Capítulo 2.

Reconocimiento de síntomas y validación de estrategias para el manejo de la pudrición parda del fruto en cacao

Autores:

Eleonora Rodríguez Polanco
Edinson Bayardo Parra A.

Colaboradores:

José Dimas Segura
Paula Andrea Bermeo

Introducción

El cacao es un producto importante para la producción agrícola nacional. Participa con el 0,51 % de la producción agropecuaria nacional, equivalente a 56.867 Tm, y ocupa el 3,5 % del área cultivada con 176.050 Has (DNP, 2018). El país cuenta con condiciones agroecológicas favorables para su producción y con una calidad reconocida internacionalmente, pues es referenciado como cacao fino y de aroma. De hecho, casi la totalidad de la producción nacional es absorbida por la industria nacional de chocolates y sus derivados.

En Colombia la producción del grano de cacao se ve seriamente disminuida por el ataque de dos microorganismos patógenos que afectan directamente el fruto y causan enfermedades conocidas como Monilla (*Moniliophthora roreri*) y la pudrición parda (*Phytophthora palmivora)*, los cuales comprometen la cantidad y calidad del grano producido, y causan pérdidas superiores al 50 % (Rodríguez et al., 2005; Rodríguez, 2006).

El daño a la producción causada por la mazorca parda es significativamente mayor debido al establecimiento del cultivo en zonas que tienen altitudes superiores a los 900 msnm, en las cuales hay bajas temperaturas en la noche. Esta condición favorece la reproducción del patógeno y lo convierte en la principal limitante sanitaria, incluso mayor a la causada por Monilia (Ramírez, 2016). Esta situación agroecológica favorable a la reproducción del patógeno, unida al incremento en la siembra del clon CCN 51, considerado como el material más susceptible, incrementa aun más las pérdidas, las cuales llegan a ser incluso del 23 % en algunas regiones del país (Ramírez, 2016).

El manejo de la enfermedad basado en la remoción de frutas enfermas, principalmente en el periodo de cosecha –que es por lo regular quincenal–, puede llegar a ser ineficaz. Por ello, se deben validar y seleccionar nuevas estrategias como la aplicación de fungicidas curativos, sistémicos y potencializadores

de resistencia, a través de los cuales se puedan disminuir las pérdidas y reducir la dependencia de la mano de obra, hoy de difícil consecución en las zonas productoras. La validación de estrategias de manejo de la enfermedad, basadas en la aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas, permitirá un manejo sostenible y rentable del cultivo.

En este capítulo se presenta un amplio registro fotográfico de los síntomas de la enfermedad en el tronco, la fruta y las plántulas. Puede ser considerado como una herramienta para su oportuna y correcta identificación y complementado con los resultados de la validación de la aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas químicos, con el propósito de disminuir pérdidas e incrementar la sostenibilidad del cultivo.

La pudrición parda de la mazorca

Distribución e importancia

El agente causal de la mazorca parda más ampliamente distribuido a nivel mundial es *Phytophthora palmivora* (*P. palmivora*), aunque muchas especies del patógeno han sido identificadas como causantes de la enfermedad en diferentes regiones productoras en el mundo (Drenth y Guest, 2004). En Colombia solo se reporta la presencia de la especie *palmivora* (Rodríguez y Vera, 2015), la cual origina pérdidas cercanas al 10 %. Existe el riesgo del ingreso de la especie *megakaria*, confinada al continente africano y caracterizada por ser más agresiva o virulenta (Pokou et al., 2008). Es considerada como la principal limitante sanitaria actual para la producción de cacao, pues causa pérdidas cercanas al 30 %, lo que corresponde a 1,5 billones de dólares (IICO,2015) en la región productora del África, que proporciona el 70 % del total del grano producido en el mundo.

Etiología

El género *Phytophthora* se ubica dentro del reino Chromista (Tyler, 2001), que representa una línea evolutiva única y distante de los hongos verdaderos. Forma parte del orden de los Oomycetos, cuyas características bioquímicas y ultraestructurales los asemejan a las plantas y algas. Son microorganismos caracterizados por poseer reproducción asexual y sexual; la reproducción asexual se realiza por la germinación de estructuras inmóviles (esporangios) o móviles (zoospora), estas últimas poseen flagelos o látigos que les permiten desplazarse utilizando el agua en el suelo como medio de dispersión. En el país no existe aún el reporte de la reproducción sexual de este patógeno.

Desarrollo de síntomas y producción de signos del patógeno

Pudrición o necrosis café del fruto

La infección por *Phytophthora* puede ocurrir en cualquier parte del fruto y en cualquier etapa de su desarrollo, pero por lo general se observa en los extremos de la mazorca, área en la que se acumula más agua, y en los frutos maduros, que son los más susceptibles (McMahon y Purwantara, 2004).

La alta humedad favorece la liberación y germinación de las estructuras reproductivas del patógeno (esporangios o zoospora) y la penetración e infección del tejido (figura 94 a. y b.). Los primeros síntomas se manifiestan aproximadamente 30 horas después de ocurrida la infección, como pequeñas manchas en la superficie de los frutos de apariencia acuosa (Figura 94 c).

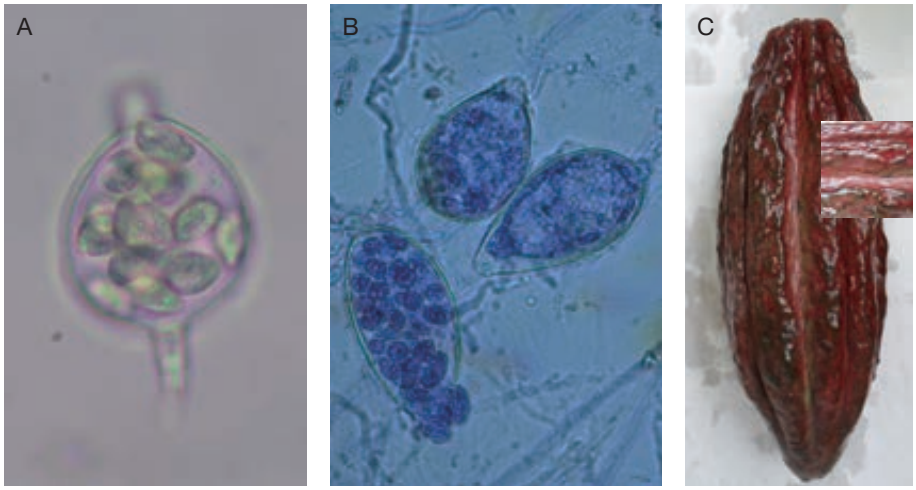


Figura 94. |
Estructuras de reproducción asexual de *P. palmivora* y primeros síntomas de la enfermedad en el fruto. a. Esporangios; b. Liberación de zoosporas producidas dentro de los esporangios; c. Síntomas iniciales: pequeñas manchas necróticas en la superficie del fruto
Fotos: Autores

En condiciones de alta humedad, generalmente en los extremos del fruto, las pequeñas manchas cafés crecen y se desarrollan rápidamente, formando una mancha o lesión necrótica de color café que se observa entre los 3 y 5 días después la aparición de los primeros síntomas (Figura 95 a y b). Cuatro días después de la aparición de la mancha sobre su superficie, se puede observar la presencia de un crecimiento pulverulento poco denso de color blanco formado por el micelio y los esporangios (signos) del patógeno (McMahon y Purwantara, 2004) (Figura 95 c).

Figura 95. |
Desarrollo de síntomas en los extremos del fruto. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se formas los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de *P. palmivora*
Fotos: Autores

La mancha o necrosis en los frutos de más de tres meses generalmente se observa en la punta o en el pedúnculo de la mazorca; aunque también es común observar en la zona central del fruto una mancha con apariencia de círculo con bordes lisos (figura 96). Investigaciones previas determinaron que el crecimiento de la mancha o necrosis es de aproximadamente 12 mm por día.

Figura 96. |
Necrosis con formato de círculo, con borde liso y bien definido. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se forman los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de *P. palmivora*
Fotos: Autores

La lesión necrótica o mancha externa avanza a la misma velocidad y con el mismo formato a nivel interno creando una lesión idéntica (figura 97). Esta característica permite diferenciarla de la mancha causada por Monilia, en la que el formato de la mancha externa es diferente del interno.

Figura 97. |
Desarrollo de la necrosis o mancha parda en el fruto. La lesión interna tiene formato idéntico a la lesión externa
Fotos: Autores

La lesión crece rápidamente y llega a cubrir la totalidad de la superficie del fruto y los tejidos internos, incluyendo los granos, en un periodo aproximado de 10 a 14 días (figura 98 a.). Las mazorcas enfermas permanecen en el árbol y continúan produciendo inóculo por un periodo de más o menos 3 años, hasta su completa momificación (pérdida de agua en los tejidos) (figura 98 b). En condiciones de alta humedad, un fruto enfermo puede llegar a producir hasta 4 millones de esporangios.

Figura 98. |
Crecimiento de la necrosis y cubrimiento total del fruto. a. Necrosis y esporulación total en el fruto; b. Fruto en constante esporulación que permanece en el árbol
Fotos: Autores

Cánceres en tejido leñoso y cojín floral

La infección por *Phytophthora* también aparece en otros órganos de la planta como tallos, ramas y chupones, donde forma lesiones cancerosas o manchas necróticas marrones con presencia de goma; de allí el nombre de gomosis. La *Phytophthora* ataca igualmente cojines florales y destruye completamente las flores (Gregory y Maddison, 1981).

Las lesiones cancerosas o manchas necróticas de color marrón rojizo se observan en la corteza del tallo principal, las ramas secundarias y el pedúnculo del fruto, y producen un exudado o goma rojiza. Al raspar la superficie de la corteza afectada, el tejido expuesto se torna acuoso y pegajoso, y en la corteza interna se observa una lesión rojiza que no penetra profundamente y no se extiende más allá del tejido del *cambium* (figuras 99 a y b; 100 a y b). Esta necrosis del tallo puede avanzar hasta rodear totalmente el tronco principal y causa la muerte súbita del árbol (Erwin y Ribeiro, 1996).

Figura 99. |
Síntomas de cáncer en el tronco. a. Lesión cancerosa o necrosis marrón en la corteza; b. Daño interno del tronco
Fotos: Autores

Figura 100. |
Síntomas de cáncer en pedúnculo. a. Lesión cancerosa que compromete el pedúnculo y el fruto; b) Daño interno de la corteza en el punto de unión del pedúnculo al tallo
Fotos: Eleonora Rodríguez P. y Edinson Bayardo Parra A.

Tizón o necrosis en plantas de propagación

En condiciones de alta humedad, el hongo ataca las plantas en etapa de vivero y origina síntomas como necrosis o tizón de la hoja, pudrición del sistema radical y del tallo principal, y causa la muerte repentina de plántulas (figura 101 a y b).

Figura 101. |
Síntomas de necrosis y muerte de plantas en hojas de plántulas. a. Lesión necrótica o tizón; b. Muerte súbita de la planta
Fotos: Eleonora Rodríguez P. y Edinson Bayardo Parra A.

Condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad

La reproducción de este microorganismo cromista es predominantemente asexual y produce esporangios sobre las lesiones o manchas, entre 3 a 5 días después de su observación. La germinación de los esporangios es favorecida por temperaturas cercanas o superiores a los 25 °C. Las temperaturas bajas, entre 15 a 20 °C, favorecen la germinación directa de las 20 a 30 zoosporas contenidas dentro cada esporangio, por lo que se pueden incrementar más de 20 veces la cantidad de unidades infectivas móviles que causan la enfermedad (Dennis et al., 1994; Erwin y Ribeiro, 1996).

La precipitación es uno de los principales factores para la ocurrencia de brotes repentinos de la enfermedad. Estos se observan de 4 a 5 días después de ocurrida una fuerte lluvia, pues el agua favorece la esporulación, la liberación y, sobre todo, la diseminación de las zoosporas, que son dispersas fácilmente por el salpique de la lluvia e infectan el tallo o los frutos, principalmente en la parte baja de la misma planta o de plantas vecinas (Luz et al., 2001).

La condición agroecológica de las zonas altas, caracterizadas por bajas temperaturas y lluvias frecuentes, favorece la liberación de las zoosporas. Este hecho, junto con la humedad del cultivo, facilitan el desarrollo de epidemias, por lo que se hace ineficiente el control de la enfermedad con las prácticas de remoción de mazorcas enfermas y raspado con cicatrización del cáncer en el tronco. La intensidad del daño puede ser aún mayor por la presencia de materiales altamente susceptibles como CCN 51 e ICS 95 (Rodríguez y Vera, 2015).

Phytophthora es un parásito facultativo, por lo que requiere de estructuras de supervivencia como clamidosporas y oosporas que le permitan subsistir en ausencia de hospederos durante largos periodos de tiempo (Widmer, 2010).

Prácticas de manejo de la enfermedad

Prácticas culturales

En la actualidad, el manejo de la pudrición parda de la mazorca está basado en la realización de prácticas de cultivo (culturales) enfocadas en disminuir la reproducción del microorganismo patógeno y modificar el ambiente dentro de la plantación para hacerlo desfavorable para su desarrollo. Dentro de las prácticas enfocadas en la disminución de la reproducción del patógeno, la más importante es la remoción total, periódica y constante de mazorcas enfermas, sobre todo en estado de mancha antes de la producción de estructuras reproductivas (esporulación). En el país esta práctica está más ligada al control de Monilia e indirectamente disminuye el daño por *Phytophthora* (Rondón y Gómez, 1993); aunque su efecto no es el esperado, ya que la remoción debe hacerse con frecuencia semanal para evitar la esporulación, que ocurre entre los tres y cuatro días después de la observación de la mancha o necrosis. La remoción semanal de frutos enfermos debe realizarse especialmente a partir de los cuatro meses de desarrollo hasta la cosecha, tiempo que corresponde a su época de mayor susceptibilidad a *P. palmivora*. La cosecha de mazorcas maduras debe hacerse de forma paralela a la remoción de las enfermas y preferentemente con frecuencia semanal.

Una vez observado el cáncer del tallo debe realizarse un raspado y cicatrización del tejido enfermo con pasta cicatrizante (10 g de Ridomil/l de agua), y repetir esta operación cada quince días después. Esta práctica disminuye la producción de nuevas estructuras infectivas del patógeno y evita la muerte del árbol.

Dentro de las prácticas encaminadas a crear un ambiente desfavorable para el establecimiento y desarrollo del patógeno están:

El manejo de la sombra y del tamaño de la copa de los árboles de cacao y de los maderables asociados, cuyo propósito es permitir la entrada de luz y el flujo de aire a través de la plantación; el control de hormigas, que contribuyen con la diseminación de *P. palmivora* en el dosel, y el plateo al árbol, que se realiza al retirar la hojarasca y las malezas del tallo principal para evitar la humedad.

Prácticas químicas

La aplicación de fungicidas para el control de la pudrición parda de la mazorca es una práctica poco común en el país. En el continente africano su utilización es necesaria para el manejo de *P. megakaria*: se emplean fungicidas a base de cobre, solos o en mezcla con metalaxil, en intervalos de tres a cuatro semanas. Si bien esta es la práctica de manejo más recomendada, el empleo que de esta hacen los pequeños productores depende directamente de la cantidad de grano producido y de su precio en el mercado, por lo que su uso no es frecuente entre ellos (Guest et al., 1994). La remoción de mazorcas enfermas con frecuencia semanal y el empleo conjunto de fungicidas ha resultado más efectivo (Vos et al., 2003; Adejumo, 2005). La evaluación de moléculas de última generación de acción sistémica como el ácido fosforoso y con comprobada efectividad en oomycetos se vislumbra como una estrategia disponible y efectiva en el futuro.

Las lesiones o cáncer del tronco pueden ser tratados raspando el área de la lesión y aplicando una pasta cicatrizante (10 g de ridomil /l de agua o metalaxil® al 0,25 %). La inyección anual al tronco con una sal inorgánica de fosfonato de potasio ha sido eficiente en la reducción de cánceres ocasionados por *P. palmivora* y. *P. megakarya* en los países productores de África (Guest et al., 1994; Opoku et al., 2007).

Los oomycetes no son hongos verdaderos, por lo que tienen rutas metabólicas diferentes; además, como no sintetizan esteroles, un amplio grupo de fungicidas que interrumpen la biosíntesis del ergosterol no tiene efecto sobre ellos. Este grupo de microorganismos tienen una extraordinaria flexibilidad genética, lo que les permite adaptarse rápidamente, desarrollar resistencia a fungicidas y superar los mecanismos de resistencia genética en plantas. La resistencia al metalaxyl fungicida, ampliamente utilizado en su control, ya ha sido observada en varias especies de oomycetes, entre estos *Phytophthora* (Tyler, 2001).

Prácticas biológicas

La utilización de microorganismos antagonistas (competidores) endófitos nativos con ventajas de adaptación y persistencia dentro de un esquema de manejo integrado de la enfermedad permite disminuir su daño. Se ha observado la supresión del crecimiento de *Phytophthora* por el empleo de *Trichoderma* spp., *Penicillium funiculosum*, *Gliocladium* spp. y *Chaetomium globosum* en bioensayos de laboratorio y campo (Drenth y Guest, 2004). Se ha reportado alta sensibilidad de *P. palmivora* a la mezcla de microrganismos, dentro de los cuales está *Trichoderma* spp (Krauss et al., 2001).

Prácticas de empleo de material resistente

Los genotipos amelonado tipo alto y bajo amazonas han mostrado ser menos susceptibles a *Phytophthora* que los materiales trinitarios, por lo que son empleados en programas de mejoramiento genético. Dentro de los materiales colectados por Pound en 1943, en el alto Amazonas peruano, se han identificado los genotipos scavina 1, scavina 6 y scavina 12 como plantas resistentes. El scavina 6 es considerado hasta hoy como el más resistente, incluso más que las variedades Catongo e ICS 1 (Iwaro et al., 1997; Tahi et al., 2000).

Validación de estrategias para el manejo integrado de la pudrición parda del fruto

Selección de fungicidas

Con el propósito de determinar el efecto de las moléculas de síntesis química en el control de *Phytophthora* en cacao, se inició una revisión bibliográfica de los productos utilizados a nivel mundial y sus resultados en el control de este patógeno en diferentes sistemas productivos. Por ello, se seleccionaron moléculas con diferente modo y mecanismo de acción para su evaluación en bioensayos en frutos de los clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51, en plantaciones comerciales.

En lotes comerciales de cacao se seleccionaron frutos de aproximadamente dos meses de desarrollo, los cuales fueron embolsados con el propósito de garantizar su sanidad e inoculados (infectados artificialmente) cuando alcanzaron los cuatro meses de desarrollo en la región central del fruto, de acuerdo con la metodología de Phillips y Galindo (1989) (figuras 102a, b, c y d). Una vez inoculado el fruto, se garantizó la infección al colocar una servilleta humedecida dentro de la bolsa que dos días después fue retirada. La bolsa plástica permaneció durante todo el ensayo para evitar riesgos de dispersión del patógeno en el lote.

Los ensayos fueron establecidos en los clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51. Se evaluaron dos fungicidas preventivos (contacto), tres curativos (sistémicos) y un inductor de resistencia (tabla 2). 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 (SiO_2) 25 %, potasio (K_2O) 12 % y T10: testigo absoluto inoculado.). 15 frutos fueron inoculados por tratamiento.

Tabla 2. | Productos químicos evaluados para el control de *Phytophthora palmivora* en bioensayos en frutos, clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51

Modo de acción	Nombre comercial		Dosis litro
Preventivo	manzate 200 WP	mancozeb	2,5 gramos
Preventivo	antrasin P.C.	sulfato de Cu+Sulfato de Ca	3 gramos
Curativo	agrifos 400 SL	fosfito mono y dipotásico	5 mililitros
Curativo	fosetal 80 WP	fosetyl-Al	5 gramos
Curativo	prevalor	fosetyl-Al + Propamocarb	2,5 mililitros
Inductor de resistencia	silikum	silicatos de potasio	5 mililitros

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los tratamientos de tipo preventivo, se realizó la aplicación del producto y dos días después se realizó la inoculación con *P. palmivora*. Para los ensayos curativos, la metodología fue opuesta, se realizó la inoculación y dos días después la aplicación del producto químico. Para el inductor de resistencia, la aplicación fue realizada cuando el fruto tenía dos meses de desarrollo y seis semanas después se realizó la inoculación. En el caso de la aplicación de los productos químicos a los frutos, se empleó un atomizador plástico y fueron utilizadas las dosis comerciales recomendadas en la etiqueta del producto (tabla 2).

Dos días después de la inoculación y/o aplicación, se inició la toma de datos que comprendía la verificación de la infección, o no, y las medidas del diámetro de la lesión (figura 102 d). Estas lecturas continuaron hasta el octavo día.

Figura 102. |
Proceso de inoculación y desarrollo de síntomas de *P. palmivora* en frutos de cacao. a. Selección y embolsado de frutos; b. Aplicación de productos químicos; c. Inoculación de frutos mediante la técnica del disco de papel; d. Síntoma de necrosis
Fotos: Autores

Una vez finalizado el ensayo, se obtuvo la incidencia por cada tratamiento mediante la fórmula:

Incidencia = (número de frutos afectados/número de frutos inoculados) *100

La severidad o tamaño de la lesión fue calculada empleando la fórmula de la elipse (ya que la lesión se asemejó a este formato).

Área de lesión = a * b * π

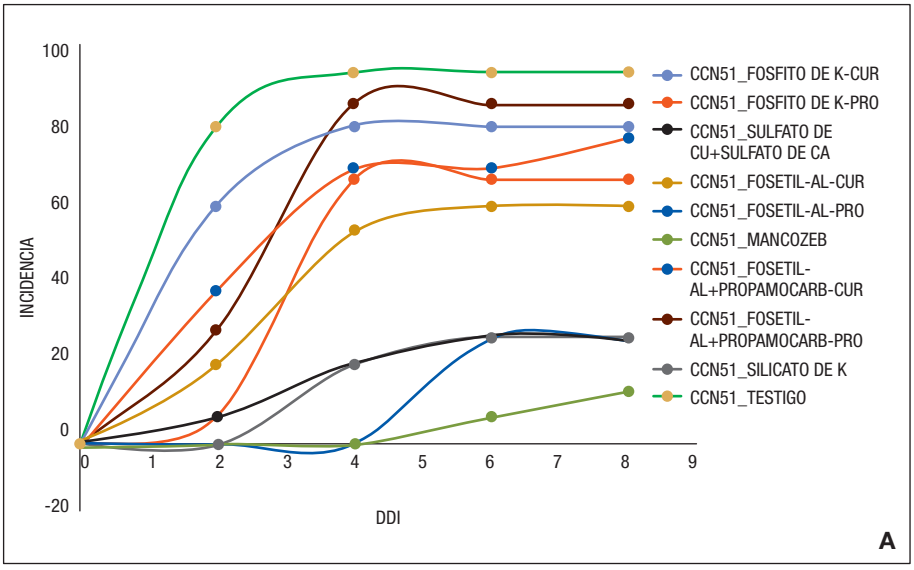
Donde a=semieje de la medida “largo” de la lesión y b=semieje de la medida “ancho” de la lesión.

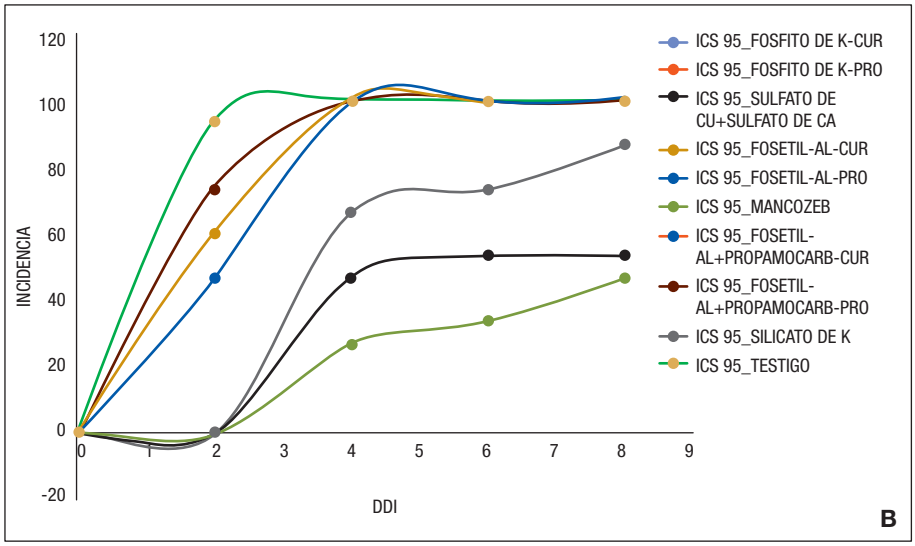
Los análisis estadísticos de los datos de incidencia y severidad se hicieron empleando Anava y diferencias entre tratamientos establecidas por la prueba LSD-Fisher (P>0.05).

Los resultados de este experimento indicaron que la aparición de síntomas ocurrió entre los dos y 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 (manzate y antrasín) presentaron los valores más bajos de incidencia al 8 DDI en los tres clones. Un comportamiento similar fue observado para el silicato de potasio (K_2SiO_3) (figuras 103 a, b y c). Se indica así 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, como se muestra en las figuras 103 a, b y c.





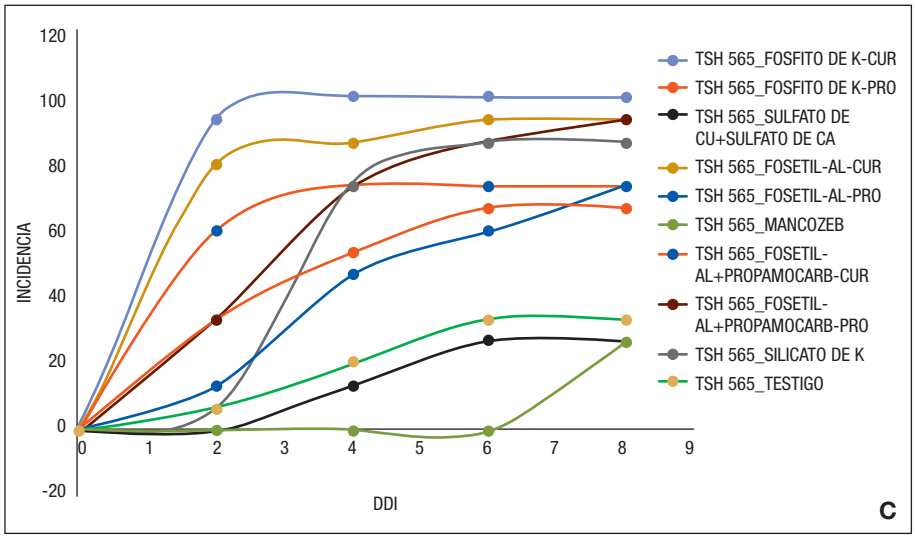


Figura 103. |
Comportamiento de la incidencia de *P. palmivora* en frutos de cacao. a. Clon CCN 51; b. Clon ICS 95; c. Clon TSH 565
Fuente: Elaboración propia

El promedio del diámetro de la lesión para todos los tratamientos evaluados presentó el valor más alto en el clon CCN 51 con 79,40 cm, seguido por el clon ICS95 con 73,64 cm; este resultado mostró la alta susceptibilidad del ICS 95 a *P. palmivora*, ya que el desarrollo de la lesión fue similar a CCN 51 (tabla 3).

Tabla 3. |
Promedio del área de la lesión en frutos de tres clones de cacao inoculados con *P. palmivora* y con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio

Clon	Área de la lesión (cm^2) *
CCN 51	79,40 a
ICS 95	73,64 a
TSH 565	54,13 b

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.

Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación de manzate, silicato de potasio y antrasin se obtuvieron los valores más bajos en el promedio del diámetro de la lesión con 33,75 cm, 37,54 cm y 59,77 cm (tabla 4). Dentro de los fungicidas curativos el fosetal exhibió el mayor efecto curativo al presentar el valor más bajo del promedio del diámetro de la lesión y resultó superior en un 42 % en comparación con manzate (tabla 4).

Tabla 4. |
Promedio del área de la lesión en frutos de cacao de tres de sus clones con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio, e inoculados artificialmente con *P. palmivora*

Tratamiento	Área de la lesión (cm^2) *
T1: Mancozeb	33,75 a
T9: Silicio (SiO_2) 25 %, Potasio (K_2O) 12 %	37,64 a
T2: Sulfato de Cu 21 % + Sulfato de Ca 18 %	59,77 ab
T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo	78,90 ab
T4: Fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo	81,40 ab
T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo	84,86 b
T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53%- preventivo	129,17 c

Continuación Tabla 4

Tratamiento	Área de la lesión (cm^2) *
T3: Fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo	135,83 c
T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo	137,93 c
T10: testigo absoluto inoculado.	158,34 c

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.
Fuente: Elaboración propia.

Validación de la aplicación conjunta de la remoción de frutos enfermos y fungicidas

Con el propósito de evaluar el efecto de diferentes frecuencias de remoción de frutas enfermas y la aplicación de fungicidas previamente seleccionados por su mecanismo preventivo, curativo y un potencializador de resistencia, se establecieron dos ensayos experimentales en lotes comerciales de CCN 51, ubicados en el departamento del Tolima, municipio de Palocabildo, vereda El reposo, y las fincas La fortuna y El fresnito.

El diseño de los tratamientos consideró el ciclo de la enfermedad, la época de mayor susceptibilidad del fruto y el mecanismo de acción de los fungicidas. Cuatro tratamientos fueron diseñados de acuerdo con la frecuencia de remoción de frutos enfermos y el tipo de manejo al cultivo, donde T1: MT (manejo tradicional-remoción ocasional de frutos enfermos); T2: MIC 7 (manejo integrado del cultivo-remoción de frutos enfermos cada 7 días); T3: MIC 14 y T4: MIC 21. Cada tratamiento contó con 16 árboles o repeticiones.

El MT incluyó la realización de prácticas como: control mecánico de arvenses, adecuación de drenajes y eliminación mecánica de renuevos. El MIC del cultivo incluyó las practicas empleadas en MT más la poda, purga (eliminación total de frutos en periodo de baja producción), aplicación del inductor de resistencia, fungicida protectante y curativo, más la frecuencia de remoción de cada uno de los tratamientos.

Los fungicidas y el potencializador de resistencia fueron aplicados de acuerdo con la edad del fruto y su mecanismo de acción, asperjando el potencializador cuando el fruto inicia su desarrollo, el preventivo cuando está terminando su máximo crecimiento y el curativo iniciando la maduración, que corresponde al estado de mayor susceptibilidad del fruto (tabla 5).

Tabla 5. |
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

Orden de aplicación	Edad del fruto (meses)	Producto químico	Dosis (en 20 l de agua)
1	2	silicato de potasio	100 ml
2	3,5	manzate (i.a. Mancozeb.)	50 g
3	4	fosetal (i.a. Fosetyl-Al)	100 g

Fuente: Elaboración propia.

Los productos químicos fueron aplicados con fumigadora a motor Stihl SR 450, para garantizar el máximo cubrimiento de los frutos. Agrotin SL fue adicionado a la mezcla como regulador de pH, y como adherente y dispersante a razón de 1 ml/l de agua.

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: 0-2 meses, 2 a 4 meses, y mayores de 4 meses; los frutos enfermos fueron retirados del árbol. La producción de cada tratamiento fue estimada de acuerdo con el registro de los frutos cosechados por árbol y extrapolada a kilos de cacao seco por Ha con 1.100 árboles. La incidencia fue calculada de forma similar a la empleada en el ensayo de preselección de moléculas químicas.

El análisis estadístico de los datos de incidencia se realizó empleando Anava y diferencias entre tratamientos establecidas por la prueba Tukey (P>0,05).

Los resultados de este experimento mostraron la incidencia más alta en los tratamientos MT y MIC 21 con 21,51 % y 20,64 %, respectivamente. Con ellos se indicó que los intervalos de remoción de frutos enfermos cada 21 días, incluso con aplicación de productos químicos, permiten la esporulación del hongo en la fruta con producción de propágulos infeccioso (esporangios o zoosporos), el cual puede causar nuevas infecciones (figura 104).

La incidencia menor y estadísticamente igual fue encontrada en los tratamientos MIC 7 y MIC 14, indicando que la aplicación de productos permite la remoción de frutos enfermos cada 14 días, ya que reduce la producción de propágulos infecciosos (figura 104).

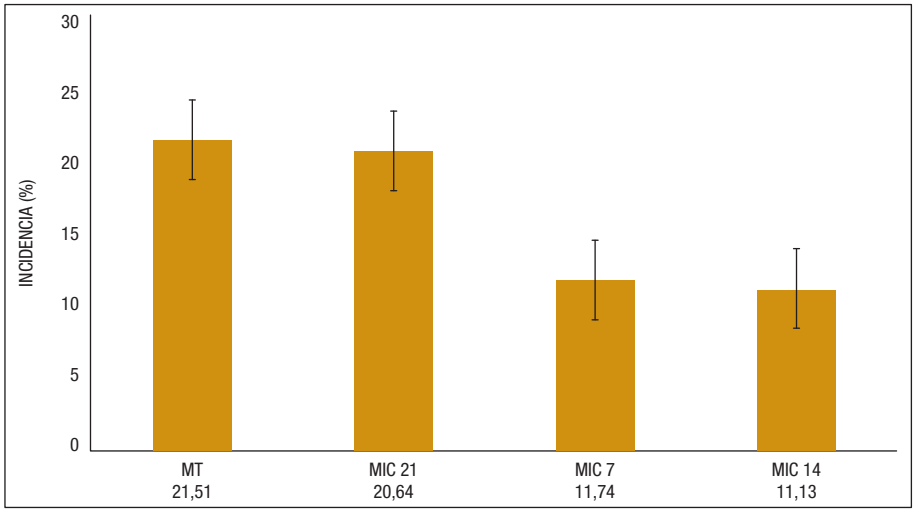


Figura 104. |
Incidencia en los tratamientos MT y MIC de *P. palmivora* en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21
Fuente: Elaboración propia.

Los valores de producción en kg de cacao seco/ha 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 (tabla 6).

Tabla 6. |
Producción estimada en kilogramos de cacao seco/Ha, en los tratamientos MT y MIC de *P. palmivora* en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21

Tratamiento	Frutos cosechados (16 árboles) *	Kg grano seco (16 árboles)	Kg grano seco (hectárea)
MT	360	18	1237,50
MIC 7	473	23,65	1625,90
MIC 14	385	19,25	1323,40
MIC 21	180	9	618,80

*Frutos cosechados: número.

Fuente: Elaboración propia

Para la realización del análisis económico se tuvo en cuenta que los gastos generados por la aplicación de los diferentes esquemas de manejo difirieron únicamente en la mano de obra utilizada para la remoción de frutos enfermos. Los precios de los productos aplicados correspondieron al precio de mercado. El costo de mano de obra en la zona donde se realizó la investigación fue de $ 50.000 jornal. La remoción de mazorcas enfermas inició cuando la cosecha estaba cuajada (frutos de aproximadamente dos meses de edad) hasta la cosecha de casi la totalidad de los frutos (5 meses después). Un jornal /ha fue empleado en la remoción de frutos enfermos por ha; 12 jornales fueron empleados en remoción semanal; 6 en remoción quincenal y 4 en remoción cada tres semanas. Los gastos empleados para los MIC 7, MIC 14 y MIC 21 días se presentan en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7. |

Gastos de implementación del MIC 7, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/ aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de mazorcas enfermas	1 jornal/ poda	12	50.000	600.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/ poda	4	50.000	200.000
Silikum (Presentación 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				**1.096.150**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. |

Gastos de implementación del MIC 14, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/ aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de frutos enfermos	1 jornal/ poda	6	50.000	300.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/ poda	4	50.000	200.000
Silikum (presentación de 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				**796.150**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. |
Gastos de implementación del MIC 21, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/ aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de frutos enfermos	1 jornal/ poda	4	50.000	200.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/ poda	4	50.000	200.000
Silikum (presentación 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				**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 de cada tratamiento MIC fueron restados a los kg de cacao seco/ha de MT. La ganancia o pérdida neta con relación al MT fue calculada al multiplicar la producción por el precio actual de mercado del grano (COP$ 4.970) y restar los gastos en cada tratamiento de MIC (tabla 10).

Tabla 10. |
Ganancias/pérdidas en los tratamientos MT y MIC para el control de *P. palmivora* en el clon CCN 51, fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima). Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14, y T4: MIC 21

Tratamiento	Ganancia/pérdida de producción (kg/ha)	Ganancia/ pérdida en pesos $ (valor actual)	Gastos ($)	Ganancia/ pérdida Neta ($)
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.

Solamente el MIC 7 presentó ganancia ($ 834 384) con relación al MT, al presentar un incremento de 388,4 Kg/ha con relación a este tratamiento. Aunque el MIC 14 produjo 85,9 kg/ha más que el MT, estos resultaron insuficientes para compensar los gastos por insumos y mano de obra, con lo que se evidenció una pérdida de $369.041 con relación a este tratamiento.

En conclusión, nuestros resultados indican que la práctica de remoción de mazorcas debe realizarse cada 7 días, ya que las remociones realizadas cada 14 días permiten la esporulación de las frutas y la producción de propágulos infecciosos que no alcanzan a ser controlados con la aplicación de productos químicos. Se espera que la permanencia en el tiempo de la práctica de remoción de frutas enfermas cada 7 días permita la reducción paulatina de inóculo infectivo, de tal manera que el MIC 14 llegue a ser rentable.

Referencias

Adejumo, T. O. (2005). Crop protection strategies for major diseases of cocoa, coffee and cashew in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 4 (2):143-150.

Andreu, A. B., & Caldiz, D. O. (2006). Early management of late blight (*Phytophthora infestans*) by using systemic fungicides applied to seed-potato tubers. *Crop Protection* 25, 281-286. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.05.002

Dennis, J. J. C., & Konam, J. K. (1994). *Phytophthora* palmivora: Cultural control methods and their relationship to disease epidemiology on cocoa in PNG. In: *Proceedings of the 11th International Cocoa Research Conference* (pp. 953-957). Cocoa Producers Alliance.

Dercks, W., & Buchenauer H. (1987). Comparative studies on the mode of action of aluminium ethyl phosphite in four Phytophthora species. *Crop Protection*, 6, 82-89. https://doi.org/10.1016/0261-2194(87)90104-9

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2018). Estudios sobre bioeconomía. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf

Drenth, A., & Guest, D. I. (2004). *Phytophthora* in the tropics. In A. Drenth & D. I. Guest (Eds.), *Diversity and Management of Phytophthora in Southeast Asia*. *Aciar Monograph*, 114, 238.

Elliott, M., Shamoun, S. F. & Sumampong, G. (2015). Effects of systemic and contact fungicides on life stages and symptom expression of *Phytophthora ramorum* in vitro and in planta. *Crop Protection* 67, 136-144. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.008. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.008

Erwin, D. C., & Ribeiro, O. K. (Eds). (1996). Phytophthora Diseases Worldwide. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Feng, M. J., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science* 20(7), 1360-1385. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007

Guest, D. I., Anderson, R. D., Foard, H. J., Phillips, D., Worboys, S., & Middleton, R. M. (1994). Long-term control of *Phytophthora* diseases of cocoa using trunk-injected phosphonate. *Plant Pathology*, 43, 479-492. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x

Gregory, P. H., & Maddison, A. C. (1981). *Epidemiology of Phytophthora on Cocoa in Nigeria*. CAB International.

Guével, M. H., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2007). Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Plant Pathology*, 119, 429-436. https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619

Internacional Cocoa Organization (ICCO) (2015). Production of cocoa beans, ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics 41(2). http://www.icco.org/statistics/

Iwaro, A. D., Sreenivasan, T.N. & Umaharan, P. (1997). Foliar resistance to *Phytophthora palmivora* as an indicator of pod resistance in *Theobroma cacao*. *Plant Dis*, 81 (2): 619-624. https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PDIS.1997.81.6.619. https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619

Jiang, J. (1990). Alterations in the host-parasite interface between Phytophthora infestans and tomato leaf cells after treatment with fosetyl-A1. *Plant Science*, 71 (2): 267-276. https://doi.org/10.1016/0168-9452(90)90017-I

Krauss, U., & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological Control*, 22(2), 149-158. https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0956

Pegg, K. G., Whiley, A.W., Saranah, J.N., & Glass, R. J. (1985). Control of *Phytophthora* root rot of avocado with phosphorous acid. *Australian Plant Pathology*,14, 25-29. https://doi.org/10.1071/APP9850025

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. Colombia. *Revista de Protección Vegetal, 31*(1), 42–49.

Rodriguez, L., Mujica, J., & Cubillos, G. (2005). *Manejo integrado de la moniliasis del cacao*. *Corpoica*. Litografía La Bastilla Ltda.

Rodríguez, E. (2006). Técnica de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Rev Corpoica*, 4, 68-78.

Rodríguez, E., & Vera A. (2015). *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (Phytophthora sp.) en cacao*. Corpoica.

McMahon, P., & Purwantara, A. (2004). Diversity and management of cocoa in Asia: *Phytophthora* on cocoa. In Drenth, A., & Guest, D.I. (Eds). *Diversity and management of Phytophthora in southeast Asia* (pp.104-115). Aciar, Monograph, 114.

Luz, E. D., Santos, A.F., Matsuoka, K., & Bezerra, J. L. (2001). *Doenças causadas por Phytophthora no Brasil.* Livraria e Editora Rural Ltda.

Opoku, I.Y., Akrofi, A.Y., & Appiah, A.A. (2007). 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. *Plant Pathology*, 117, 167-175. https://doi.org/10.1007/s10658-006-9082-8

Phillips-Mora, W., & Galindo, J.J. (1989). Métodos de inoculación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao (*Theobroma cacao*). *Turrialba*, *39*(4), 488-496.

Pokou, N., Goran, J., Kebe, I., Eskes, A., Tahi, M., & Sangare, A. (2008). Levels of resistance to *Phytophthora* pod rot in cocoa accessions selected on-farm in Côte d'Ivoire. *Crop Protection*, *27*, 302-330. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.07.012

Rondón, G., & Gómez, R. (1993). Manejo productivo de plantaciones de cacao. *Boletín de Sanidad* nº 3.

Tahi, G. M., Kébe, I., Eskes, A.B., Ouattara, S., Sangare, A., & Mondeil, F. (2000). Rapid screening of cacao genotypes for field resistance to *Phytophthora palmivora* using leaves, twigs and roots. *European Journal of Plant Pathology*, 106, 87-94. https://doi.org/10.1023/A:1008747800191

Tesfagiorgis, H., & Annegarn, H. (2013). Evaluation of adjuvants for enhanced management of Podosphaera xanthiiusing potassium silicate and biocontrol agents. *Crop Protection*, 48, 69-75. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.03.002

Tey, C., & Wood, R. (1983). Effects of varios fingicides in vitro on *Phytophthora palmivora* from cocoa. *Transactions of the British Society* 80, 271- 282. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(83)80010-2

Tyler, B. (2001). Genetics and genomics of the oomycete-host interface. *Trends in Genetics* 17, 611-614. https://doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02517-3

Vawdrey, L., Westerhuis, D. (2007). Field and glasshouseevaluations of metalaxyl, potassium phosphonate, acibenzolar and tea tree oil in managing *Phytophthora* root rot of papaya in far northern Queensland, Australia. *Australian Plant Pathology*, 29, 46-51. https://doi.org/10.1071/AP07016

Vos, J., Ritchie, B., & Flood, J. (2003). *Discovery learning about cocoa: an inspiration guide for training facilitators*. http://www.worldcocoafoundation.org/Library/Documents/ cabi_cocoa_manual_2003%20.pdf

Wicks, T.J., & Hall, B. (1988). Preliminary evaluation of phosphorous acid, fosetyl-Al and metalaxyl for controlling *Phytophthora cambivora* on almond and cherry. *CropProtection*,7,314-318.https://doi.org/10.1016/0261-2194(88)90078-6

Widmer, T. (2010). *Phytophthora kernoviae oospora* maturity, germination and infection. *Fungal Biology*, 114, 661-668. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.06.001