



UTEQ
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO

POLISULFURO DE CALCIO EN EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51

WELINGTON DAMIÁN GUERRA FERNÁNDEZ
FAVIO EDUARDO HERRERA EGUEZ


EDICIONES
GESICAP

POLISULFURO DE CALCIO EN EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51

WELINGTON DAMIÁN GUERRA FERNÁNDEZ
FAVIO EDUARDO HERRERA EGUEZ



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS:

© Ediciones GESICAP y Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador; Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT) 2022. Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros que no sean comerciales sin permiso escrito previo detentar el derecho de autor, mencionando la cita.

© Wellington Damián Guerra Fernández

© Favio Eduardo Herrera Eguez

© Editorial: Ediciones GESICAP

El Carmen, Manabí, Ecuador

www.gesicap.com

© Universidad Técnica Estatal de Quevedo UTEQ

Quevedo, Ecuador.

www.uteq.edu.ec.

ISBN: 978-9942-626-05-9

Depósito Legal:

1ra Edición: Ediciones Gesticap, Calle 24 de julio y Ave 3 de julio, El Carmen Manabí Ecuador.

Copyright © Diciembre 2022.

COMO CITAR ESTE LIBRO:

Guerra-Fernández, W.D y Herrera-Eguez, F.E. 2022. Polisulfuro de calcio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao CCN-51”. Ediciones GESICAP, Ecuador, 55 pp.

EQUIPO EDITORIAL:

Edición y Diagramación: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández

Revisión y Corrección: Yosbel Lazo Roger.

Diseño de cubierta: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández

Imagen de Cubierta: Pixabay.com

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar presente en cada momento de mi vida, por haberme brindado la fuerza sabiduría y paciencia para poder terminar una de las metas más anheladas por mí y toda mi familia.

A mis padres, por haberme brindado ese apoyo incondicional, por ser ese ejemplo a seguir y ser mi pilar fundamental a lo largo de toda mi carrera profesional.

A mis abuelos Eliecer Guerra y Carmen Hidalgo por creer en mí y en mis capacidades, por todo ese cariño y apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mi esposa e hija por estar a mi lado en cada momento, por ser esa motivación y razón de superación personal.

A Ing. Favio Herrera Eguez, PhD. Por haberme brindado la oportunidad de trabajar con él y compartir grandes enseñanzas que ayudaron a culminar este proceso.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por darme la oportunidad de estudiar en ella y así poder llegar a alcanzar esta meta importante en mi vida.

Ing. Welington Damián Guerra Fernández

DEDICATORIA

Este presente proyecto de investigación está dedicado a Dios padre celestial todo poderoso por darme esa fortaleza y ayudarme a no rendirme en los momentos más difíciles, por brindarme la sabiduría para poder resolver los problemas de la mejor manera posible.

A mis padres Welington Guerra y Amada Fernández quienes me inculcaron buenos principios para caminar siempre por el lado correcto y hacerme saber que siempre contaré con su apoyo.

A mi esposa e hija quienes son mi impulso y motivación diaria para ser una mejor persona llena de éxitos y darles lo mejor siempre.

Ing. Welington Damián Guerra Fernández

ÍNDICE

Agradecimientos / v
Dedicatoria / vii
Índice / viii
Índice de tablas / x
Índice de figuras / x
I. / INTRODUCCIÓN / 1
1.1. / Problema / 5
1.2. / Hipótesis / 5
1.3. / Objetivos / 5
1.3.1. / General / 5
1.3.2. / Específicos / 5
II. / MARCO TEÓRICO / 7
2.1. / Generalidades del cultivo de cacao / 9
2.2. / Moniliasis en cacao / 10
2.2.1. / Origen / 10
2.2.2. / Taxonomía / 10
2.2.3. / Morfología / 11
2.2.4. / Hospederos / 11
2.2.5. / Ciclo de vida / 12
2.2.6. / Sintomatología / 12
2.2.7. / Impacto económico / 13
2.2.7.1. / Control cultural / 14
2.2.7.2. / Control biológico / 15
2.2.7.3. / Control químico / 16
2.3. / Mazorca negra en cacao / 16
2.3.1. / Origen / 16
2.3.2. / Taxonomía / 17
2.3.3. / Morfología / 17
2.3.4. / Hospederos / 18
2.3.5. / Ciclo de vida / 18
2.3.6. / Sintomatología / 18
2.3.7. / Impacto económico / 19

2.3.8.	/ Métodos de control	/ 19
2.3.8.1.	/ Control cultural	/ 19
2.3.8.2.	/ Control biológico	/ 20
2.3.8.3.	/ Control químico	/ 20
2.4.	/ Resistencia de los patógenos ante los fungicidas	/ 20
2.5.	/ Uso de polisulfuro de calcio en la agricultura	/ 21
III.	/ MATERIALES Y MÉTODOS	/ 27
3.1.	/ Localización de la investigación	/ 29
3.2.	/ Tratamientos evaluados	/ 29
3.3.	/ Diseño experimental y análisis estadístico	/ 29
3.4.	/ Manejo del experimento	/ 30
3.4.1.	/ Control de malezas	/ 30
3.4.2.	/ Fertilización	/ 30
3.4.3.	/ Elaboración del polisulfuro de calcio	/ 30
3.4.4.	/ Control fitosanitario	/ 30
3.4.5.	/ Riego	/ 30
3.4.6.	/ Cosecha	/ 31
3.5.	/ Variables evaluadas	/ 31
3.5.1.	/ Número de mazorcas por planta	/ 31
3.5.2.	/ Chereles sanos y enfermos	/ 31
3.5.3.	/ Peso de las almendras (g)	/ 31
3.5.4.	/ Número de almendras por mazorca	/ 31
3.5.5.	/ Peso de 100 almendras (g)	/ 32
3.5.6.	/ Severidad (%)	/ 32
3.5.7.	/ Rendimiento (kg)	/ 32
3.5.8.	/ Análisis económico	/ 32
IV.	/ RESULTADOS Y DISCUSIÓN	/ 33
4.1.	/ Variables agronómicas	/ 35
4.2.	/ Severidad de las enfermedades	/ 37
4.3.	/ Análisis económico	/ 38
V.	/ DISCUSIÓN	/ 39
VI.	/ CONCLUSIONES	/ 45
VII.	/ RECOMENDACIONES	/ 46
VIII.	/ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	/ 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Severidad de *M. royeri* en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas (Tukey: $p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar / 37

Figura 2. Severidad de *Phytophthora* spp. en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor / 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la evaluación de las variables agronómicas en el cultivo de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio. / 36

Tabla 2. Análisis económico del rendimiento del cultivo de cacao CCN-51 en respuesta al manejo fitosanitario a base de la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio / 39

INTRODUCCIÓN

La explotación de cacao en Ecuador, involucra aproximadamente a 100 000 familias de pequeños y medianos productores. Se estima que la superficie cultivada de cacao es de aproximadamente de 500 000 hectáreas. El cacao se produce en 16 de las 24 provincias ecuatoriana y la producción se concentra considerablemente en las provincias del Litoral, Amazonía y aquellas que se encuentran en las estribaciones de la cordillera de Los Andes (Paredes, 2016). El área productiva de cacao en el país, se distribuye en gran parte en 35% en Los Ríos, 25% en Guayas, 14% en Manabí y 8% en Esmeraldas. El porcentaje restante corresponde a las provincias de El Oro, Bolívar, Cotopaxi y Pichincha (Abad *et al.*, 2021).

El clon CCN-51 es uno de los de mayor superficie sembrada (Abad *et al.*, 2021). Este clon presenta ventajas respecto a otros clones como: rendimiento, resistencia a enfermedades, precocidad, plantas de baja estatura, buenos índices de mazorca y semillas por mazorca, entre otros (Ramírez-Gil, 2016). Sin embargo, no está exento del ataque de enfermedades fúngicas que pueden llegar a mermar significativamente su producción (Jaimes & Aranzazu, 2010). Entre las enfermedades fúngicas que tienen mayor impacto en el cultivo de cacao se tiene a la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y a la mazorca negra (*Phytophthora spp.*) (Pesantez, 2021). El potencial de daño de ambas enfermedades está asociado a regiones y a condiciones biofísicas específicas (Ramírez-Gil, 2016), principalmente a regiones tropicales con climas cálidos y de alta pluviosidad. Para su manejo, los productores realizan, básicamente, labores culturales como la poda de los árboles y la remoción de frutos enfermos (Ochoa-Fonseca *et al.*, 2017).

La aplicación de fungicidas no es una práctica ampliamente adoptada debido al alto costo de los productos o a su baja efectividad (Corredor-Camargo *et al.*, 2017). Una de las alternativas para disminuir el uso de los agroquímicos es buscar productos alternativos que promuevan la seguridad

ambiental y social. Entre estas alternativas se tiene al polisulfuro el cual tiene la capacidad de penetrar el micelio del hongo afectando el complejo respiratorio resultando tóxico para el mismo (Paredes, 2016). Es por ello que llama la atención su evaluación para reconocer los beneficios para el manejo de las mencionadas enfermedades en el cultivo de cacao.



CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PROBLEMA

El cultivo de cacao en el Ecuador presenta serios problemas productivos debidos principalmente al ataque de plagas y enfermedades (Onofre, 2016). Las más representativas la moniliasis (*M. roreri*) y la mazorca negra (*Phytophthora spp.*). Estas enfermedades pueden llegar a causar pérdidas estimadas entre el 50% y el 80% de la producción total anual, dependiendo de las condiciones del medioambiente (Ramírez-Gil, 2016). El desconocimiento sobre cómo controlar las diferentes enfermedades que atacan al fruto de cacao, que métodos usar o que producto aplicar se ha convertido en un problema importante en la zona. Por esto es preponderante identificar aquellas basadas en la disminución del impacto en el medioambiente, salvaguardando la sostenibilidad de los sistemas productivos.

1.2. HIPÓTESIS

La aplicación de polisulfuro de calcio como método preventivo durante las diferentes épocas de fructificación ayuda a disminuir la propagación de enfermedades fungosas en el cultivo de cacao.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Establecer la respuesta de productiva del cultivo de cacao a la aplicación de distintas dosis de polisulfuro de calcio
- Determinar el efecto de tres dosis de polisulfuro de calcio para el control de severidad de *Moniliphthora roreri* y *Phytophthora spp.* en mazorcas de cacao.
- Valorar económicamente los tratamientos en estudio.

The cover features a close-up photograph of various vegetables, including a large green zucchini, a red and yellow bell pepper, and a yellow squash. The background is softly blurred, showing what appears to be a market stall with a striped awning. The design is accented with geometric shapes: a green triangle in the top right corner, a yellow triangle in the bottom left corner, and a white triangle in the bottom right corner.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE CACAO

En el Ecuador, a inicios de los años 1600 ya en ese entonces había pequeñas plantaciones de árboles de cacao a orillas del río Guayas. Estas se esparcieron a lo largo del afluente de Babahoyo y de Daule, lo que originó el nombre de “cacao arriba” en los mercados internacionales. El cacao en la variedad nacional se reconoce por tener una fermentación corta que como resultado se obtiene un chocolate de buen sabor y aroma. De esta manera el país fue convirtiéndose en productor de cacao arriba y reconocido mundialmente por su aroma floral y es netamente producido por Ecuador y adquiere el nombre de cacao nacional y hoy se sabe que es originario de los árboles forasteros amazónicos (García, 2014).

El cultivo de cacao en el Ecuador cumple un rol muy importante en el sector económico y social. Es la principal materia prima de muchas industrias locales generando así fuente de empleo y divisas para el país. Ecuador se caracteriza por ser el mayor proveedor de cacao fino de aroma a nivel mundial donde el 75 % se utiliza para la producir chocolates finos y de aroma (Vasco *et al.*(2004).

La producción de cacao está localizada en 23 de las 24 provincias y se produce como monocultivo o asociado con otras especies. La mayor concentración del cultivo de cacao se encuentra en las provincias del Litoral “Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro”, en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes “Bolívar, Chimborazo, Cañar y Azuay” y en las provincias del nororiente del Ecuador “Sucumbíos, Orellana y Napo” (Barrera *et al.*,(2019).

El mayor exportador mundial de cacao fue Ecuador durante el período 1880 – 1915. Esto cambió debido al ataque de dos enfermedades conocidas como la *monilia* (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*). Entre 1915 y 1930 la producción disminuyó en un 63% (Quingáisa, 2007). Sin embargo, después de la crisis ocasionada por las enfermedades, la producción de cacao ha experimentado una recuperación notable con la siembra de materiales resistentes, especialmente a la escoba de bruja, dentro de los que destaca nítidamente el clon del híbrido denominado CCN-51 (Colección Castro Naranjal) desarrollado en el año 1960 por Homero Castro Zurita, en su finca “Theobroma” localizada en Naranjal, cuyas primeras plantas fueron sembradas en la Hacienda “Sofía” de Naranjal y de propiedad del Sr. César Amador Baquerizo (Carrión, 2012).

El Ecuador ha basado su producción en un tipo de cacao denominado

Nacional, gracias al cual es el principal proveedor de cacao fino de aroma a nivel mundial. Sin embargo, la gran diversidad y riqueza varietal se pone de manifiesto en territorio ecuatoriano, al evidenciar el fructífero desarrollo de otros tipos de cacao, tanto en Costa como en Amazonía, tales como el, tipos acriollados, súper árboles o los cacaos de almendras blancas (Barrera *et al.*,(2019).

1.5. MONILIASIS EN CACAO

1.5.1. ORIGEN

En un comienzo se consideró que Ecuador era el centro de origen de la moniliasis (*M. roreri*). En 1917, el fitopatólogo J. B. Rorer viajó desde Trinidad hasta Ecuador, recolectando muestras en busca de una explicación a la reducción que se presentó en la producción cacaotera. Las muestras fueron enviadas al investigador R. E. Smith, en la Universidad de California, el cual determinó que la enfermedad era causada por el patógeno *Monilia* sp. En 2005, Aime y Phillips-Mora, consideraron que la moniliasis (*M. roreri*) del cacao (*T. cacao*) tuvo origen en 1817, en el departamento de Santander (Colombia) y en Antioquia se registró en 1851. En un trabajo más reciente, en estudios genéticos basados en polimorfismos de fragmentos largos amplificados (AFLP) y datos de secuencias intergénicas (ITS) encontraron una alta diversidad genética de *M. roreri*, lo que aumenta las evidencias para señalar a Colombia como la región de origen (Correa *et al.*, 2014).

1.5.2. TAXONOMÍA

Según Romero (2018), la clasificación taxonómica del hongo causante de la moniliasis en el cultivo de cacao es la siguiente:

Dominio:	Eukaryota
Reino:	Fungi
Filum:	Basidiomycota
Clase:	Basidiomycetes
Subclase:	Agaricomycetidae
Orden:	Agaricales
Familia:	Tricholomataceae
Género:	<i>Moniliophthora</i>
Especie:	<i>roreri</i>

1.5.3. MORFOLOGÍA

Evans *et al.* (2003), encontraron evidencias que la meiosis ocurre en las esporas de *M. royeri*, fenómeno consistente con su contenido nuclear variable. De ahí que es incorrecto referirse a estas estructuras como conidios (por definición estos provienen del proceso de mitosis). Parece que esto se debe a que el antepasado de *M. royeri* perdió la habilidad de formar un basidio carpo, pero no la habilidad de llevar a cabo la división nuclear meiótica. Lo anterior sugiere que los propágulos de *monilia* se deben llamar esporas y no conidios.

Las esporas provienen de un basidio modificado, con un pseudoestroma denso y carnoso sobre el cual el hongo produce los vestigios del píleo. Las esporas son multifuncionales, sirven no sólo para el intercambio genético, sino también para la dispersión, la infección y la supervivencia (Aguirre, 2019).

Se considera que las esporas de este hongo presentan multifunción, es decir que cumplen otras funciones además del intercambio genético. Estas funciones incluyen la dispersión del hongo, así como también la infección y sobrevivencia. Las esporas viejas desarrollan paredes gruesas y se tornan oscuras, las cuales pueden marcar el inicio de la fase de dormancia (Pérez-Vicente, 2018).

M. royeri y *M. pernicioso*, agente causal de la enfermedad de la escoba de bruja del cacao, están estrechamente relacionadas. Sus genomas son similares, incluidos muchos de los genes que portan y que se consideran importantes en el proceso de la enfermedad. *M. pernicioso*, también un hemibiótrofo, tiene un estilo de vida y una morfología típicos de basidiomicetos, formando conexiones de abrazadera y produciendo hongos. Las basidiosporas infectan los tejidos meristemáticos, incluidos los cojines de flores, las puntas de los tallos y las vainas. *M. royeri* no forma conexiones de abrazadera ni hongos e infecta solo las vainas. Ambos patógenos se limitan al hemisferio occidental y son una amenaza para la producción de cacao en todo el mundo (Bailey *et al.*, 2018)

1.5.4. HOSPEDEROS

Existe una variedad de plantas que puede ser hospederos de *M. royeri* en la familia Malvaceae, que involucra al género *Theobroma*. Entre las especies más comunes que se han registrado como hospederos de este patógeno en esta familia se tiene: *T. cacao*, *T. gileri*, *T. bicolor*, y *T. grandiflorum*.

Además, se ha observado infecciones en especies del género *Herrania*. En comparación con *M. pernicioso*, se puede mencionar que éste último puede llegar a infectar un rango más amplio. Entre las familias que el mencionado hongo se tiene: *Solanaceae*, *Malpighiaceae* y *Bignoniaceae* (Meinhardt *et al.*, 2008). ().

1.5.5. CICLO DE VIDA

La germinación de las conidias tiene lugar en una película de agua presente en las mazorcas. La penetración de éstas se produce directamente por los estomas a través de la epidermis. En condiciones de alta humedad relativa por varias horas, las conidias pueden completar gran parte de su infección. Desde la infección primaria hasta la apreciación de síntomas externos toma entre 3 y 8 semanas. Este periodo de incubación está determinado en función de la edad de la mazorca infectada (Sánchez *et al.*, 2015).

Las mazorcas que son muy jóvenes (< 1 mes) se infectan desarrollando hinchazones y la distorsión seguido por necrosis totales. Las mazorcas infectadas a los 3 meses de edad sólo desarrollan necrosis interna y externa limitadas 2 o 3 meses más tarde. El micelio externo aparece a los pocos días de iniciadas de las lesiones, convirtiéndose rápidamente en capa blanca densa de conidias y micelio. Las estructuras de esporógenas se forman y esporulan profusamente en unos pocos días, entonces el pseudostroma se torna de color crema desde el centro hacia el exterior (Sánchez & Garcés, 2012).

M. royeri puede producir hasta 7 000 millones de conidias. Estas conidias se puede dispersar a través del viento por aproximadamente 36 semanas en una sola mazorca. Las conidias quedan suspendidas en el dosel en condiciones de ausencia o deficiencia en los controles fitosanitarios (Benítez, 2019). Se considera que no se requiere mucha humedad para la formación, liberación y dispersión de las conidias. En el proceso de cosecha, así como en la ejecución de las podas, se producen corrientes de viento, y el movimiento de las ramas y árboles producen vibraciones. Estas dos condiciones contribuyen a la liberación de las esporas maduras en altas cantidades (Aguirre, 2019).

1.5.6. SINTOMATOLOGÍA

La severidad de los síntomas varía en función tanto de la edad del fruto, así como del material genético de cacao. Además de los síntomas visuales

externos, esta enfermedad también produce síntomas internos. Los síntomas de la fase biotrófica pueden incluir manchas necróticas y en algunos casos, malformación de la mazorca, pero las mazorcas permanecen asintomáticas. Las infecciones iniciales parecen asintomáticas, aparte de la inflamación del tejido en algunos casos. Esta condición persiste hasta por 3 meses. Luego de esto, las mazorcas se necrosan rápidamente, produciendo masas de esporas sobre su superficie. Entre los patógenos del cacao, muchos consideran que *M. royeri* tiene el mayor potencial de enfermedad en caso de que llegue a nuevas áreas de producción (Estrella & Cedeño, 2012).

El daño externo se caracteriza por pequeñas manchas aceitosas en la corteza de los frutos. Luego de esto el patógeno invade los tejidos en forma intercelular, mediante la formación de conidióforos, conidios y micelio. Después se producen hifas que invaden los tejidos en forma intracelular, presentándose los síntomas característicos de la enfermedad como son: manchas irregulares de color pardo, terminando con la pudrición del fruto y la presencia de un polvo blanco, que son las esporas del hongo (Paredes, 2016).

Si las mazorcas no se separan del árbol se momifican y permanecen adheridas a las ramas por mucho tiempo. El daño interno se caracteriza por una podredumbre acuosa de los tejidos y semillas. Algunos frutos pueden completar su ciclo sin presentar síntomas externos, pero al abrirlos se encuentran podridos (Robles, 2008). La intensidad de la inoculación del hongo en el tejido de las diferentes partes de la planta por donde penetra se da en relación al clima y respuesta fenológica del cultivo. Cuando *M. royeri* se establece en el cultivo, su dispersión a las mazorcas infectadas y brotes jóvenes se desarrollan continuamente durante todos los meses del año (Krauss *et al.*, 2010). ().

1.5.7. IMPACTO ECONÓMICO

A escala global, *M. royeri* es responsable de menores pérdidas que algunos patógenos debido a su rango limitado (Toruño *et al.*, 2016). Sin embargo, *M. royeri* se clasifica con cualquiera de los principales patógenos de las mazorcas en términos de su impacto económico durante una epidemia y representa uno de los principales factores limitantes del rendimiento en las zonas tropicales de América (Bailey *et al.*, 2018)

En Ecuador, se considera a la moniliasis como la enfermedad principal que afecta al cultivo de cacao. Además, se tiene a esta enfermedad con las

que mayores pérdidas representa para las unidades de producción de cacao. Existen reportes de que la moniliasis ha llegado a generar pérdidas que han ascendido a 80% de las fincas en Ecuador y Colombia. Sin embargo, se evidencia que los promedios de pérdidas ocasionadas por esta enfermedad fluctúan entre el 20 y 30% (Zurita, 2018).

Se considera que, en Ecuador, *M. rozeri* es significativamente más agresiva que *Phytophthora* spp., lo que llama la atención para su control. A esto se suma que las altas temperaturas influyen positivamente en la diseminación de la moniliasis (Durán, 2010). Varios autores concuerdan en que *M. rozeri* tiene su centro de origen en Ecuador, en específicos en Quevedo. Por ello algunos autores la llaman el mal o enfermedad de Quevedo (Figueroa, 2017). Sin embargo, quizás el registro más antiguo de la enfermedad se encuentra en la región de Antioquia en Colombia, describiendo la destrucción de la producción de cacao en la década de 1850 por “un hongo virulento y aterciopelado (Bailey *et al.*, 2018).

Se cree que la enfermedad se diseminó desde Ecuador hacia Colombia, Perú y Bolivia. El patógeno se propagó hacia el oeste de Venezuela, probablemente en la década de 1940, pero no ha llegado a la región cacaotera del este. El hongo ingresó a Panamá en la década de 1950 y a Costa Rica en la década de 1970. La expansión hacia Mesoamérica ha sido lenta, con informes de su llegada a Guatemala y Honduras en la década de 1990 (Bailey *et al.*, 2018).

1.5.7.1. CONTROL CULTURAL

Como principal método de control cultural se tiene a la recolección de frutos enfermos. Para ellos se extraen las mazorcas con síntomas de la enfermedad, principalmente antes de la esporulación. Esta labor se realiza con la finalidad de frenar el avance de la enfermedad y en específico el hongo no alcance su etapa reproductiva (Estrella & Cedeño, 2012).

Con la remoción de frutos enfermos se apunta a disminuir la cantidad de conidias (inóculo) dentro de la plantación. Con esta actividad se busca evitar la contaminación de mazorcas sanas en formación. De no hacerse esta práctica se provee las condiciones adecuadas para el hongo penetrar fácilmente a la epidermis de los frutos en dicha edad (Paredes, 2016).

La remoción de frutos enfermos es aconsejable realizarla con una frecuencia de 3 a 4 semanas para disminuir la incidencia de la enfermedad. Las mazorcas enfermas recolectadas deben ser retiradas de las plantas

cuidadosamente y enterradas evitando que se liberen las esporas del hongo y evitar futuras dispersiones (Durán, 2010). Otro método cultural recomendado es la poda de mantenimiento, con la finalidad de regular la sombra para permitir un mayor paso de luz y aire (30 a 40 %), y así mismo reducir la humedad en el ambiente (Chamorro, 2018).

1.5.7.2. CONTROL BIOLÓGICO

Para el control de la enfermedad bajo un enfoque biológico se deberá considerar la disposición de dos enfoques: el inundativo y clásico. Para el biocontrol con un enfoque inundativo se recurre a la utilización de antagonistas autóctonos de las zonas donde existe el problema del patógeno que se necesita controlar. Para realizar este tipo de biocontrol de una forma adecuada, los antagonistas se deberán aplicar en cantidades relativamente altas. Además, las aplicaciones se deben aplicar con frecuencia durante el ciclo. Esto representa un aumento en los costos de producción, por lo que es necesario su análisis económico previo (Krauss *et al.*, 2010).

El enfoque clásico es aplicado en situaciones en las cuales una plaga ha sido introducida dentro de una nueva región. En ausencia de enemigos naturales, la plaga exótica se intensifica y es un problema, frecuentemente más serio que en el lugar de origen. En estos casos, la estrategia es introducir un enemigo natural coevolucionado de la plaga dentro de la nueva localidad y reestablecer el equilibrio natural (Figueroa, 2017). Para *M. roreri* puede ser, una solución adecuada a medio plazo para el control biológico clásico en cacao plantados fuera de su centro sudamericano de origen (Jaimes & Aranzazu, 2010).

Los mecanismos de los antagonistas que se usan con mayor frecuencia en el biocontrol no siempre son claros. Entre los mecanismos de biocontrol que tienen estos antagonistas, se enlistan:

- Parasitismo directo que causa la muerte del patógeno.
- Competencia nutricional y espacial del patógeno.
- Liberación de sustancias antibióticas por parte del antagonista que ocasionan efectos tóxicos directos sobre patógenos.
- Sustancias volátiles que son liberadas por la actividad metabólica de los antagonistas, que generan un efecto tóxico indirectos en los patógenos.

Aun cuando los resultados obtenidos con las cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* no fueron positivos, las bacterias del género *Bacillus* mostraron eficiencia. A partir de estos resultados en Costa Rica, Ecuador y Perú se ha

intensificado las investigaciones como la evaluación de bacterias del género *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Leuconostoc* formuladas en suspensión líquidas y sólidas para el control de *M. royeri*. Mezclas de hongos microparásitos como *Clonostachys rosea* y *Trichoderma* spp. para el control incluso de *Phytophthora palmivora* y *Crinipellis pernicioso* (Zurita, 2018).

Se han reportado efectos positivos de la aplicación de bacterias del género *Bacillus* como agentes de control biológico de enfermedades. Sin embargo, para cepas de *Aspergillus*, así como de *Penicillium* los resultados no han sido tan positivos. Debido a la eficiencia del género *Bacillus*, a nivel nacional y en países como Costa Rica y Perú, las investigaciones enfocadas en estos antagonistas se han incrementado. También se han incrementado estudios enfocados en los géneros *Pseudomonas* y *Leuconostoc* para el control de *M. royeri*. Para ello se han probado distintos tipos de suspensiones tanto sólidas como líquidas. Además, se ha incurrido en la mezcla de antagonistas microparásitos como *Clonostachys rosea* y *Trichoderma* spp. hacia *Phytophthora palmivora* y *Crinipellis pernicioso* (Zurita, 2018).

1.5.7.3. CONTROL QUÍMICO

Se considera que mediante la aplicación de productos químicos se logra suprimir considerablemente la enfermedad en las mazorcas de cacao. El control químico a través de fungicidas sistémicos representa una alta eficiencia ante *M. royeri* que aquellos de contacto. Esto trae consigo menor número y costo de aplicaciones al ser complemento de las labores culturales. El control químico tiene un efecto positivo en el incremento de la producción por hectárea que es en promedio de un 20% (Chamorro, 2018).

El alto costo de producción, acompañado con la volatilidad del precio de cacao son las principales limitantes para la actividad cacaotera. Bajo esta premisa, se sostiene que, aunque fungicidas específicos logren tasas de control significativas, se debe hacer una sinergia con las labores culturales tradicionales. Con esta esta combinación se evita en mayor escala la proliferación de la enfermedad al eliminar fuentes de inóculo (Ayala, 2008).

1.6. MAZORCA NEGRA EN CACAO

1.6.1. ORIGEN

La enfermedad llamada mazorca o pudrición negra fue notificada desde 1727 en la isla Trinidad. En la actualidad se localiza en todas las regiones del mundo que cultivan cacao. Estudios moleculares manifiestan que el origen

de este pseudohongo *Phytophthora* spp. se localiza en África (Acurio & Montes, 2020).

1.6.2. TAXONOMÍA

Según Chávez (2020) las especies de *Phytophthora* causantes de la mazorca negra en cacao se encuentran agrupadas de la siguiente manera:

Reino:	Cromista
División:	Oomycota
Subdivisión:	Mastigomicotina
Clase:	Phycomycetes
Subclase:	Oomycetes
Orden:	Peronosporales
Familia:	Pythiaceae
Género:	<i>Phytophthora</i>

1.6.3. MORFOLOGÍA

Waterhouse en 1963 logró establecer una taxonómica y de esta manera pudo ubicar las especies en grupos morfológicos. El mencionado autor centró sus esfuerzos en la caracterización de la forma de los esporangios. Además, este autor pudo describir las dimensiones, la existencia de clamidosporas, así como la producción de oosporas y oogonio en plantaciones cacaoteras (Calva, 2016).

La principal característica de este completo de patógenos es que muestran estructuras somáticas o micelio. Estas estructuras se conforman de filamentos hialinos con ramificaciones y cenocíticos. Estos según transcurre el tiempo se aprecia la carencia de protoplasma y la aparición de septas. Ocasionalmente, se ha observado que el micelio se torna esponjoso e incluso con presencia de nudos. Estos se ramifican y frecuentemente sujetan en su base (Acurio & Montes, 2020).

Dependiendo de las condiciones medioambientales, el diámetro micelial suele oscilar entre las 5 y 8 micras. Esto depende de la ubicación, ya sea en la parte aérea o si localización es dentro de células que los albergan. La sobrevivencia del micelio en forma saprófita es posible ante la presencia de materia orgánica. Sin embargo, niveles escasos de materia orgánica limitan la dinámica micelial en el suelo, tornándose poco e incluso nulo (Hernández *et al.*, 2005).

Sus esporangios son incoloros o levemente amarillentos, son de tamaño

variable usualmente ovoide producidos en sucesión. Posee clamidosporas con disposición terminal e intercalada su forma varia de esférica a ovoide contiene zoosporas reniformes y biflageladas (Jaimes & Aranzazu, 2010).

1.6.4. HOSPEDEROS

Este agente causal ataca a varios hospederos como la palma africana (*Elaeis guineensis*), cacao (*Theobroma cacao*), café (*Coffea arabica*) (Jácome, 2016). También ataca a algunas especies de frutales y hortalizas tanto en fase de vivero como en campo abierto (Acurio & Montes, 2020).

1.6.5. CICLO DE VIDA

Aparece un pequeño micelio entrecruzado en las manchas marrones, lo que da la apariencia de algodóncillo blanco escaso. Se producen esporas y otras estructuras reproductivas, que actúan como semillas para el organismo (Estrada & Dávila, 2019).

Las esporas son la vía más común de infección. Éstas se transmiten a través de las esporas que son transportadas por el agua por medio del salpique de la lluvia, corrientes de agua, vientos, hormigas, entre otros. Otro medio de diseminación lo constituye el contacto directo de los frutos sanos con los enfermos, siendo una fuente importante de contagio. Las esporas se activan cuando hay mucha humedad y se da un periodo de baja temperatura seguido por otro caliente (Bustamante & García, 2021).

1.6.6. SINTOMATOLOGÍA

Los síntomas se caracterizan por presentar una mancha de color chocolate, de forma casi circular, que rápidamente se extiende por toda la superficie hasta cubrir la mazorca en 7 o 10 días (Carranza, 2015).

En plántulas de vivero también se suele presentar cuando los ambientes son muy húmedos. Se presenta como una muerte descendente secando tanto las hojas como el tallo, dando una apariencia inicial de quemazón (Chávez, 2020).

Los síntomas presentados por esta enfermedad se pueden apreciar a simple vista formando una mancha café bien definida en forma regular. La mancha presenta características similares a las causadas por moniliasis, pero con bordes bien definidos. Las mazorcas afectadas son blandas y menos pesadas que las mazorcas normales o las atacadas por moniliasis, el daño es de apariencia acuosa (Palma & Olivas, 2015).

1.6.7. IMPACTO ECONÓMICO

Las principales pérdidas económicas en la producción de cacao son causadas por plagas y enfermedades. En las muchas fincas pequeñas y aisladas que carecen de medidas de control adecuadas (Adeniyi, 2018). Los cultivares que presentan más susceptibilidad a esta enfermedad producen una media anual que va desde el 22% de mazorcas infectadas. Sin embargo, se han llegado a reportar pérdidas superiores al 80% en algunos cultivares con infecciones severas. El daño principal de esta enfermedad se focaliza en plántulas, cojines florales, chupones, brotes, ramas, tronco y raíces, siendo el principal daño en mazorcas (Bustamante & García, 2021).

Al momento se carece de estudios puntuales de las pérdidas económicas para un determinado sistema productivo donde se implique a *Phytophthora* spp. y su efecto sobre variables productivas y de rendimiento. Al contrario, datos generales, en los cuales se enuncia la relevancia económica de esta enfermedad, donde se plantea que las pérdidas en cosecha pueden ser del 60 al 100 %, cuyo valor dependerá de aspectos ambientales y de manejo del cultivo (Ramírez-Gil, 2016). Estas pérdidas se estiman en 423 millones de dólares anuales en todo el mundo (Abad *et al.*, 2021).

Se considera que las pérdidas asociadas a este patógeno pueden aumentar en dependencia del momento donde ocurre la infección inicial. Resultan más perjudiciales aquellas que se desarrollan en los estados iniciales de la mazorca. Al respecto, se ha informado que las mayores afectaciones ocurren cuando la enfermedad afecta la bellota, pues da lugar a pérdidas que pueden ir del 9 al 17% de toda la cosecha (Ramírez-Gil, 2016).

1.6.8. MÉTODOS DE CONTROL

1.6.8.1. CONTROL CULTURAL

Este control hace referencia a todas las actividades que comúnmente se realizan durante todo el ciclo del cultivo. Las prácticas culturales no pueden disminuir las poblaciones de patógenos, pero son de gran importancia para reducir la cantidad de pérdidas en una cacaotera. Además, esto permite manipular las condiciones del cultivo, para así crear condiciones menos favorables para el desarrollo de la enfermedad (Acurio & Montes, 2020).

Calva (2016), menciona que entre las prácticas culturales recomendadas se presentan las siguientes:

- Podar el cacao para evitar el exceso de sombra, y de esta manera permitir la entrada de luz y el flujo de aire dentro del cultivo.

- Eliminar mazorcas enfermas, para reducir el nivel de inóculo.
- Utilizar distancias de siembra adecuadas.
- Realizar controles de malezas de forma oportuna.
- Riegos controlados, para evitar el exceso de agua en la plantación.

1.6.8.2. CONTROL BIOLÓGICO

Este método implica un uso de organismos vivos para reducir el patógeno. Es por ello que la búsqueda de microorganismos para el control biológico, ha despertado a la gravedad de pérdida de producción. Ha hecho un gran impacto ecológico tanto químico y en el agroecosistema (Adeniyi, 2018).

Los tratamientos son de carácter preventivo para evitar que las mazorcas tiernas sean contagiadas naturalmente. Se considera como una simple medida de prevención, en el caso específico de los microorganismos, estos actúan inhibiendo el crecimiento de la enfermedad ya sea mediante la estructura sea orgánica. Los principales efectos de frutos enfermos de la remoción de frutos enfermos es una reducción del número de mazorcas infectadas (Villamil *et al.*, 2015).

1.6.8.3. CONTROL QUÍMICO

Este control se basa en la utilización de productos elaborados de manera sintética. La aplicación de funguicidas es el método más utilizado en la actualidad. La eficiencia del producto depende de la manera de aplicación, dosis, época del año y el modo de acción del producto (Ndoumbè *et al.*, 2004).

Para el manejo de la mancha negra se utiliza sustancias protectantes a base de cobre o funguicidas sistémicos a base de metalaxil. Las inyecciones de sales de fosfato de potasio lo cual resulta muy eficaz para el control del cáncer ocasionado en troncos y ramas (Hernández *et al.*, 2014). Sin embargo, algunas investigaciones realizadas demuestran que algunos funguicidas no impidieron el crecimiento de las colonias de *P. infestans*, pero reducen la formación de oosporas (Mita *et al.*, 2013).

1.7. RESISTENCIA DE LOS PATÓGENOS ANTE LOS FUNGICIDAS

Se entiende por resistencia la habilidad existente en la naturaleza y es heredable, de algunos individuos. Dentro de una población de un hongo les permite sobrevivir a la aplicación de un funguicida que, en condiciones normales, resulta eficaz contra ese hongo. Aunque la resistencia se puede

comprobar y demostrar en laboratorio, esto no significa que la eficacia en campo se vea reducida. Hay que utilizar, entonces, el término resistencia práctica, que es el que define la falta de eficacia en campo atribuida a la resistencia (Murillo, 2015).

Un producto fungicida, por sí solo, no induce intrínsecamente resistencia, sino que actúa como un agente de selección. El desarrollo de la resistencia se produce cuando se siguen prácticas inadecuadas para la situación específica de cultivo y patógeno (Zurita, 2018).

1.8. USO DE POLISULFURO DE CALCIO EN LA AGRICULTURA

Es una mezcla de hidróxido de calcio y azufre que da como resultado polisulfuros de calcio como ingrediente activo responsable de su toxicidad de este plaguicida (Tuelher *et al.*, 2014). La fácil disponibilidad, la técnica de preparación y el valor económico hacen del polisulfuro de calcio (CaSx) sea muy útil para diversas aplicaciones industriales y de campo (Sidi *et al.*, 2015).

El polisulfuro de calcio fue empleado por primera vez en el baño de animales vacunos contra la sarna en 1886. En California se ha comprobado su viabilidad como un producto con características insecticidas (Pesantez, 2021). Es ampliamente utilizado en agricultura como acaricida, fungicida de contacto y también como fertilizante. También se utiliza como productos químicos de tratamiento de agua para la remediación de metales pesados (Salazar, 2021).

El polisulfuro de calcio también se puede mezclar con agua para producir una concentración mucho más débil. Se puede usar cuando las plantas hayan deshojado. Incluso en bajas concentraciones, es importante no rociar las plantas durante los días calurosos y soleados. Cuando se lo hace en días con las mencionadas características, el azufre puede ayudar a que se produzcan graves quemaduras solares (Uliarte *et al.*, 2019).

Es usado para prevenir y controlar hongos, cochinillas, pulgones, trips y como abono foliar, ahuyentar algunos insectos y mata ácaros (arañitas rojas). Existe muchas fórmulas para preparar este producto, siendo en su mayoría una relación entre 1 lb de cal por 2 a 2.25 de azufre. En la mayoría de las fórmulas los productos comerciales se tienen en consideración dicha proporción (Tuelher *et al.*, 2014).

Para su aplicación se la debe asperjar sobre el follaje del cultivo deseado. Se ha evidenciado que ayuda a aumentar el contenido de aceite de los

cultivos oleaginosos como la soya, la mostaza, maní y linaza. También actúa como pesticida y fungicida orgánico (Cantúa *et al.*, 2020). Da color verde a las hojas especialmente tabaco y algodón, sorgo, maíz. Ayuda a aumentar los nódulos de raíz nuevos y fuertes de las raíces de las plantas. Da color oscuro a frutas y verduras y previene manchas en hojas y patatas (Robles, 2008). Las plantas necesitan azufre de cal al igual que nuestros dientes y huesos lo necesitan. El calcio ayuda al desarrollo de la pared celular y al crecimiento del tejido vegetal. Además, este compuesto proporciona inmunidad contra plagas, patógenos y ataques de plagas (De Andrade *et al.*, 2020).

El azufre de cal o polisulfuro de calcio es esencial para la fijación de nódulos de nitrógeno en las leguminosas y la formación de clorofila. Las plantas lo usan para producir proteínas y aminoácidos, enzimas y vitaminas. El polisulfuro de calcio también ayuda en el crecimiento y la formación de semillas. Los aminoácidos proporcionan nitrógeno, proteínas y otros nutrientes necesarios para las plantas (Barrón *et al.*, 2020).

Algunos artículos enfatizan en el uso de productos especiales para prevenir o curar las enfermedades (azufre; polisulfuro de calcio; inyecciones protectoras y curativas) (Lacoste *et al.*, 2013). Entre la evidencia del uso de polisulfuro de calcio para el manejo de enfermedades en cultivos de distinta importancia económica se tienen:

Nita *et al.* (2006), estudiaron la eficacia del polisulfuro de calcio durante el período de latencia en el control de la *Phomopsis* de la caña de azúcar (*Phomopsis* spp.). Además, estos autores también evaluaron su efecto sobre la mancha foliar de la uva (*Phomopsis viticola*). Estos ensayos se realizaron en condiciones de campo durante las temporadas de crecimiento de 2003 y 2004 en Ohio. Se examinó la incidencia y severidad de la enfermedad en hojas y entrenudos. También se evaluó, los efectos de la aplicación durante el período de latencia sobre la esporulación de *P. viticola*. Para ello se examinó el número de conidios en agua salpicada de lluvia en primavera y la formación de picnidios maduros en secciones de caña en invierno. Las aplicaciones de polisulfuro de calcio en todas las estaciones redujeron del 12 al 88 % en la intensidad de la enfermedad. Con la aplicación de mancozeb se redujo la intensidad general de la enfermedad en un 47 a un 100 %. También se pudo apreciar que las aplicaciones de cobre fijo no proporcionaron una reducción constante de la enfermedad.

Las aplicaciones otoñales realizadas por Nita *et al.* (2006) del fungicida del período de latencia proporcionaron poco o ningún efecto por sí mismas. En

la vid, se observó menor número de conidios al aplicar polisulfuro de calcio en otoño y primavera respecto al control. Este fungicida también redujo significativamente el número de picnindios maduros en las tres estaciones en evaluación. Finalmente, se apreció que el cobre fijo no proporcionó una reducción significativa.

Ramírez *et al.* (2011), buscaron determinar la efectividad del polisulfuro de calcio (PC) como alternativa para su manejo. Se evaluó el efecto del PC sobre la germinación y formación de conidios en el patógeno aislado y cultivado *in vitro*.

En el campo, sobre frutos se asperjó PC antes y después de la inoculación con *M. royeri* y se determinó la incidencia e índices de severidad interna y externa. En una plantación de cacao se asperjó PC y se determinó su incidencia y producción. El PC *in vitro* inhibió el crecimiento y la formación de conidias. La aplicación de PC antes o después de la inoculación artificial con *M. royeri* sobre frutos inhibe completamente el desarrollo de la enfermedad. Con aspersiones de PC en plantaciones de cacao la incidencia de la enfermedad fue de 0.53 %. Entre tanto la incidencia fue de 21 % con manejo cultural y del 69.6% con inoculación natural. La producción de cacao seco/año fue de un 90.6 % más con PC que en el testigo de inoculación natural. De esto se puede deducir que resulta viable integrar PC en el manejo de *M. royeri*.

Por otra parte, Navia (2016), observó que al aplicar Polisulfuro de Calcio + Caldo de Ceniza al 6% se obtuvieron resultados de incidencia y severidad favorable. Se dedujo que estos caldos inhiben la respiración afectando proteínas. De este modo forma quelatos con metales pesados que actúan como defensa ante las células fúngicas de este patógeno. Además, actúan creando una barrera física sólida en la penetración del hongo.

Además, el mencionado autor también observó que con la aplicación de los caldos se pudo inhibir o retardar el crecimiento de esporas. La efectividad fue mayor en T4: PC+ CC al 6% ya que a través de su combinación con estos caldos se pudo obtener absorción de fósforo. Este evento ayuda a una mayor absorción de nutrientes, mayor fotosíntesis y por consiguiente mayor inmunidad a otras enfermedades. Con T4 se presentó la mejor relación Beneficio – Costo, con rubros económicamente aceptables y viables. En base a este planteamiento se puede acotar que esta tecnología se encuentra al alcance desde pequeños hasta grandes productores.

En el cultivo de cacao de tipo Nacional, Onofre (2016) evaluó el efecto de

labores culturales, frente a tratamientos de distintos orígenes para su manejo fitosanitario. Los tratamientos fueron: T1: Recolección de frutos enfermos (RFE); T2: Tricomplex; T3: Polisulfuro de calcio; T4: Advance y T5: Testigo absoluto. Tricomplex contiene: *T. harzianum* + *T. koningii* + *T. viride*, *T. hamatum*, mientras que Advance tiene como ingrediente activo Sulfato de cobre pentahidratado. Por otra parte, se consideró como testigo absoluto a la poda de mantenimiento. Sus resultados muestran que el método cultural cada 15 días es más efectivo para disminuir la incidencia de la enfermedad. Este tratamiento mostró un porcentaje de incidencia de 14.67% frente a 39.67% del testigo absoluto a los 90 días. Para los 120 días después de la aplicación de los tratamientos este valor fue de 27.67% frente a 65% del testigo absoluto. Con respecto a la severidad ninguno de los tratamientos tuvo resultados significativos.

Para el número de frutos sanos Advance en dosis de 1.25 cc L1 cada 15 días mostró mejores resultados con 2.33 frutos, en comparación con el testigo absoluto (0 fruto). Además, Advance en la dosis y frecuencia mencionada alcanzó mayor rendimiento, con 312.18 kg ha⁻¹, frente a 148.6 kg ha⁻¹ del testigo absoluto en los 7 meses. El mencionado tratamiento también generó menor pérdida, con -\$ 200.00, frente a los -\$ 368.00 del testigo absoluto.

Por otra parte, Ochoa *et al.* (2017) evaluaron la eficacia de los fungicidas minerales para el control *M. roreri* en cacao bajo condiciones semicontroladas. Este estudio se realizó en Tecpatán, Chiapas, México, cuyos fungicidas fueron: silicosul- focálcico (SSC) y polisulfuro de calcio (PC). Estos autores inocularon frutos de 70 días de edad con el patógeno. Se aplicaron los dos productos en concentración del 10 % (v/v) tres días antes o un día después de la inoculación. Las variables de estudio fueron: incidencia (% I), índice de severidad externa (ISE) e índice de severidad interna (ISI), las dos últimas en escala de 0 a 5.

Los resultados indican mayor eficacia en los dos productos, aplicados tres días antes o un día después de la inoculación con *M. roreri*. Estos tratamientos inhibieron completamente el desarrollo de la enfermedad, ya que la incidencia, ISE e ISI presentaron valores de cero. En el tratamiento testigo (sin aspersión) estos valores fueron del 80 %, 3.3 y 3.8, respectivamente. Se concluye que el SSC y el PC al 10 % son una alternativa para el control de esta enfermedad por su efectividad. Además, se recalca su bajo costo y facilidad de preparación, de manera que la normatividad permite su aplicación en sistemas de producción orgánica.

En el cultivo de naranja, De Andrade *et al.* (2020), evaluaron el efecto de las aplicaciones de polisulfuro de calcio en un huerto de naranjos. Se evaluó su efecto sobre las propiedades químicas del suelo y los nutrientes foliares después de siete años de uso para controlar *Brevipalpus yothersi*. Además, estos autores evaluaron la severidad del Virus de la leprosis de los cítricos (CiLV). Sus resultados mostraron que las aplicaciones de polisulfuro de calcio redujeron los valores de pH en CaCl₂. A la vez estas aplicaciones aumentaron los niveles de S-(SO₄)₂- en la capa subterránea del suelo. Las plantas tratadas con polisulfuro de calcio presentaron las mayores concentraciones foliares de Ca y S y de los micronutrientes B, Cu, Mn y Zn. Por otro lado, el azufre de cal pudo reducir la severidad de la leprosis de los cítricos y tuvo un efecto positivo en la productividad de los cítricos.

Pesantez (2021), estudió el efecto del polisulfuro de calcio a diferentes dosis como método preventivo del moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de tomate riñón. Este autor utilizó como material de siembra la variedad Michaela bajo condiciones de invernadero. Se comparó dosis de polisulfuro de calcio de 25, 50 y 75 cc L⁻¹ de agua con la aplicación de Cantus® (Boscalid: 500 g kg⁻¹) en dosis de 0.5 g L⁻¹ de agua. La aplicación de polisulfuro de calcio en dosis de 50 cc L⁻¹ de agua (50.0%) mostró una incidencia cercana a la obtenida con la aplicación de Cantus® (31.30%). Para la severidad de la enfermedad observó una tendencia similar, evidenciándose un efecto positivo en la disminución de la intensidad de la mencionada enfermedad.

Salazar (2021), evaluó el control del tizón temprano (*Alternaria solani*) con productos orgánicos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Este estudio se realizó en la variedad Supremo. Los tratamientos fueron: de polisulfuro de calcio, caldo bordelés y caldo ceniza con una aplicación de cada 7 y 14 días. Estos productos considerados como orgánicos fueron comparados con un testigo absoluto. Sus resultados indicaron que la aplicación de polisulfuro de calcio fue capaz de disminuir la severidad de la enfermedad. Sus valores fueron de 5 a 15% en el estrato alto de la planta, de 10 a 20% en el estrato medio y entre 5 y 10% para el estrato bajo.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

1.9. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación en cuestión tuvo lugar entre los meses de noviembre del 2021 a febrero del 2022, en una plantación de cacao CCN-51 de 10 años de edad. La plantación se ubica en la finca “Finca Tres Hermanos”, perteneciente al Sr. Eliecer Guerra, ubicada en el km 19.5 de la vía Guayacanes de la parroquia 24 de mayo – Embalse Daule Peripa, perteneciente al cantón Buena Fe de la provincia de Los Ríos. El predio se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas 0°43’08.5” latitud Sur y 79°30’01.3” longitud Oeste, a una altitud de 87 m.s.n.m.

El suelo presenta topografía irregular, poca pendiente, textura franca – arcillosa, con pH de 5.6-7.2 y drenaje regular. El clima de la zona de estudio es tropical – monzónico, con temperatura máxima de 29 °C y mínima de 23 °C, con una media anual de 24.3 °C, precipitación anual de 1998 mm, evaporación de 1.67 mm/día, humedad relativa de 84 %, y heliofanía de aproximadamente 840 horas.

1.10. TRATAMIENTOS EVALUADOS

Se estudiaron cuatro tratamientos, de los cuales tres correspondieron a polisulfuro de calcio, y un tratamiento control se efectuó la remoción periódica de las mazorcas afectadas, tal como se describen a continuación:

T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua

T2: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 25 L agua

T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L agua

T4: Control

1.11. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos en tres repeticiones. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) a todas las variables de respuesta, y se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la comparación de las medias de los tratamientos estudiados.

La tabulación de los datos se la realizó en Excel 2019 desarrollado por Microsoft Corporation, mientras que para el procesamiento estadístico se utilizó Infostat versión 2017.1.2. desarrollado por Di Rienzo *et al.* (2019).

Se consideró como unidad experimental a 6 plantas de cacao sembradas a una distancia de 3 m entre plantas y 3 m entre hileras. Se tuvo dos hileras de 3 plantas cada una, en un área de 54 m². Se utilizaron en total 72 plantas útiles en el ensayo.

1.12. MANEJO DEL EXPERIMENTO

Por tratarse de una plantación comercial, se siguieron las labores culturales que convencionalmente se realizan en la unidad de producción. Entre las labores realizadas, se describen las siguientes:

1.12.1. CONTROL DE MALEZAS

El control de malezas se realizó, de forma manual con una frecuencia de 15 días, utilizando un machete. Los restos de malezas se dejaron en las calles de la plantación a manera de un acolchado. De esta manera se posibilitó la retención de la humedad remanente del suelo, así como también aportar materia orgánica al mismo.

1.12.2. FERTILIZACIÓN

La fertilización se efectuó mediante un plan de fertilización que convencionalmente se utiliza en la unidad de producción comercial. La dosis total se fraccionó en cuatro partes iguales al año, y la frecuencia estuvo sujeta a la planificación de las labores de la finca.

1.12.3. ELABORACIÓN DEL POLISULFURO DE CALCIO

El polisulfuro de calcio se preparó con 5 kg de azufre, 2.5 kg de cal y la cantidad de agua correspondiente a cada tratamiento. Para su preparación se siguió el procedimiento usado por Navia (2016), colocando en el fuego, un recipiente con 12 litros de agua. Luego se le agregó los 5 kg de azufre y se agitó hasta disolverlo. Posteriormente se agregó 2.5 kg de cal hasta que la mezcla se tornó de coloración rojiza. Finalmente, una vez que se enfrió, se procedió a envasar la solución en recipientes oscuros para su conservación, según lo recomendado por Onofre (2016).

1.12.4. CONTROL FITOSANITARIO

Se realizó el control fitosanitario cada 8 días para todos los tratamientos realizando la remoción de las mazorcas afectadas por enfermedades. Las aspersiones del producto se realizaron cada 15 días, con un total de 5 litros de solución por cada planta durante el período de estudio.

1.12.5. RIEGO

Se utilizó la humedad remanente del suelo, ya que la unidad de producción seleccionada para el presente estudio no tenía instalado sistema de riego.

1.12.6. COSECHA

La cosecha se realizó de forma manual, extrayendo aquellas que presentaron las características externas de madurez fisiológica y aptitud para su comercialización.

1.13. VARIABLES EVALUADAS

1.13.1. NÚMERO DE MAZORCAS POR PLANTA

Se realizó un conteo del número de mazorca cosechadas por planta durante el período de evaluación, las cuáles se clasificaron en:

Número de mazorcas

Número de mazorcas cosechadas

Número de Mazorcas sanas

Número de mazorcas enfermas

Número de mazorcas descartes

Una vez clasificadas las mazorcas según los parámetros descritos, se determinó el promedio de cada uno de acuerdo a cada tratamiento en estudio

1.13.2. CHERELES SANOS Y ENFERMOS

Para a evaluación de esta variable se llevó un registro de los chereles tanto sanos como enfermos por planta en cada unidad experimental, para posteriormente establecer el promedio de cada tratamiento.

Para los chereles enfermos, se realizó un conteo, retirando una vez cada 7 días los cherelles (frutos jóvenes hasta 3 meses de edad) cuyo desarrollo había sido interrumpido por el marchitamiento y muerte que había conducido a su momificación y que no correspondían a los síntomas característicos a las enfermedades en estudio cuya diferenciación es notoria.

1.13.3. PESO DE LAS ALMENDRAS (G)

Una vez cosechadas las mazorcas en cada unidad experimental, se realizó la extracción de todas las almendras de cada una de estas. Estas fueron pesadas en una balanza digital, para establecer el promedio de cada tratamiento estudiado, y se expresó la magnitud en gramos.

1.13.4. NÚMERO DE ALMENDRAS POR MAZORCA

En las mazorcas cosechadas en cada unidad experimental, se extrajeron todas las almendras para luego promediar de acuerdo a cada tratamiento en estudio.

1.13.5. PESO DE 100 ALMENDRAS (G)

Por cada unidad experimental se seleccionaron al azar 100 almendras para luego pesarlas en una balanza digital. Seguidamente se determinó el promedio en cada unidad experimental.

1.13.6 SEVERIDAD (%)

Para la determinación de la severidad de la enfermedad, se consideró el porcentaje de daño tanto de *M. royeri*, así como de *Phytophthora* spp., utilizando la apreciación visual. Por otra parte, también se hizo uso del procesador de imágenes Leaf Doctor versión 1.1. desarrollado por University of Hawaii at Manoa, de manera que se pudo contrastar la exactitud y aplicabilidad de la mencionada aplicación.

1.13.7. RENDIMIENTO (KG)

Se registró el rendimiento por cada subparcela dentro del experimento, para lo cual se pesaron las almendras obtenidas en cada tratamiento

1.13.8. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se realizó en base al rendimiento y los costos de cada uno de ellos. De los tratamientos en estudio, se determinó la relación beneficio/costo, aplicando la siguiente fórmula:

$$R (B/C) = \frac{IB}{CT}$$

Donde:

R (B/C): Relación beneficio – costo

IB: Ingreso Bruto

CT: Costo Total

The cover features a close-up photograph of several colorful vegetables, including yellow and orange squash and green zucchini. The image is partially obscured by a green triangle in the top right and a yellow triangle in the bottom left. The text is overlaid on these geometric shapes and the vegetable image.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.14. VARIABLES AGRONÓMICAS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la evaluación de las variables agronómica en el cultivo de cacao CCN-51 en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio. Para ninguna de estas variables, a excepción del número de chereles sanos, se registraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

El número de mazorcas producidas fluctuó entre un promedio de 56.38 a 73.33 mazorcas, correspondiendo el mayor promedio a T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua, mientras que el menor número de mazorcas se presentó en T4: Control. Por otra parte, se pudo apreciar entre 48.95 y 63.13 mazorcas sanas, y de 9.00 a 10.89 mazorcas cosechas. Para estas dos variables, se observó el mayor promedio en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua, mientras que en T4: Control se registró menor número de mazorcas sanas, y en T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L Agua menor número de mazorcas cosechadas.

El número de mazorcas enfermas osciló entre 4.23 y 5.70 mazorcas, teniéndose el mayor promedio en T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L Agua y el menor promedio en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua.

Con la aplicación de T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua, se presentó mayor número de mazorcas descartes, con 2.22 mazorcas, mientras que el menor número de mazorcas con estas características se registró en T2: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 25 L agua.

En T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua se presentó mayor peso de almendras en baba y número de semillas por mazorcas. En T2: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 25 L agua se presentó mayor promedio de peso seco de almendras y peso seco de 100 almendras. Por otra parte, en T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L agua se registró mayor número de chereles enfermos y peso húmedo de 100 almendras.

En lo correspondiente a los chereles sanos, se obtuvo mayor promedio en T4: Control, con 45.54 chereles, en ausencia de diferencias significativas respecto a T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L Agua, y estadísticamente superiores a los dos tratamientos restantes. El menor promedio se registró en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua.

Tabla 1. Resultados de la evaluación de las variables agronómicas en el cultivo de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio.

Variables agronómicas	Tratamientos			
	T1: 5 kg S +2.5 kg Cal + 20 L agua	T2: 5 kg S +2.5 kg Cal + 25 L agua	T3: 5 kg S+2.5 kg Cal + 30 L Agua	T4: Control
Número de mazorcas	73.33a	67.23a	66.79a	56.38a
Número de mazorcas cosechadas	10.89a	10.65a	9.00a	9.33a
Número de mazorcas sanas	63.13a	58.51a	57.97a	48.95a
Número de mazorcas enfermas	4.23a	4.38a	5.70a	4.50a
Número de mazorcas descartes	2.22a	1.64a	1.71a	1.90a
Chereles sanos	20.79a	35.54b	28.18ab	45.54c
Chereles enfermos	4.23a	4.38a	5.70a	4.45a
Peso de almendro en baba (g)	1892a	1821.53a	1628.94a	1534.64a
Peso de almendro seco (g)	885.64a	949.59a	846.44a	781.00a
Peso húmedo de 100 semillas (g)	394.74a	404.53a	411.44a	395.87a
Peso seco de 100 semillas (g)	181.05a	194.18a	177.99a	183.07a
Número de semillas por mazorca	477.53a	475.76a	419.06a	411.53a

1.15. SEVERIDAD DE LAS ENFERMEDADES

En la Figura 1, se presenta la severidad de *M. royeri* en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor.

Para los dos métodos de evaluación se pudo identificar una misma tendencia, de manera que la severidad fue más alta en T4: Control, con valores de 86.21 % para la escala visual y de 76.55 % con Leaf Doctor. Los demás tratamientos, para la escala visual se apreciaron diferencias significativas entre T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua y T4: Control, mientras que al evaluarse con el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor, no se presentaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos estudiados.

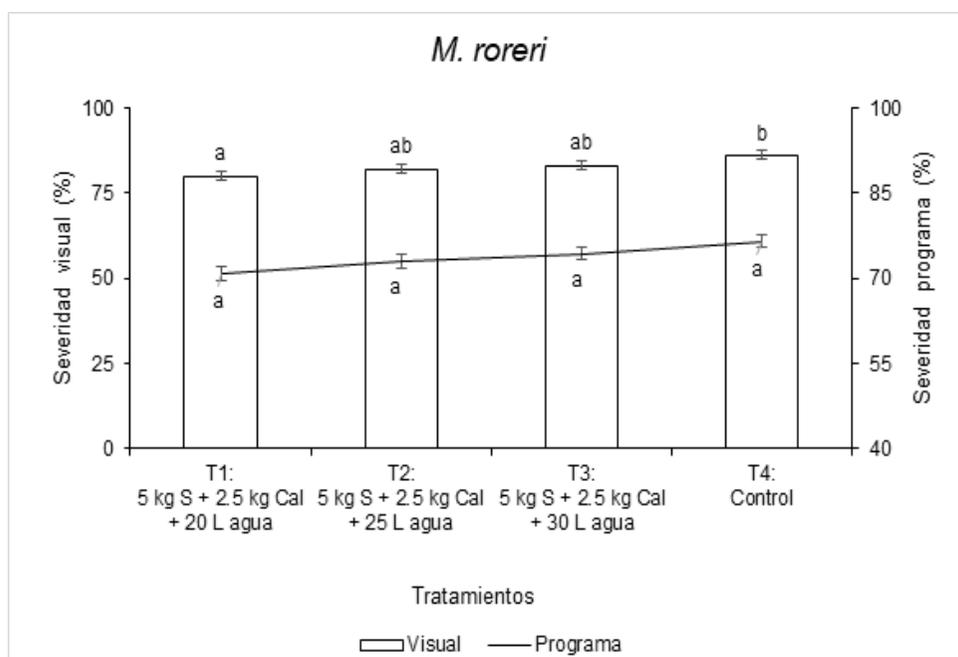


Figura 1. Severidad de *Moniliophthora royeri* en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas (Tukey: $p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar.

Para la severidad de *Phytophthora* spp. en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala

visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor. Tal como se observa en la Figura 2, en ninguno de los métodos de evaluación se pudo apreciar que los tratamientos alcanzaron diferencias significativas. El mayor promedio correspondió a T4: Control, con 62.47 y 62.84 % para la evaluación visual y con Leaf Doctor, respectivamente.

La severidad fue menor en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua de manera que se registró una severidad del 58.95 % para la evaluación visual y de 59.38 % para el procesamiento de imágenes llevado a cabo utilizando Leaf Doctor.

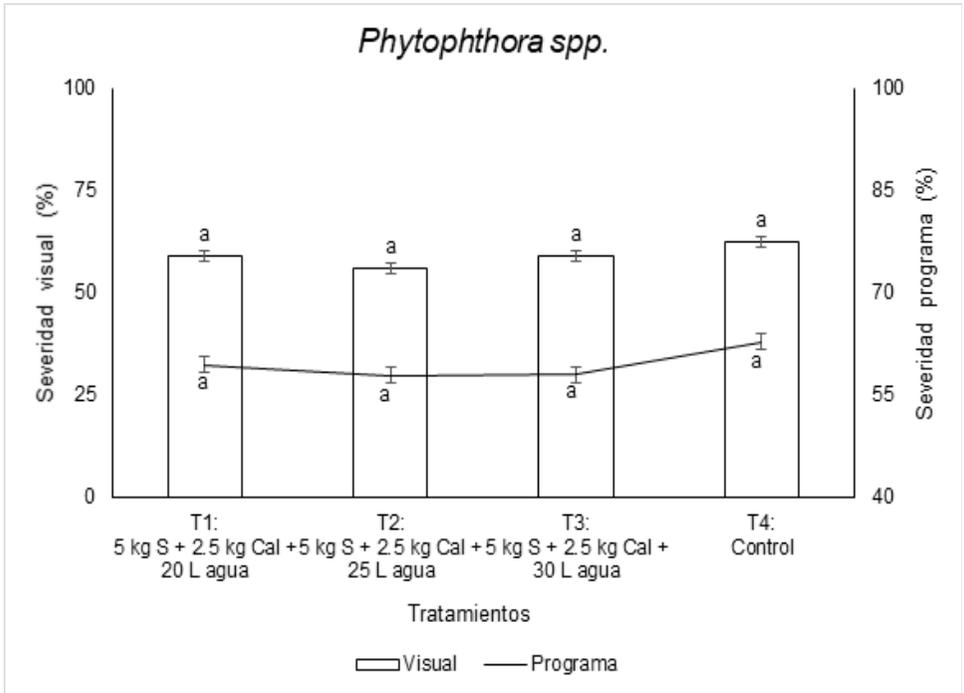


Figura 2. Severidad de *Phytophthora* spp. en mazorcas de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio usando la escala visual y el procesamiento de imágenes con Leaf Doctor. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas (Tukey: $p \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar.

1.16. ANÁLISIS ECONÓMICO

En la Tabla 3, se presenta el análisis económico del rendimiento obtenido con los diferentes tratamientos en estudio en función de los respectivos costos de producción. En T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua se registró mayor rendimiento, con 17.13 kg por parcela, que a un precio de \$1.87

kg⁻¹ según datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (2022), alcanzó una relación B/C de 1.16, lo que se traduce en la obtención de una ganancia de \$ 0.16 por cada dólar invertido bajo este tratamiento.

Tabla 2. Análisis económico del rendimiento del cultivo de cacao CCN-51 en respuesta al manejo fitosanitario a base de la aplicación de diferentes dosis de polisulfuro de calcio. El precio del maíz al momento del ensayo fue de \$1.87 kg⁻¹.

Tratamientos	Rendimiento	B/C
	(kg)	Conglomerado
T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua	17.13	1.16
T2: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 25 L agua	16.17	1.12
T3: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 30 L agua	13.55	1.07
T4: Control	11.74	1.00

DISCUSIÓN

El uso de polisulfuro de calcio en la agricultura se ha difundido desde el siglo XIX (Mohammed & Siddiqui, 2017). En ello radica la evaluación y difusión de esta alternativa para el control tanto de insectos plaga (Cabrera *et al.*, 2018), así como de enfermedades en distintos cultivos de importancia económica (Mamprim *et al.*, 2014). Es por ello que con la presente investigación se pudo evidenciar aspectos importantes sobre el efecto de la aplicación de este fungicida cálcico sobre la severidad de *M. royeri* en el cultivo de cacao tipo CCN-51.

La evaluación de los parámetros agronómicos reflejó a ausencia de un efecto significativo de los tratamientos a base de polisulfuro de calcio respecto al tratamiento control. Eso a excepción del número de chereles sanos, variable en la que no se destacó un efecto notorio de la aplicación de este compuesto cálcico. De esta manera se constata que el control produjo mayor número de chereles con estas características.

Esto podría deberse a que los tratamientos a base de polisulfuro de calcio, al tener azufre en su composición, tiene un efecto de inducción de resistencia sistémica inducida (Uliarte *et al.*, 2019). Por ello es efectivo

contra un amplio espectro de plagas (Peteira, 2020) y enfermedades (Cantúa *et al.*, 2020). Lo anterior concuerda con Onofre (2016), quien en el clon de cacao Tipo Nacional EET-103 aplicó polisulfuro de calcio al 10% en 10 litros de agua cada 15 días, no observó diferencias significativas en la producción de frutos por planta y rendimiento por hectárea.

Por otra parte, la evaluación de *M. royeri* y *Phytophthora* spp. a través de la escala visual versus el procesamiento con Leaf Doctor reflejaron resultados diferentes. Consecuentemente esto condicionó la existencia de diferencias significativas, posiblemente siendo esto un efecto de la exactitud de la aplicación móvil al tener en su programación la identificación de diferentes tonalidades. Resultados que concuerdan con la evidenciado por Fuentes (2021), que al contrastar la evaluación visual y con Leaf Doctor de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en el cultivo de maíz, comprobó mayor exactitud al usar el procesador de imágenes. Lo evidenciado muestra que Leaf Doctor posiblemente es más exacta debido al algoritmo para el procesamiento de imágenes, el cual se basa en áreas de píxeles reconocidas en la imagen que corresponden a tejidos vegetales sanos. La mencionada situación se puede atribuir directamente a la capacidad del procesador de imágenes puesto que su programación le permite identificar daños de acuerdo con la coloración de las hojas (Pethybridge & Nelson, 2015). Por su parte la exploración visual depende mucho de la destreza del investigador, así como su experiencia en la identificación de daños por determinados patógenos (Ramanujan, 2015).

Respecto a esto, Hernández & Sandoval (2015), en su investigación sobre una escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz, pudo apreciar que la exactitud en la determinación de la severidad de la mancha de asfalto en maíz, al utilizarse una escala visual es propensa a errores. Según Sherwood *et al.*, (1983) y Bock *et al.* (2021), las hojas con severidades similares, pero con un número diferente de lesiones generan una tendencia a sobreestimar la enfermedad, principalmente cuando el número de lesiones es muy alto y su tamaño pequeño. Hernández & Sandoval (2015), observaron mayor exactitud en el muestreo con experiencia, permitiendo la corrección de la estimación visual sin experiencia. De igual manera Cevallos (2015), atribuyó errores en la evolución visual generados por la susceptibilidad a errores por parte del investigador.

Para el caso de *M. royeri* a pesar de las diferencias evidenciadas en función del método de evaluación, la severidad fue disminuida en mayor nivel al

tratarse las plantas de cacao CCN-51 con polisulfuro de calcio obtenido de la reacción de 5 kg S + 2.5 kg de cal + 20 L de agua, reduciendo en un 7.33% la severidad de esta enfermedad respecto al tratamiento control. Esto podría ser un efecto de la dilución de la cal y azufre en menos cantidad de agua, lo que da como resultado de la obtención de un producto final menos diluido (Salazar, 2021), por lo que se incrementaría su efectividad (Barrón *et al.*, 2020).

Además, concuerda con los resultados obtenidos en el cultivo de tomate por Salazar (2021), quien al aplicar polisulfuro de calcio logró disminuir la severidad de *A. solani* entre un 5 y 15% en el estrato alto de la planta, de 10 a 20% en el estrato medio y de 5 a 10% para el estrato bajo. Sin embargo, Onofre (2016), no observó diferencias significativas en cuanto a incidencia y severidad de *M. royeri* en el uso de polisulfuro de calcio. Los hallazgos de este autor podrían ser un efecto de la preparación de este fungicida con menores cantidades de azufre y cal, las cuales fueron de 2.50 y 1.25 kg, respectivamente en 12 litros de agua.

En contraste con la enfermedad anterior, la evaluación del efecto del polisulfuro de calcio en la severidad de *Phytophthora* spp., no exhibió diferencias significativas, lo que muestra que posiblemente este compuesto no es eficiente para el control de esta enfermedad. Esto podría estar relacionado con la ausencia de cobre en el producto en estudio, puesto que algunos autores refieren al cobre como más efecto para el control de esta enfermedad (Calva, 2016; Acurio & Montes, 2020). Por ello, sería interesante la exploración de dosis más altas para contrastar posibles diferencias.

Respeto a esta enfermedad, Donaire & García (2006) así como Estrada & Dávila (2019), destacan que, para el control de hongos de este género, como *Phytophthora palmivora*, es recomendable el uso de caldo bordelés o sulfato de cobre (es decir la cal tiene un bajo contenido de óxido de calcio). Sin embargo, en el cultivo de zanahoria, Ávila-Cubillos (2015), menciona que se deben realizar aplicaciones preventivas de polisulfuro de calcio en dosis al 5% para el control de damping off o mal del talluelo (Complejo de hongos: *Pythium* sp., *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium tode*).

La valoración económica reflejó mayor rentabilidad económica en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua, a consecuencia de una menor severidad de *M. royeri* que generó un menor impacto en la calidad de las almendras. Es por esto que se puede decir que se debería tomar en consideración este tratamiento para el control fitosanitario con fines orgánicos en el cultivo de

cacao. Dado su bajo costo y buena receptividad por parte de la agricultura orgánica este producto puede ser de gran interés para los cultivadores. Sin embargo, su efecto ambiental completo debe continuar siendo evaluado en un amplio espectro para comprender su influencia en los agroecosistemas (De Andrade *et al.*, 2020). Finalmente, se puede puntualizar que, si bien es cierto, hay evidencia de los beneficios del uso de compuestos sulfúricos para el control de enfermedades en plantas (De Andrade *et al.*, 2020). El uso de polisulfuro de calcio debe ser moderado, ya que si es excesivo puede provocar desequilibrios en el suelo y las plantas (Chin-Yuan *et al.*, 2021). Consecuentemente podría afectar la calidad de los alimentos producidos y provocando impactos negativos en el medio ambiente (Cruz *et al.*, 2020).

The cover features a close-up photograph of various vegetables, including a large yellow and orange squash, a green zucchini, and a red and green bell pepper. The background is blurred, showing what appears to be a market stall with a striped awning. The design includes a green triangle in the top right corner and a yellow triangle in the bottom left corner.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los tratamientos estudiados no mostraron diferencias notables respecto al tratamiento control en ninguna de las variables productivas evaluadas a excepción del número de chereles sanos que fue mayor en T4: Control, sin embargo, el rendimiento obtenido por parcela fue mayor en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua.
- Al analizar visualmente la severidad de *M. royeri* disminuyó significativamente en T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua, respecto al T4: Control, pero el procesamiento de análisis mostró una evaluación más exacta reflejando a ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que para *Phytophthora* spp. bajo ambos métodos de evaluación, las dosis de polisulfuro de calcio no disminuyeron significativamente la severidad de esta enfermedad.
- En T1: 5 kg S + 2.5 kg Cal + 20 L agua se observó mayor beneficio económico, teniéndose una ganancia de \$ 0.16 por cada dólar invertido bajo este tratamiento para el manejo fitosanitario a base de polisulfuro de calcio.

RECOMENDACIONES

- Evaluar dosis más altas de polisulfuro de calcio para el manejo fitosanitario de enfermedades en el cultivo de cacao, de manera que se puedan determinar existencia o ausencia de diferencias significativas en la disminución de la severidad.
- Replicar el presente estudio en época seca a fin de reconocer posibles beneficios de la aplicación de polisulfuro de calcio en la disminución de la severidad de *M. roleri* y *Phytophthora* spp.
- Comparar distintas frecuencias de aplicación de polisulfuro de calcio de manera que se puedan establecer efectos preventivos en la incidencia y severidad de las enfermedades evaluadas en el presente estudio en el cultivo de cacao.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, M., Alvarado, A., & Gallardo, A. (2021). Análisis comparativo sobre la incidencia de las tres principales enfermedades en el cacao CCN-51, en el cantón La Troncal, provincia del Cañar, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* 12(1): 20–30.
- Acurio, O., & Montes, D. (2020). Aplicación de los biofungicidas orgánicos en el control de la mazorca negra (*Phytophthora* spp.) en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en el cantón Valencia. Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná-Ecuador. 55 p.
- Adeniyi, D. (2018). Diversity of cacao pathogens and impact on yield and global production. Tenerife-España. IntechOpen. 164 p.
- Aguirre, G. (2019). Caracterización molecular de *Moniliophthora roreri* causante de la vaina helada (moniliasis) en el cacao en tres provincias del Ecuador: Los Ríos, Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas . Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 73 p.
- Ávila-Cubillos, E. (2015). Manual dle cultivo de zanahoria. Cámara de Comercio de Bogotá. Bogotá-Colombia. 50 p.
- Ayala, M. (2008). Manejo integrado de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante el uso de fungicidas, combinado con labores culturales. Escuela Superior Politecnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador. 11 p.
- Bailey, B., Evans, H., Phillips, W., Ali, S., & Meinhardt, L. (2018). *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular Plant Pathology* 19(7): 1580-1594.
- Barrera, V., Escudero, L., Racines, M., García, C., Arévalo, J., Casanova, T., Loor, G., Tarqui, O., Plaza, L., Sotomayor, I., Zambrano, F., Rodríguez, G., Peña, G., Párraga, J., Alwang, J., Domínguez, J. (2019). La cadena de valor del cacao y el bienestar de los productores en la provincia de Manabí-Ecuador. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador. 204 p.

- Barrón, L., Mena, J., & Garza, E. (2020). Nuevas estrategias de control de mosca blanca, vector de enfermedades virales en chile serrano en el centro y norte de México. *Abanico Agroforestal* 2: 1-14.
- Benítez, S. (2019). Evaluación in vitro del efecto supresivo de *Trichoderma* spp. para el control de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 70 p.
- Bustamante, M., & García, M. (2021). Implementación de modelos Machine Learning aplicados al estudio de enfermedades del *Theobroma cacao* para huertas agroecológicas del cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná-Ecuador. 125 p.
- Cabrera, M., Robledo, J., & Soto, A. (2018). Actividad insecticida del caldo sulfocálcico sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín Científico del Centro de Museos* 22(2): 24-32.
- Calva, C. (2016). Control químico in vitro de *Phytophthora* sp. agente causal de la mancha negra en el cultivo de cacao. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador. 58 p.
- Cantúa, J., Flores, A., & Valenzuela, J. (2020). Compuestos orgánicos volátiles de plantas inducidos por insectos: situación actual en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3): 729-742.
- Carranza, G. (2015). Identificación específica del agente causal de la mazorca negra (*Phytophthora* spp.) en cacao en la zona central del Litoral. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 75 p.
- Carrión, J. (2012). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jama-Manabí. Tesis de grado presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Agroempresas. Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 65 p.
- Cevallos, K. (2015). Caracterización patogénica de aislados de *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en cacao (*Theobroma cacao* L), en tres provincias amazónicas del Ecuador. Universidad Estatal Amazónica. Puyo-Ecuador. 88 p.
- Chamorro, M. (2018). Evaluación de programas fitosanitarios junto a una práctica cultural para el control de *Moniliophthora roreri* en cacao (*Theobroma cacao*). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 97 p.
- Chávez-López, J. (2020). Caracterización cultural, patogénica y sensibilidad

- in vitro de *Phytophthora* spp. asociado a enfermedades de mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta-Ecuador. 62 p.
- Chin-Yuan, H., Pei-Cheng, C., Jih-Hsing, C., Yu-Chih, W., Xiang-Min, H., & Shu-Fen, C. (2021). Feasibility of remediation lead, nickel, zinc, copper, and cadmium-contaminated groundwater by calcium sulfide. *Water* 13(16): e-2266.
- Correa, J., Castro, S., & Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronómica* 63 (4): 388-399.
- Corredor-Camargo, E., Castro-Escobar, E., & Páez-Barón, E. (2017). Estimación de la huella hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. *Ciencia y Agricultura* 14(2): 7-17.
- Cruz, J., Hernández, V., Sánchez, L., & Fuentes, L. (2020). Alternativas de control biorracionales sobre *Phytophthora infestans*, fi topatógeno causante de la gota en papa. *NOVA* 19 (36): 31-48.
- De Andrade, J., Pattaro, F., Pessôa, M., Rovere, M., Cruz, C., & Leite, C. (2020). Management of citrus leprosis using lime sulphur and their implications to soil and plant properties. *Revista Brasileira de Fruticultura* 42(4): e-589.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2019). InfoStat versión 2019. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba-Argentina, Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>.
- Donaire, R., & García, W. (2006). Alternativa agroecológica para el control del tizón tardío, *Phytophthora infestans*, de la papa en Colomi - Bolivia. *Acta Nova* 3(3): 564-577.
- Durán, F. (2010). Cultivo y explotación del cacao. Grupo Latino. México DF-México. 424 p.
- Estrada, U., & Dávila, E. (2019). Validación de dos concentraciones de Caldo bordelés, para el control de Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y Mazorca Negra (*Phytophthora palmivora*) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en los municipios de Rancho Grande, Matiguas y El Cua 2019. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua- Nicaragua. 80 p.
- Estrella, E., & Cedeño, J. (2012). Medidas de Control de bajo impacto ambiental para mitigar la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif y Par.

- Evans et al.) en cacao híbrido nacional x trinitario en Santo Domingo de los Tsáchilas. Universidad de las Fuerzas Armadas. Santo Domingo-Ecuador. 17 p.
- Evans, H., Holmes, K., & Reid, A. (2003). Filogenia del patógeno de la pudrición de las mazorcas heladas del cacao. *Plant Pathology* 52(4): 429-531.
- Figuroa, Y. (2017). Estudio del daño de la *Moniliophthora roreri* (monilia) en la producción del cultivo de cacao en el Valle de Hacha, San Vicente. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa-Ecuador. 107 p.
- Fuentes, A. (2021). Evaluación de la severidad de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en maíz (*Zea mays*) bajo el efecto del azufre. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 67 p.
- García, C. (2014). El cacao y su incidencia en la industria nacional de elaborados de cacao en el período 2008-2012. Tesis para optar el grado de Magister en Finanzas y Proyectos Corporativos. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 141 p.
- Hernández, A., Ruíz, Y., Acebo, Y., Miguélez, Y., & Heydrich, M. (2014). Antagonistas microbianos para el manejo de la pudrición negra del fruto en *Theobroma cacao* L. *Protección Vegetal* 29(1): 11-19.
- Hernández, L., & Sandoval, J. (2015). Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(1): 95-103.
- Jácome, D. (2016). Identificación de *Phytophthora palmivora* como el agente causal de la pudrición del cogollo en palmito (*Bactris gasipaes*) en el Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 58 p.
- Jaimes, Y., & Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) EN Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). CORPOICA. Bogotá-Colombia. 90 p.
- Krauss, U., Hidalgo, E., Bateman, R., Adonijah, V., Arroyo, C., García, J., Crozier, J., Brown, N., Martijin, G., Holmes, K. (2010). Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). *Biological Control* 54(3): 230-240.
- Lacoste, P., Aranda, M., Yuri, J., Castro, A., Garrido, A., & Rendón, B. (2013). La Sociedad Nacional de Agricultura (SNA) y el desarrollo de la fruticultura en Chile, 1838-1933. *Mundo Agrario* 13(26): 1-23.

- Mamprim, A., Angeli, L., Da Silva, F., Formentini, M., Castilho, C., & Barbosa, R. (2014). Efecto de productos fitosanitarios sobre parámetros biológicos de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hypocreales: Cordycipitaceae). *Revista de Protección Vegetal* 29(2): 128-136.
- Meinhardt, L., Rincones, J., Bailey, B., Aime, M., Griffith, G., Zhang, D., & Pereira, G. (2008). *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao: what's new from this old foe? *Molecular plant pathology* 9(5): 577-588.
- Mita, E., Pobedinskaya, M., Statsyuk, N., & Elansky, S. (2013). Effect of some pesticides on the in vitro oospore formation and mycelial growth of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Cyprus* (16): 201-208.
- Mohammed, S., & Siddiqui, S. (2017). Calcium polysulphide, its applications and emerging risk of environmental pollution: A review article. *Environmental Science and Pollution Research* volume 24: 92-102.
- Murillo, J. (2015). Efecto de la sensibilidad de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la eficacia biológica de fungicidas sistémicos utilizados contra la Sigatoka Negra. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos-Costa Rica. 176 p.
- Navia, V. (2016). Fungicidas minerales (Polisulfuro de calcio + Caldo de ceniza) en el control de moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad "CCN-51" a la edad de tres años. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 83 p.
- Ndoubè, M., Cilas, C., Nyemb, E., Nyasse, S., & Bieysse, D. (2004). Impact of removing disease pods on cocoa black pod caused by *Phytophthora megakarya* and on cocoa production in Cameroon. *Crop Protection* ;23(5): 415-424.
- Nita, M., Ellis, M., Wilson, L., & Madden, L. (2006). Effects of application of fungicide during the dormant period on phomopsis cane and leaf spot of grape disease intensity and inoculum production. *Plant Disease* 90(9): 1195-1200.
- Ochoa-Fonseca, L., Ramírez-González, S., López-Báez, O., Espinosa-Zaragoza, S., Alvarado-Gaona, Á., & Álvarez-Siman, F. (2017). Control in vivo de *Moniliophthora roreri* en *Theobroma cacao*, utilizando polisulfuro de calcio y silicosulfocálcico. *Ciencia y Agricultura* 14(2): 59-66.
- Onofre, M. (2016). El manejo fitosanitario del cultivo de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) y el rendimiento del mismo, en la Asociación

- Kallari. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 112 p.
- Palma, J., & Olivas, R. (2015). Manejo integrado de Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en cacao (*Theobroma cacao*) y su impacto en el rendimiento, Cooperativa Flor de Pancasán 2014-2015. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua-Nicaragua. 124 p.
- Paredes, M. (2016). El manejo fitosanitario del cultivo de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) y el rendimiento del mismo, en la asociación Kallari. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 112 p.
- Pérez-Vicente, L. (2018). *Moniliophthora roreri* H.C. Evans et al. y *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo. *Revista de Protección Vegetal* 33(1): 1-13.
- Pesantez, P. (2021). Aplicación de polisulfuro de calcio como método preventivo del moho gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo de tomate riñón variedad Michaela bajo invernadero. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 47 p.
- Peteira, B. (2020). La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal* 35(1): e07.
- Pethybridge, S., & Nelson, S. (2015). Leaf Doctor: A new portable application for quantifying plant disease severity. *Plant Disease* 99(10): 1310-1316.
- Quingaísa, E. (2007). Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen, “Estudio de caso: denominación de origen “cacao arriba”. Quito-Ecuador.
- Ramírez-Gil, 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. *Revista de Protección Vegetal* 31(1): 42-49.
- Ramírez-González, S., López-Báez, O., Guzmán-Hernández, T., Munguía-Ulloa, S., & Moreno-Martínez, J. (2011). El polisulfuro de calcio en el manejo de la moniliasis *Moniliophthora roreri* (Cif & Par). Evans et al. del cacao *Theobroma cacao* L. *Tecnología en Marcha* 24(4): 10-18.
- Robles, B. (2008). Validación de biopesticidas en base a bacterias epífitas para el control de la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif y Par. Evans et al.) en el cultivo de cacao híbrido CCN 51 en Santo Domingo, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO. Santo Domingo de los Tsáchilas-Ecuador. 132 p.

- Romero, R. (2018). Biodiversidad de ecotipos de *Moniliophthora roreri* en cacao (*Theobroma cacao*) clon CCN-51 y la actividad antagonista de PGPR. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 93 p.
- Salazar, M. (2021). Control del tizón temprano (*Alternaria solani*) con productos orgánicos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la Estación Experimental de Sapecho del Municipio de Palos Blancos. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. 109 p.
- Sánchez, F., & Garcés, F. (2012). *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. en el cultivo de cacao. *Scientia Agropecuaria* 3: 249 - 258.
- Sánchez, M., Jaramillo, E., & Ramírez, I. (2015). Enfermedades del cacao. Universidad Técnica de Machala. Machala-Ecuador. 153 p.
- Sidi, N., Aris, A., Talib, S., Johan, S., Yusoff, T., & Ismail, M. (2015). Influential factors on the cation exchange capacity in sediment of Merambong Shoal, Johor. *Procedia Environmental Sciences* 30(1): 186-189.
- SIPA. (2022). Precios agroindustrias: Centros de acopio de cacao. Obtenido de http://sinagap.mag.gob.ec/sina/paginasCGSIN/Rep_Precios_Agro_CA.asp.
- Toruño, T., Stergiopoulos, I., & Coaker, G. (2016). Plant-pathogen effectors, cellular probes interfering with plant defenses in spatial and temporal manners. *Annual Review of Phytopathology* 54: 419-441.
- Tuelher, E., Venzon, M., Guedes, R., & Pallini, A. (2014). Toxicity of organic-coffee-approved products to the southern red mite *Oligonychus ilicis* and to its predator *Iphiseiodes zuluagai*. *Crop Protection* 55(1): 28-34.
- Uliarte, E., Ferrari, F., Martínez, L., Dagatti, C., Ambrogetti, A., & Montoya, M. (2019). Estrategias de manejo para la transición hacia viñedos sostenibles en Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* 51(2): 105-124.
- Vasco, S., Amores, F., Zambrano, J., & Saucedo, A. (2004). Selección de híbridos de cacao productivos, tolerantes a enfermedades y con sabor arriba. INIAP EET Pichilingue. Quevedo-Ecuador. 2 p.
- Villamil, J., Viteri, S., & Villegas, W. (2015). Aplicación de antagonistas microbianos para el control biológico de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en *Theobroma cacao* L. bajo condiciones de campo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 68(1):7441-7450.
- Zurita, A. (2018). Eficacia del pyraclostrobin para el control de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y su efecto sobre la fisiología del cultivo de cacao. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 97 p.

ISBN: 978-9942-626-05-9



9 789942 626059

El cultivo de cacao en el Ecuador presenta serios problemas productivos debidos principalmente al ataque de plagas y enfermedades. Estas enfermedades pueden llegar a causar pérdidas estimadas entre el 50% y el 80% de la producción total anual, dependiendo de las condiciones del medioambiente. El desconocimiento sobre cómo controlar las diferentes enfermedades que atacan al fruto de cacao, que métodos usar o que producto aplicar se ha convertido en un problema importante en la zona. Por esto es preponderante identificar aquellas basadas en la disminución del impacto en el medioambiente, salvaguardando la sostenibilidad de los sistemas productivos.



UTEQ
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO



www.uteq.edu.ec