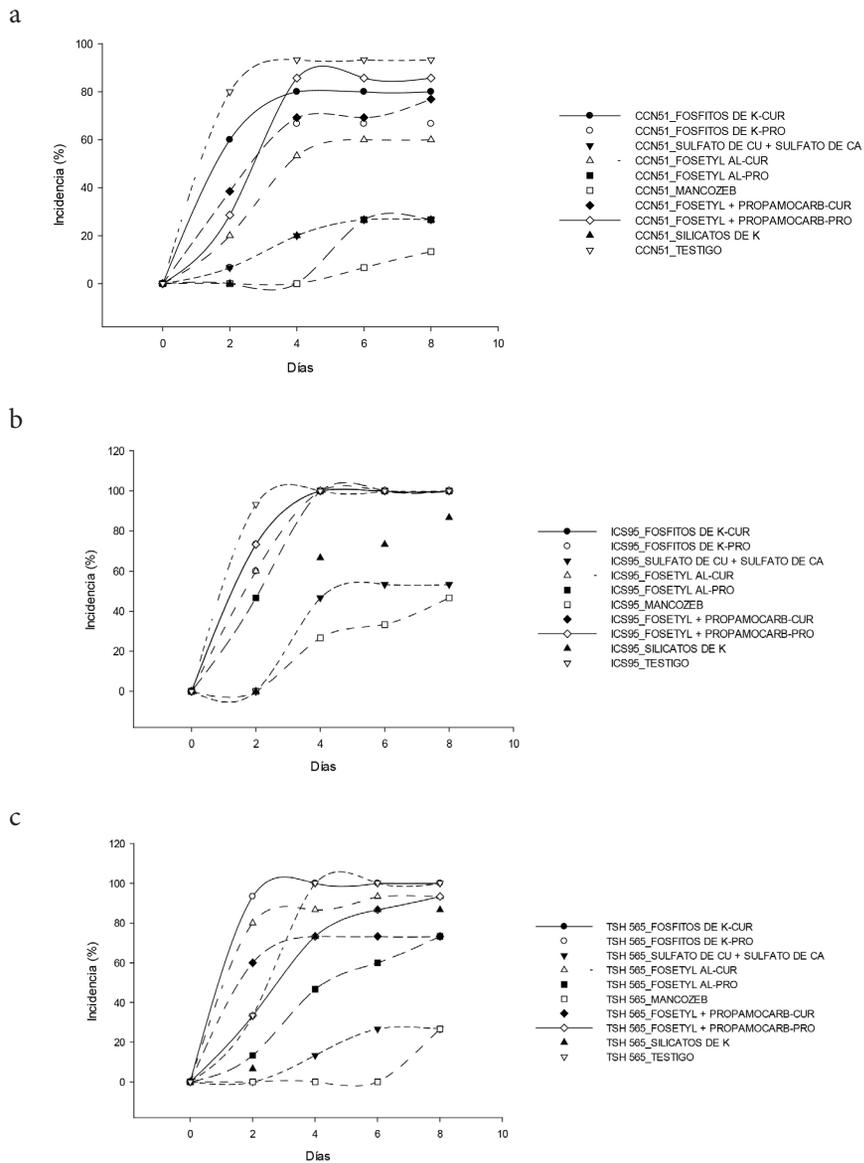


Figura 1. Comportamiento de la incidencia en frutos de tres clones de cacao. a) CCN51, b) ICS95 y c) TSH565 con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio e inoculados artificialmente con *P. palmivora*. Palocabildo (Tolima). Semestre I de 2018. T1: Mancozeb, T2: sulfato de Cu 21 % + sulfato de Ca 18 %, T3: fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo, T4: fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo, T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo, T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo, T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo, T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- preventivo, T9: silicio (SiO₂) 25 %, potasio (K₂O) 12 %, T10: testigo absoluto inoculado.

Fuente: elaboración propia.

Con relación al promedio del diámetro de la lesión, los fungicidas preventivos Mancozeb y sulfato de Cu 21 % + sulfato de Ca 18 % presentaron los valores más bajos y estadísticamente iguales ($p \leq 0,05$) con 33,75 cm² y 37,64 cm², respectivamente (véase la Figura 2). De acuerdo con [20] y [35], los fungicidas a base de cobre pueden reducir la incidencia de *Phytophthora* en frutos de cacao cuando son asperjados como protectores o aplicados en inyecciones al tronco.

El silicato de potasio presentó un promedio del diámetro de la lesión de 37,64 cm² indicando su efecto como potencializador de la resistencia al reducir la intensidad de la enfermedad [36] (Figura 2). Dentro de los mecanismos de resistencia fisiológicos y/o bioquímicos debidos a la aplicación de silicio se ha constatado el incremento en la producción de compuestos fenólicos, fitoalexinas y enzimas relacionadas con la resistencia tales como quitinasas y β -1,3-glucanasas, así como la transcripción de genes asociados con la resistencia de la planta [37]-[39].

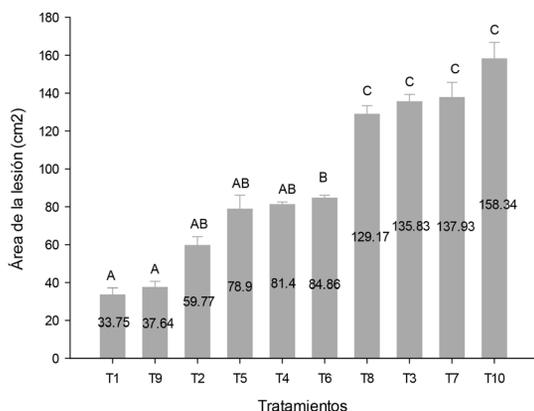


Figura 2. Promedio del área de la lesión en frutos de tres clones de cacao con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio e inoculados artificialmente con *P. palmivora*. Semestre I de 2018.

Fuente: elaboración propia.

El Fosetyl-Al 80 % exhibió el mayor efecto curativo al presentar el valor más bajo del promedio del diámetro de la lesión (78,90 cm) y superior en un 42 % comparado con Mancozeb (véase la Figura 2). El monoetilfosfonato Fosetyl-Al, o su producto de descomposición (fosfito), tiene un modo mixto de acción en los tejidos vegetales, una acción

directa por inhibición del crecimiento de *Phytophthora* [40] o etapas críticas en su ciclo de vida [41], así como una acción indirecta debida especialmente a la implementación de los mecanismos de defensa natural de la planta para detener el desarrollo de los patógenos [42].

De acuerdo con [43], la aspersión de ácido fosfónico (H₃PO₃ 40 %) proporcionó un control de *P. megakarya* equivalente al de la recomendación estándar para el control de la PPM en Ghana, basada en la aspersión de cobre o cobre + Metalaxil (Ridomil plus 72) cada tres semanas, de manera que se emplean aplicaciones durante un ciclo de producción. Posteriores estudios indicaron que una dosis de ácido fosfónico (H₃PO₃ 40 %) aplicada en dos ocasiones por inyección de 20 ml al tallo presentó un mayor control de *Phytophthora megakarya* (*P. megakarya*) en frutos con respecto a la aspersión con Metalaxyl [20].

En este estudio los clones CCN51 e ICS95 presentaron valores más altos e iguales estadísticamente ($p \leq 0,05$) para el promedio del área la lesión con 79,40 cm² y 73,64 cm², respectivamente (véase la Figura 3). Esto corrobora la alta susceptibilidad del ICS95 [16], [44] al presentar un comportamiento similar al CCN51 previamente caracterizado como altamente susceptible [10], [11], [31]; de hecho, el clon CCN51 se ha usado como control susceptible en pruebas de evaluación de resistencia a la PPM en genotipos de cacao [45].

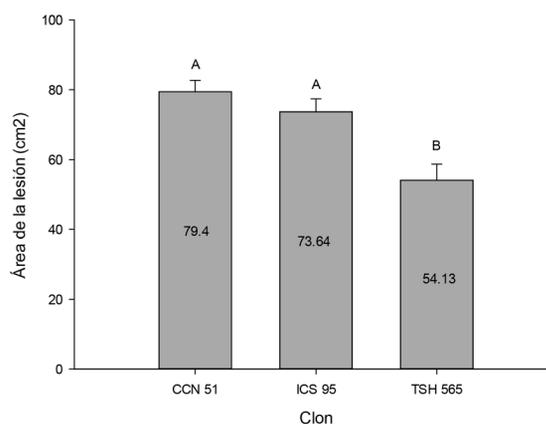


Figura 3. Promedio del área de la lesión en frutos de los clones ccn51, ics95 y tsh565 inoculados con *P. palmivora* y con aplicación de potencializador de resistencia, fungicida preventivo y curativo. Palocabildo (Tolima). Semestre I de 2018.

Fuente: elaboración propia.

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes. Test LSD-Fisher ($P > 0,05$). Promedio de frutos enfermos por tratamiento en cada clon. T1: Mancozeb, T2: Sulfato de Cu 21 % + Sulfato de Ca 18 %, T3: fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo, T4: fosfito mono y dipotásico 48 %-preventivo, T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo, T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo, T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo, T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- preventivo, T9: silicio (SiO_2) 25 %, Potasio (K_2O) 12 %, T10: testigo absoluto inoculado.

Aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas

Nuestros resultados indicaron que la práctica de remoción de mazorcas enfermas constituye la base del manejo de la PPM en un clon altamente susceptible como CCN51, al permitir una disminución significativa en la incidencia de la fruta enferma (véase la Figura 4). En los tratamientos de MIC la remoción de fruta enferma cada siete días permitió una disminución de la incidencia en un 43,13 % con relación a la remoción cada veintidós días, lo cual indica que el efecto aditivo de los fungicidas y el potencializador de resistencia no reducen en la misma proporción la producción de propágulos infectivos en la que lo hace la remoción de la fruta enferma (véase la Figura 4).

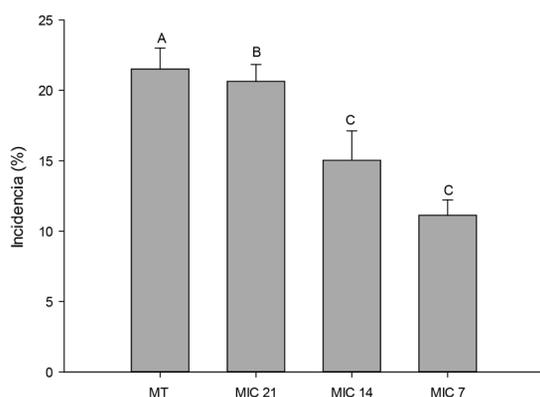


Figura 4. Incidencia de *P. Palmivora* en los tratamientos de aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas en el clon CCN51. T1: mt, T2: MIC-7, T3: MIC-14 y T4: MIC-21. Palocabildo, Tolima. 2019.

Fuente: elaboración propia.

Aunque la remoción de la fruta enferma puede tener eficiencia relativa en la disminución de la producción de propágulos o inoculo secundario de *P. palmivora* [8], [17], al estar condicionada a su remoción total por ser una fuente importante de inoculo, en la que una sola fruta infectada puede producir ochenta mil nuevas zoosporas de *P. palmivora* cm^2 después de cinco días de infección en condiciones ambientales apropiadas [46], como humedad relativa superior al 95 % y temperaturas entre 18 °C a 20 °C [47-49]. Además, existe una alta correlación entre el incremento de la incidencia, la severidad de la PPM y la cantidad de precipitación ocurrida con anterioridad [50], [51].

La incidencia de la PPM presentó valores más altos en frutos con edades de dos a cuatro meses y mayores de cuatro meses (véase la Figura 5). Estos resultados están en concordancia con lo observado por [48], quienes establecieron que la etapa de desarrollo del fruto entre los dos a tres meses de edad corresponde con la más vulnerable al ataque de *P. megakarya* en un clon susceptible. Resultados similares fueron reportados en [52], en el que los frutos inmaduros (entre diez a veinte semanas de desarrollo) presentaron los valores más altos de incidencia de *P. megakarya*.

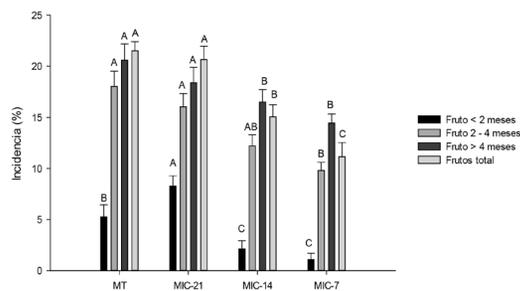


Figura 5. Incidencia de *P. Palmivora* en frutos con tratamientos de aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas en el clon CCN51. T1: mt, T2: MIC-7, T3: MIC-14 y T4: T-21. Palocabildo, Tolima. 2019.

Fuente: elaboración propia.

Medias con una letra en común dentro de cada clasificación de incidencia no son significativamente diferentes. Test LSD-Fisher ($P > 0,05$).

La incidencia menor y estadísticamente diferente ($p \leq 0,05$) fue encontrada en los tratamientos MIC-7 y MIC-14 con 15,04 y 11,13 %, respectivamente,

lo que señala una disminución del 2 % al remover la fruta enferma cada siete días, de manera que la aplicación de productos químicos tiene una disminución significativamente menor en producción de inoculo secundario con respecto a la práctica de remoción semanal (véase la Tabla 4). Este comportamiento en la incidencia en el MIC-14 puede deberse a la alta susceptibilidad del CCN51, dado que, de acuerdo con [53], un huésped altamente susceptible disminuye la duración de los periodos de desarrollo del patógeno (periodo de incubación y periodo de latencia), condición que permite un mayor número

de ciclos reproductivos y conlleva a la mayor producción de inoculo secundario. Si se considera también que el periodo de incubación de *P. palmivora* es de aproximadamente cuatro días, y que la producción de esporangios puede ocurrir tres días después, la remoción de fruta enferma debe realizarse semanalmente [11].

Los valores en producción en kg de cacao seco ha⁻¹ en orden decreciente fueron 1625,9, 1323,4, 1237,5 y 618,8, correspondientes a los tratamientos MIC-7, MIC-14, MT y MIC-21, respectivamente (véase la Tabla 4).

Tabla 4. Producción estimada en kilogramos de cacao seco ha⁻¹, en los tratamientos de aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas en el clon CCN51. T1: MT, T2: MIC-7, T3: MIC-14 y T4: MIC-21. Palocabildo, Tolima. 2019.

Tratamiento	Frutos cosechados *	Kg grano seco**	Kg grano seco ha ⁻¹
MT	360	18	1237,5
MIC-7	473	23,65	1625,9
MIC-14	385	19,25	1323,4
MIC-21	180	9	618,8

*Número de frutos cosechados en dieciséis árboles; **kg grano seco en dieciséis árboles.

Fuente: elaboración propia.

Para la realización del análisis económico se consideró que los gastos generados por la aplicación de los diferentes esquemas de manejo diferían únicamente en cantidad de mano de obra utilizada en la remoción de frutas enfermas. Los precios de los productos aplicados correspondieron al precio de mercado. La remoción de mazorcas enfermas inició cuando la cosecha estaba cuajada (frutos de aproximadamente dos meses de edad), hasta

cosecha colectada casi en su totalidad (cinco meses después). El costo de mano de obra en la zona fue de COP 50 000 jornal. Un jornal fue empleado en la remoción de frutos enfermos en una hectárea, por lo que doce, seis y cuatro jornales fueron empleados en la remoción cada siete, catorce y veintidós días, respectivamente. Los gastos generados en los MIC-7, MIC-14 y MIC-21 días se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Gastos de implementación del MIC-7, MIC-14 y MIC-21 clon CCN 51. Fincas El Reposo y El Fresnito, Palocabildo, Tolima, 2019.

Concepto	MIC-7				MIC-14				MIC-21			
	Cantidad	Total	Valor unitario (COP\$)	Valor total(COP\$)	Cantidad	Total	Valor unitario (COP\$)	Valor total(COP\$)	Cantidad	Total	Valor unitario (COP\$)	Valor total (COP\$)
Mano de Obra: aplicación con bomba de espalda.	1 jornal/aplicación	3	50 000	150 000	1 jornal/aplicación	3	50 000	150 000	1 jornal/aplicación	3	50 000	150 000
Mano de obra: Remoción de mazorcas enfermas	1 jornal/remocion	12	50 000	600 000	1 jornal/remocion	6	50 000	300 000	1 jornal/remocion	4	50 000	200 000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/poda	4	50 000	200 000	4 jornales/poda	4	50 000	200 000	4 jornales/poda	4	50 000	200 000
Silikum (Presentación 4 litros)	1 galón	1	94 300	94 300	1 galón	1	94 300	94 300	1 galón	1	94 300	94 300
Manzate	1 kg	1	15 000	15 000	1 kg	1	15 000	15 000	1 kg	1	15 000	15 000
Fosetal	1 kg	1	36 850	36 850	1 kg	1	36 850	36 850	1 kg	1	36 850	36 850
Total				1 096 150				796 150				696 150

Fuente: elaboración propia.

El MT se tomó como tratamiento de referencia para el cálculo de las ganancias o pérdidas adicionales en cada tratamiento de MIC. Los kg de cacao seco ha⁻¹ de cada tratamiento MIC se restaron a los kg de cacao seco ha⁻¹ de MT. La ganancia o pérdida neta con relación al MT se calculó al multiplicar la producción por el precio actual de mercado del grano (COP 4970) y restar los gastos en cada tratamiento de MIC (Tabla 6).

Solo el MIC-7 presentó una ganancia adicional de COP 834 384 con relación al MT al presentar un incremento en producción de 388,4 kg ha⁻¹. Aunque el MIC-14 produjo 85,9 kg ha⁻¹ más que el MT, este incremento fue insuficiente para compensar los gastos por insumos y mano de obra, señalando una pérdida adicional de COP 369 041 con relación al MT (Tabla 6).

Tabla 6. Relación ganancia/pérdida en los tratamientos MT y MIC para el control de *P. palmivora* en el clon ccn51, fincas El Reposo y El Fresnito, Palocabildo, Tolima, 2019.

Tratamiento	Ganancia/pérdida en producción (kg ha ⁻¹)	Ganancia/pérdida (COP)	Gastos (COP)	Ganancia/pérdida Neta (COP)
MT	0	0	0	0
MIC -7	388,4	1 930 534	1 096 150	834 384
MIC -14	85,9	427 109	796 150	-369 041
MIC 21	-618,8	-307 518,8	696 150	-377 133,8

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con [54], la información de la duración de los periodos de incubación y de latencia que influyen en los procesos policíclicos de organismos como *P. palmivora*, estos deben usarse con el fin de predecir la enfermedad en el campo y aun para evaluar pérdidas de cosecha, así como también empleados como base en el diseño de estrategias de manejo. Considerando lo anterior, en el control de la PPM en un clon altamente susceptible como el ccn51 el intervalo de remoción debe ser definido en consideración al tiempo de duración del periodo de latencia (inicio de la esporulación), que para el caso de *P. palmivora* es de aproximadamente siete días [11].

Nuestros resultados indicaron que el efecto aditivo proporcionado por la aplicación de las moléculas químicas fue insuficiente para disminuir en la misma proporción la producción de inóculo infectivo, en relación a como lo hace el intervalo de remoción de fruta enferma. Por tanto, la remoción cada catorce días presentó 26 % más de incidencia que la remoción cada siete días. De esta manera, la producción obtenida en el MIC-14 fue insuficiente para compensar los gastos originados por los jornales empleados y el valor de los productos químicos empleados, presentando así una pérdida de

COP 369 041 con relación al MT, por lo cual el MIC-14 resultó económicamente inviable para el productor (véase la Tabla 6).

En consideración a los resultados presentados, el efecto aditivo de la aplicación de fungicidas resultó insuficiente en un clon altamente susceptible como el ccn51, en el cual se observó que la remoción de mazorcas enfermas cada siete días es la base para el manejo de la PPM (véanse la Figura 4 y la Tabla 6). El empleo de un clon con mayor grado de resistencia poligénica a la PPM en combinación con la aplicación de las prácticas MIC podría permitir incrementar la frecuencia de remoción de fruta enferma a más de siete días, de modo que permita la disminución del daño y mejore los rendimientos de tal forma que genere suficientes retornos económicos y así lo incorpore el productor.

Conclusión

La práctica de remoción de mazorcas enfermas constituye la base del manejo de la PPM en un clon altamente susceptible al permitir una disminución del 43,13 % de la incidencia en el MIC-7 con relación al MIC-21. El efecto aditivo proporcionado por la aplicación de las moléculas químicas en el MIC-14 fue insuficiente para disminuir la producción

de inóculo infeccioso en la misma proporción que lo hace la remoción semanal de fruta enferma, lo que genera una pérdida de COP -369 041 ha⁻¹ con relación al MT. El MIC-7 se consideró rentable al generar ganancias de COP 834 384 ha⁻¹ con relación al MT, presentando una relación beneficio/costo de 1:1.74, es decir, por cada peso invertido el productor obtiene una ganancia de 0,74 pesos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Gobernación del Tolima y a la Universidad del Tolima por su financiación mediante recursos del SGR derivados del convenio número 042-2019 (“Desarrollo de estrategias de manejo para potencializar la cadena de cacao en la zona productora de los municipios de Mariquita y Palocabildo, Tolima”), enmarcado en el convenio marco 2077-2017, “Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades I+D+I en ocho cadenas del sector agropecuario en el departamento del Tolima”. También a la Asociación Agroecológica de Productores de Cacao, Musáceas y Otros de Palocabildo (Agrocamus), y a la Asociación de Productores Agropecuarios de la Vereda Camelias (Asocamelias), de Mariquita, Tolima.

Referencias

[1] M. Percival, “Cocoa-nomics: why chocolate really doesn’t grow on trees”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://edition.cnn.com/2014/02/13/world/africa/cocoa-nomics-does-chocolate-grow-on-trees/index.html>

[2] FAO [Food and Agriculture Organization], “Production quantities of Cocoa, beans by country”, FAO, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

[3] ICCO, “Production of cocoa beans”, *ICCO Quart. Bull. Coc. Stat.*, vol. 41, n.º 2, 2015.

[4] C. Cilas y D. Despréaux, Eds., *Improvement of cocoa tree resistance to Phytophthora diseases*. Montpellier, Francia: Cirad Library, 2004.

[5] C. M. Brasier y M. J. Griffin, “Taxonomy of ‘*Phytophthora palmivora*’ on cocoa”, *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, vol. 72, n.º 1, pp. 111-143, feb. 1979.

[6] G. A. Pakora J. Mpika, D. Kone y M. Ducamp, “Inhibition of *Phytophthora* species, agents of cocoa black pod disease, by secondary metabolites of *Trichoderma* species”, *Environm. Sci. Poll. Res.*, vol. 25, n.º 30, pp. 29901-29909, 2018.

[7] D. Guest, “The impact of plant diseases on world chocolate production”, *Plant Health Progr.*, vol. 97, n.º 12, p. 12, 2007.

[8] S. Surujdeo-Maharaj, T. N. Sreenivasan, L. A. Motilal y P. Umaharan, “Black pod and other *Phytophthora* induced diseases of cacao: history, biology, and control”, en B. Bailey y L. Meinhardt, *Cacao diseases: a history of old enemies and new encounters*. Springer, pp. 213-266. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_7

[9] D. F. Villanueva-Mejía, “Análisis de la situación y recomendaciones de política de bioeconomía”, en *Estudios sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia*. Medellín: DNP, 2018, pp. 1-49.

[10] J. Ramírez, “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. Protec. Veg.*, vol. 31, n.º 1, pp. 42-49, 2016.

[11] E. Rodríguez y A. Vera, *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (*Phytophthora* sp.) en cacao*. Bogotá D. C.: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2015.

[12] L. Herrmann, C. Felbinger, I. Haase, B. Rudolph, B. Biermann y M. Fischer, “Food fingerprinting: characterization of the ecuadorean type CCN-51 of *Theobroma cacao* L. using microsatellite markers”, *J. Agr. Food Chem.*, vol. 63, n.º 18, pp. 4539-4544, may. 2015.

[13] E. Moreno-Martínez, Ó. M. Gavanzo-Cárdena y F. A. Rangel-Silva, “Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra”, *Cien. Agricul.*, vol. 16, n.º 3, pp. 75-90, jun. 2019.

[14] O. A. Gutiérrez, A. S. Campbell, y W. Phillips-Mora, “Breeding for disease resistance in cacao”, en B. Bailey y L. Meinhardt, Eds., *Cacao diseases: a history of old enemies and new encounters*. MD: Springer, 2016, pp. 567-609.

[15] M. Ndoumbe-Nkeng, C. Cilas, E Nyemb y S. Nyasee, “Impact of removing diseased pods on cocoa black pod caused by *Phytophthora megakarya* and on cocoa production in Cameroon”, *Crop Prot.*, vol. 23, n.º 5, pp. 415-424, may. 2004.

- [16] P. F. Djocgoue, T. Boudjeko, D. J. Nankeu, M. I. B. Efombagn, S. Nyasse y D. N. Omokolo, "Comparative assessment of the resistance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) progenies from SNK10 x SNK413, ICS84 x ICS95 to *Phytophthora megakarya* in Cameroon by measuring size of necrotic lesion along the midrib", *Plant Pat. J.*, vol. 5, n.º 3, pp. 329-335, 2006.
- [17] M. Ndoumbe-Nkeng, "Lutte contre la pourriture brune des cabosses du cacaoyer au Cameroun", *Phytoma: Def. Veg.*, vol. 562, pp. 10-12, 2003.
- [18] A. J. Kehinde, A. Olubunmi, A. S. Oluseun, M. S. Ayodele, y F. Eniola, "Enhancing cocoa beans quality through improved cultural practices in major cocoa producing states of nigeria", *Int. J. Agricul. Manag. Devel.*, vol. 7, n.º 3, pp. 357-365, 2017.
- [19] A. Y. Akrofi, A. A. Appiah y I. Y. Opoku, "Management of *Phytophthora* pod rot disease on cocoa farms in Ghana", *Crop Prot.*, vol. 22, n.º 3, pp. 469-477, abr. 2003.
- [20] I. Opoku, A. Akrofi, y A. Appiah, "Assessment of sanitation and fungicide application directed at cocoa tree trunks for the control of *Phytophthora* black pod infections in pods growing in the canopy", *Europ. J. Plant Pathol.*, vol. 117, n.º 2, pp. 167-175, ene. 2007.
- [21] J. Gockowski, M. Tchatat, D. Jean-Paul, G. Hietet y T. Fouda, "An empirical analysis of the biodiversity and economic returns to cocoa agroforests in southern cameroon", *J. Sust. Fores.*, vol. 29, n.º 6, pp. 638-670, 2010.
- [22] V. Anzules, R. Borjas, L. A. Huamán, V. Castro-Cepero y A. Julca-Otiniano, "Cultural, biological and chemical control of *Moniliophthora roreri* and *Phytophthora* spp. in *Theobroma cacao* 'CCN-51'", *Scient. Agrop.*, vol. 10, n.º 4, pp. 511-520, 2019.
- [23] M. De Oliveira y E. Newman, *Identificação e manejo das principais doenças do cacaueteiro no Brasil Marival Lopes de Oliveira*. Ilhéus, Bahia: Ceplac, Cepec/, Sefit, 2005.
- [24] G. Danso-Abbeam y L. J. S. Baiyegunhi, "Adoption of agrochemical management practices among smallholder cocoa farmers in Ghana", *Afr. J. Sci. Technol. Inn. Devel.*, vol. 9, n.º 6, pp. 717-728, 2017.
- [25] V. Sumbula y K. Mathew, "Management of *Phytophthora* leaf fall disease of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt)", *J. Trop. Agricul.*, vol. 53, n.º 2, pp. 180-186, 2015.
- [26] L. L. Vawdrey y D. Westerhuis, "Field and glasshouse evaluations of metalaxyl, potassium phosphonate, acibenzolar and tea tree oil in managing *Phytophthora* root rot of papaya in far northern Queensland, Australia", *Austr. Plant Pathol.*, vol. 36, n.º 3, pp. 270-276, 2007.
- [27] J. Castaño y J. Leal, "Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands", *Tem. Agra.*, vol. 23, n.º 2, p. 143, jun. 2018.
- [28] F. Díaz, C. De León, y C. Nava, "Induced resistance to *Puccinia sorghi* and tar spot complex (*Phyllachora maydis* and others) in maize (*Zea mays*)", *Rev. Mex. Fitopatol.*, vol. 37, n.º 1, pp. 1-15, 2019.
- [29] D. Adeniyi, D. Animasaun, A. Abdulrahman, S. Olorunmaiye, G. Olan, y O. Adeji, "Integrated system for cashew disease management and yield", *Camer. J. Exper. Biol.*, vol. 13, pp. 40-48, 2019.
- [30] F. Kareem, I. Elshahawy y M. Abd-Elgawad, "Management of strawberry leaf blight disease caused by *Phomopsis obscurans* using silicate salts under field conditions", *Bull. Nat. Res. Cen.*, vol. 43, n.º 1, pp. 1-6, dic. 2019.
- [31] W. Phillips-Mora y J. Galindo, "Método de inoculación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao (*Theobroma cacao*)", *Turrialba*, vol. 39, n.º 4, pp. 488-496, 1989.
- [32] A. Iwaro y T. Sreenivasan, "Foliar resistance to *Phytophthora palmivora* as an indicator of pod resistance in *Theobroma cacao*", *Plant Dis.*, vol. 81, n.º 6, pp. 619-624, 1997.
- [33] M. Tahí, I. Kebe, A. Eskes, S. Ouattara, A. Sangare y F. Mondeil, "Rapid screening of cacao genotypes for field resistance to *Phytophthora palmivora* using leaves, twigs and roots", *Europ. J. Plant Pathol.*, vol. 106, n.º 1, pp. 87-94, 2000.
- [34] R, "The R Project for Statistical Computing", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.r-project.org/>. [Consultado: 05-sep-2020]
- [35] A. McGregor, "Evaluation of five systemic fungicides for control of *Phytophthora* pod rot of cocoa", *8 Int. Coc. Res. Conf. = Actes*, Cartagena, Colombia, 18-23 oct. pp. 295-299, 1982.
- [36] K. Datnoff, L. E. Rodrigues y F. A. Seebold, "Silicon and plant disease", en *Mineral nutrition and plant disease*. St. Paul, Minnesota, EE. UU.: The American Phytopathological Society, 2007, pp. 233-246.
- [37] S. G. Kim, K. W. Kim, E. W. Park, y D. Choi, "Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast", *Phytopathol.*, vol. 92, n.º 10, pp. 1095-1103, oct. 2002.
- [38] Y. Liang, H. Hua, Y.-G. Zhu, J. Zhang, C. Cheng y V. Romheld, "Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport", *New Phytol.*, vol. 172, n.º 1, pp. 63-72, oct. 2006.

- [39] F. Á. Rodrigues, W. M. Jurick, L. E. Datnoff, J. B. Jones y J. A. Rollins, "Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions", *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, vol. 66, n.º 4, pp. 144-159, abr. 2005.
- [40] M. González, P. Caetano y M. E. Sánchez, "Testing systemic fungicides for control of *Phytophthora* oak root disease", *For. Pathol.*, vol. 47, n.º 4, p. e12343, ago. 2017.
- [41] M. King *et al.*, "Defining the phosphite-regulated transcriptome of the plant pathogen *Phytophthora cinnamomi*", *Molec. Gen. Genom.*, vol. 284, n.º 6, pp. 425-435, dic. 2010.
- [42] O. Berkowitz, R. Jost, D. Kollehn y R. Fenske, "Acclimation responses of *Arabidopsis thaliana* to sustained phosphite treatments", *J. Experim. Bot.*, vol. 64, n.º 6, pp. 1731-1743, abr. 2013.
- [43] I. Y. Opoku, A. Y. Akrofi, M. Holderness y K. A. Holmes, "Phosphonic acid: an alternative approach to the control of black pod disease of cocoa caused by *Phytophthora megakarya*", en *Proc. Incop. 4th Int. Sem. Deal. Press. Crop Prot. Probl.*, Accra, Ghana, 19-21 oct., pp. 59-69.
- [44] S. Nyassé, M. I. B. Efombagn, B. I. Kébé, M. Tahi, D. Despréaux y C. Cilas, "Integrated management of *Phytophthora* diseases on cocoa (*Theobroma cacao* L.): impact of plant breeding on pod rot incidence", *Crop Prot.*, vol. 26, n.º 1, pp. 40-45, ene. 2007.
- [45] E. Lisboa, C. Cerqueira-Silva, D. Clement, y E. Newman, "Resistance gradient of black pod disease in cocoa and selection by leaf disk assay", *Crop Breed. App. Biotech.*, vol. 11, n.º 4, pp. 297-303, dic. 2011.
- [46] M. A. Barreto, J. C. S. Santos, R. X. Corrêa, E. D. M. N. Luz, J. Marelli, y A. P. Souza, "Detection of genetic resistance to cocoa black pod disease caused by three *Phytophthora* species", *Euphytica*, vol. 206, n.º 3, pp. 677-687, jun. 2015.
- [47] G. Wood, "Black pod and meteorological factors", en P. H. Gregory, Ed., *Phytophthora disease of cocoa*. Londres: Cambridge University Press, 1975, pp. 153-159.
- [48] G. A. Enriquez y L. G. Salazar, "Cocoa varietal resistance to *Phytophthora palmivora* and its inheritance at Turrialba, Costa Rica", en G. A. Enriquez y G. A. Zentmyer, Eds, *Proceedings of the meetings of the American regional group on Phytophthora palmivora on cacao*. Technical series. Technical report Catie 126, 1980, p. 13.
- [49] D. Adeniyi, "Diversity of cacao pathogens and impact on yield and global production", en *Theobroma Cacao. Deploying science for sustainability of global cocoa economy*, IntechOpen, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/theobroma-cacao-deploying-science-for-sustainability-of-global-cocoa-economy/diversity-of-cacao-pathogens-and-impact-on-yield-and-global-production>
- [50] M. Efombagn, J. Marelli, M. Ducamp, C. Cilas, S. Nyasse, y D. Vefonge, "Effect of fruiting traits on the field resistance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones to *Phytophthora megakarya*", *J. Phytopathol.*, vol. 152, n.º 10, pp. 557-562, oct. 2004.
- [51] J. T. Dakwa, "A serious outbreak of black pod disease in a marginal area of Ghana", en *Proceedings of the 10th International Cocoa Research Conference, Cocoa Producers' Alliance*, Santo Domingo, 1987, pp. 447-451.
- [52] P. Deberdt, V. Mfegue, P. R. Todje y M. C. Bon, "Impact of environmental factors, chemical fungicide and biological control on cacao pod production dynamics and black pod disease (*Phytophthora megakarya*) in Cameroon", *Biolog. Cont.*, vol. 44, n.º 2, pp. 149-159, feb. 2008.
- [53] J. Vanderplank, "Epidemiology of fungicidal action", en D. Torgeson, Ed., *Fungicides*. Nueva York: Academic Press, 1966, pp. 63-91.
- [54] J. Zadoks y R. Schein, *Epidemiology and plant disease management*. Nueva York: Oxford University Press, 1979.

