

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MASTER EN
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

Título: Efecto de diferentes triazoles sobre el desarrollo de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome y el rendimiento de *Coffea arabica* L. en Cienfuegos

Autor: Ing. Delvis Subit Lamí

Tutor: Dr.C. Luis Pérez Vicente

Cienfuegos, 2020



Facultad de Ciencias Agrarias

TITULO DEL TRABAJO: Efecto de diferentes triazoles sobre el desarrollo de *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome y el rendimiento de *Coffea arabica* L. en Cienfuegos

Autor: Ing. Delvis Subit Lamí

Tutor: Dr.C. Luis Pérez Vicente

Año: 2020

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos, Sede "Carlos Rafael Rodríguez" como parte de la terminación de los estudios en la Maestría en Agricultura Sostenible, autorizando a que el mismo sea utilizado por las organizaciones e instituciones para los fines que estime conveniente. No podrá este trabajo ser presentado a eventos, ni publicado sin la aprobación del centro.

Firma del AUTOR

Los que abajo firmamos, certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la Dirección de nuestro centro y que el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnica
Nombre, Apellidos y Firma

Computación
Nombre, Apellido y Firma

Firma del TUTOR

PENSAMIENTO

“Al progreso agrícola deben enderezarse todos los esfuerzos, todos los decretos a fortalecerlos, todos los brazos a procurarlos, todas las inteligencias a prestarle ayuda...”

José Martí

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO a mi esposa por hacerme sentir que está ahí para mí y que soy suficiente para lograr lo que me proponga en la vida,

AGRADEZCO a mi familia, por todo el apoyo en lo largo de mi camino a convertirme en el profesional que soy hoy.

AGRADEZCO a mi tutor, Dr.C Luis Pérez Vicente por confiar en mí, por todo lo que aprendí de él, por hacerme sentir que podía lograrlo,

AGRADEZCO infinitamente a mis amigos, a los de hoy y los de siempre, esos que han permanecido a mi lado todo este tiempo no solo para preguntarme “que necesitas”, sino para decirme “aquí estoy”, en especial a Lili (La flaca) en su ayuda con este proyecto de tesis.

AGRADEZCO a todos los que ayudaron en el trabajo de campo que implicó esta tesis, en especial a los trabajadores de la Finca “Los Nagües” al MSc. Isel González Marrero.

AGRADEZCO a los profesores de la Maestría por todo lo nuevo que me enseñaron,

A todos...**GRACIAS.**

DEDICATORIA

A **ALADYS**, mi esposa,
*por todo su apoyo, su seguridad y
por mostrarme el secreto,
porque siempre ha estado a mi lado
dándome fuerzas cuando me faltaban
e iluminando mis pasos para llegar hasta aquí.*

A **MI FAMILIA**,
*por toda su entrega y apoyo,
por hacerme sentir un ser especial,*

Resumen

Resumen

En Cuba, el cultivo del café es importante en términos económicos, sociales y culturales; participan 37 mil productores, emplea unos 65000 trabajadores y existen unas 28000 ha de la especie *Coffea arabica* susceptible a la roya *Hemileia vastatrix*. Se desarrolló un estudio de control de roya con triazoles, en la comunidad Las Moscas, Cumanayagua, utilizando un diseño de bloques al azar, parcelas de 20 plantas de la var. *Typica*, y 4 réplicas. Las variantes fueron: 1) ciproconazol + tiametoxam a 300 g + 300 g i.a./ha al suelo (Verdadero GD 600); 2) triadimenol + imidacloprid a 750 + 1000 g i.a./ha al suelo (Bayfidan granulado 1,4%); 3) tetraconazol 100 g i.a./ha, en aspersion foliar (Domark 100 CE 10) y 4) tratamiento control. Se realizaron dos tratamientos: en la semana 52 del 2018, con una infección importante en las parcelas y a los 60 días de la primera aplicación. Se evaluó la severidad de la roya con una escala de 9 grados, la producción de ramas y hojas nuevas, el porcentaje de ramas con granos, la cantidad de granos/rama, el peso de 1000 granos y la cosecha total de cerezas. En el tratamiento control la roya alcanzó un 80 % de severidad mientras que los tratamientos con los tres triazoles la infección alcanzó valores entre 1-5 %. El ciproconazol + tiametoxam al suelo, brindó los mejores efectos sobre los parámetros de control y desarrollo de las plantas y un rendimiento 69,9 % mayor que el tratamiento control y la mejor rentabilidad.

Palabras clave: fungicida, roya, café

Summary

Summary

In Cuba, coffee cultivation is important in economic, social and cultural terms; 37000 producers participate, employs about 65000 workers and there are about 28000 ha of the species *Coffea arabica* susceptible to the Roya *Hemileia vastatrix*. A triazoles rust control study was developed in the "Las Moscas" community, Cumanayagua, using a random block design, plots of 20 plants of the var. Typica, and four variants. Variants were: 1) cyproconazole + thiamethoxam at 300 g + 300 g i.a./ha to the ground (Verdadero GD 600); 2) Triadimenol + Imidacloprid at 750 + 1000 g i.a./ha to the ground (Bayfidan granulated 1,4 %); 3) tetraconazole 100 g i.a./ha, in foliar spray (Domark 100 CE10) and 4) control treatment. Two treatments were performed: at week 52 of 2018, with a major infection in the plots and 60 days after the first application. The severity of the rust was evaluated with a scale of 9 degrees, the production of new branches and leaves, the percentage of branches with grains, the amount of grains/branch, the weight of 1000 grains and the total harvest of cherries. In the control treatment, rust reached 80 % severity while treatments with the three triazoles the infection reached values between 1-5 %. Cyproconazole + thiamethoxam to the soil provided the best effects on plant control and development parameters and 69,9 % higher yield than the control treatment and better profitability.

Keywords: fungicide, rust, coffee

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica	6
1.1. Generalidades del cultivo del café	6
1.1.1 El cultivo del café en Cuba	7
1.1.2. Antecedentes del cultivo del café y <i>H. vastatrix</i> en Cienfuegos	9
1.2. Hongos fitopatógenos	11
1.2.1 La roya del café	11
1.2.2 Síntomas de la enfermedad	14
1.2.3 Factores que afectan el desarrollo de la enfermedad	16
1.2.4 Etiología de la enfermedad	17
1.2.5 Descripción morfológica	18
1.2.6 Escalas de evaluación de incidencias de la roya del café	19
1.3. Manejo de la enfermedad	22
1.4. Tipos de fungicidas utilizados en el control de la enfermedad	24
1.4.1. Fungicidas más utilizados en Cuba para el control de la enfermedad	26
1.4.2. Fungicida-Insecticida de uso agrícola Verdadero GD 600	27
1.4.3. Efectos del Tiametoxam sobre los rendimientos	28
1.5. Teoría de los análisis estadísticos no paramétricos	30
Capítulo 2. Materiales y métodos	33
2.1. Ubicación geográfica del municipio Cumanayagua, provincia Cienfuegos	33
2.1.1 Localización geográfica del ensayo en estudio	33

2.1.2 Periodo del estudio y generalidades del ensayo	34
2.2. Distribución del diseño del ensayo en estudio	35
2.2.1 Variantes del experimento. Descripción de los tratamientos	35
2.2.2 Evaluaciones del desarrollo de la enfermedad, el desarrollo vegetativo y la cosecha.	36
2.3. Variables evaluadas para analizar el comportamiento de la enfermedad frente a los cuatro tratamientos aplicados	37
2.3.1 Evaluación de la incidencia de roya (<i>H. vastatrix</i>)	37
2.3.2 Cálculos para determinar la efectividad biológica de las variantes en estudio para el control de <i>H. vastatrix</i>	40
2.4. Indicadores de productividad y rendimiento evaluados en el ensayo	41
2.5. Tipos de análisis estadísticos y diseño del experimento	42
2.6. Costos	42
2.7. Determinación del mejor tratamiento	43
Capítulo 3. Resultados y Discusión	44
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	74

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

La producción de café es ampliamente difundida a nivel mundial siendo la bebida más comercializada en el mundo y la segunda más consumida después del agua y por estas razones se ha convertido en un producto de primera necesidad para muchas personas alrededor del planeta (SAGARPA, 2011; Rojas, 2018).

A su vez, el cultivo de café es considerado como el producto agrícola más importante en el comercio internacional y una mínima reducción en el rendimiento o un ligero aumento en los costos de producción de este cultivo, puede tener un gran impacto en los caficultores y en los países cuyas economías son totalmente dependientes de las exportaciones (APS, 2011).

El café representa para la mayoría de los países donde se produce, uno de los principales productos de exportación que aporta al ingreso neto, y tiene una gran importancia social y cultural. Se consumen más de cien millones de sacos de 62 kilogramos cada año a nivel mundial siendo África, Brasil y Colombia los países que producen más del 40 % de todo el café que se consume (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011). Los principales países en producción de café son Brasil, Viet Nam y Colombia con 61,7; 29,5 y 13,6 millones respectivamente, de sacos de 60 kg. Al cierre del año 2018, solo Brasil producía el 40 % de la producción mundial (International Coffee Organization, 2018).

En Cuba, el café fue introducido en el año 1748 (Cowley & Pego, 1876). Actualmente el cultivo ocupa un lugar importante en la agricultura y representa una fuente de entrada de divisas al país por su venta en el mercado internacional. En el 2017 representó un ingreso por concepto de exportación de café verde y tostado de 5 439 000 USD (FAOSTAT, 2017). Es además un producto que tiene una gran demanda interna debido al consumo de la población por lo que se encuentra priorizado en los planes de desarrollo integral (Pérez, 2015). La producción de café verde en Cuba desde 1962 hasta 2017 disminuyó en un 88 %.

Los rendimientos del cultivo en 2017 promediaron 1,55 toneladas (t) de café verde por hectárea; fueron 64 % más bajos comparados que los informados a nivel mundial (FAOSTAT, 2017). Entre los factores que más determinan los bajos rendimientos están la falta de mano de obra en la montaña, el manejo del cultivo, y el control de enfermedades. La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) es de los problemas fitosanitarios que más inciden en la calidad y los rendimientos del café en Cuba (Pérez, 2015).

La roya del café fue reportada formalmente por primera vez en 1869 en la isla de Ceilán, hoy Sri Lanka, donde destruyó el cultivo del grano e impulsó la transición hacia la producción del té. Llegó al continente americano cien años después y durante la siguiente década se extendió por Sudamérica y Centroamérica (Avelino, et al., 2013; Barrera, et al., 2013).

Los síntomas de la enfermedad inician como pequeñas manchas de 1-3 mm, translúcidas y de color amarillo claro. La lesión crece en tamaño y puede coalescer con otras manchas, hasta formar grandes parches con abundante polvo amarillo (esporas) en el envés de las hojas mientras que en el haz se observan como manchas amarillas. Las lesiones viejas se necrosan, pero la esporulación puede continuar en el margen de la lesión (Castro, et al., 2009).

H. vastatrix es un parásito obligado, sobrevive únicamente en tejido vivo del hospedante. Las urediniosporas pueden sobrevivir hasta por seis semanas bajo condiciones ambientales secas. No se han reportado hospedantes alternos y no sobrevive en restos del cultivo (APS, 2011).

La roya del cafeto, informada por primera vez en Cuba en 1984, es la enfermedad más destructiva de este cultivo y la de mayor importancia económica mundial, debido a que provoca la caída prematura de las hojas, y propicia la reducción de la capacidad fotosintética, así como el debilitamiento de los árboles enfermos. En infecciones severas, puede ocasionar la muerte regresiva en las ramas, e incluso la muerte de los árboles (Mariscal, 2011). La enfermedad en un cafetal puede ocasionar pérdidas entre un 10 %

y un 60 % de la producción (Gaitán, 2013; Pérez, 2015). Los principales daños causados por la roya son la caída prematura de las hojas y el secamiento de las ramas, no produciendo consecuentemente frutos al año siguiente. El secado recurrente de las ramas ortotrópicas y plagiotrópicas de la planta de café, reduce la vida productiva de esta, haciéndola gradualmente poco rentable. Las pérdidas en las regiones que producen café arábico donde las condiciones climáticas son favorables, pueden variar desde un 35 % a 50 % (Rivillas, 2015; Zambolim, 2015). Bajo condiciones de sequía prolongada, durante los períodos de mayor gravedad de la enfermedad, las pérdidas en la producción pueden ser mayores a 50 % (Zambolim, 2015). El impacto económico de *H. vastatrix* en el cultivo no sólo se debe a la reducción de la cantidad y la calidad de la producción, sino también a la necesidad de implementar costosas medidas de control en los cultivares susceptibles (CABI, 2016).

H. vastatrix representa un gran riesgo fitosanitario por tener un comportamiento epidémico en muchas zonas cafetaleras. Unido a esto, se ha observado que la variación de las condiciones climáticas y un manejo no adecuado de la roya pueden tener como consecuencia el aumento en incidencia y severidad (Cristancho, et al., 2012).

El manejo integrado de esta enfermedad fungosa comprende la realización de labores agrotécnicas como la fertilización balanceada con fórmula completa y nitrogenada, deshierbe, poda, regulación de sombra de los cafetales con el fin de evitar rangos de temperatura favorables para su desarrollo, reducir la humedad relativa, estimular el incremento de área foliar y la vida media de las hojas, así como el control biológico a base de aplicaciones de *Lecanicillium lecanii* R. Zare & Gams (Guharay, et al., 2000; Rivillas, et al., 2011).

Se recomienda evitar densidades de plantación altas (superior a 10 000 plantas por hectárea) para impedir la proliferación de chupones múltiples que induzcan autosombreo y realizar tratamientos químicos. Entre ellos, los triazoles son los más efectivos y de menor dosis de aplicación (Rivillas, et al., 2011; Zambolim (2002) citado por Fernández & Pérez, 2013).

Investigaciones desarrolladas en Cenicafé en Colombia, han demostrado la eficiencia en el control de *H. vastatrix* por medio del uso de fungicidas de contacto cúpricos, sistémicos derivados de DMI's como son los triazoles, Qol's como las estrobirulinas y las mezclas de DMI's y Qol's. Hasta el presente no se conocen reportes de resistencia del patógeno a fungicidas (Rozo & Cristancho, 2010). En Brasil se utiliza masivamente la mezcla bordelesa y el uso de mezclas sulfocálcica (Zambolim, 2015).

Estudio realizado en la provincia de Cienfuegos refiere un mejor resultado de manejo, cuando se combinan moléculas capaces de mostrar un efectivo control sobre los patógenos y que a su vez tengan efecto directo sobre el vigor y la productividad de las plantas. Ejemplo de ello es la aplicación de ingredientes activos como el tiametoxam que posee un efecto bioactivador de enzimas que incide de forma directa en mejores rendimientos y mayor producción del grano, lográndose una mayor rentabilidad económica en beneficio de los productores cafetaleros (Subit & Sierra, 2020).

Un elemento importante en el manejo, es la definición de tecnologías que incluyan un menor uso de agua en las condiciones de la montaña donde se produce la mayor parte del café.

En las zonas de Cienfuegos donde se cultiva el café, están dadas las condiciones de ocurrencia de lluvias, temperatura y humedad relativa que favorecen el desarrollo de la enfermedad al punto de constituir epidemia, esto ha repercutido en la disminución de las áreas plantadas y en la disminución de los rendimientos año tras año, lo que hace que el agricultor perciba menores ingresos por la venta del grano y a su vez le preste menor interés y atenciones a las plantaciones establecidas, unido a esto, las tecnologías aplicadas para el control de la roya son limitadas al no contar con una amplia gama de fungicidas, y los recomendados en la estrategia fitosanitaria son costosos; algunos conllevan un uso de mayores volúmenes de agua y tienen un impacto negativo en el agroecosistema y otros, mayores gastos en transportación y almacenamiento (Subit & Sierra, 2020).

En la Provincia se cultiva café en la zona de premontaña y montaña del macizo de Guamuhaya, mostrando un sostenido deterioro por diferentes causas, principalmente debido a las afectaciones por *H. vastatrix*, según estadísticas, con disminución de las áreas existentes en los últimos 21 años de un 68 %, con un área actual de 1 015,9 ha, la producción ha disminuido un 90,8 % con tan solo 149,6 t, así mismo, el rendimiento ha disminuido un 90,6 % con 0,15 t.ha⁻¹, todo expresado en café oro para la campaña 2018-2019 (Anon, 2019).

Por todo lo antes abordado, se enuncia el siguiente problema científico:

La roya del café, causada por el hongo *H. vastatrix* tiene un efecto nocivo sobre el vigor de las plantas, la productividad y la rentabilidad de la producción de las variedades de la especie *C. arabica* en Cienfuegos.

Para dar respuesta a la problemática planteada se estableció la siguiente hipótesis:

Si se aplican tratamientos con fungicidas triazoles, se inhibe el desarrollo de *H. vastatrix*, se estimula el vigor de las plantas, el rendimiento y la rentabilidad de las producciones de *C. arabica* en Cienfuegos.

Objetivo general:

Evaluar la efectividad biológica de diferentes fungicidas de la familia de los triazoles sobre el desarrollo de *H. vastatrix* y su efecto en el rendimiento y la rentabilidad de *C. arabica* en Cienfuegos.

Objetivos específicos:

1. Determinar la efectividad biológica de diferentes triazoles sobre la inhibición del desarrollo de *H. vastatrix* en *C. arabica*.
2. Determinar el impacto de *H. vastatrix* sobre el desarrollo y la productividad de *C. arabica* y los efectos de las aplicaciones con triazoles sobre el rendimiento.
3. Analizar la eficiencia económica del manejo de *H. vastatrix* con diferentes fungicidas derivados de triazoles en *C. arabica*.

Capítulo I

Capítulo 1: Revisión bibliográfica

1.1 Generalidades del cultivo del café

Las especies de mayor importancia son *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre, responsables del 65 % y 35 % de la producción mundial respectivamente; otras especies como *Coffea liberica* Hiern y *Coffea racemosa* Lour son cultivadas en pequeñas zonas de Mozambique donde tienen una importancia únicamente local (Rodríguez, et al., 1975; Romero, 2013). *C. racemosa* es nativo de Mozambique y *C. liberica* de Monrovia en Liberia. Esta última, muy popular en Indonesia entre 1880 y 1905, luego fue sustituida por otras especies. En Costa de Marfil son conocidas diversas variedades del café liberiano, siendo la variedad indeniensis la que más se encuentra en cultivo (Andrade, et al., 2009).

Coffea arabica L. comúnmente conocida como “arabica” es una especie autógama alotetraploide, con un complemento cromosómico de $2n=4x=44$, y un comportamiento meiótico de tipo disómico, comparable al de un diploide funcional. Las demás especies de *Coffea*, incluida la especie *C. canephora*, son diploides con $2n=2x=22$ cromosomas y con un mecanismo de reproducción autoincompatible (Romero, 2013).

Investigaciones basadas en marcadores moleculares, análisis de secuencias de ADN y técnicas de citogenética molecular, soportan la hipótesis que *C. arabica* es el resultado de una hibridación interespecífica entre dos formas ancestrales diploides relacionadas con las especies actuales *C. eugenioides* y *C. canephora* (Lashermes, et al., 1996). Como resultado de la estabilización de dicho híbrido ancestral, se originó el alotetraploide actual *C. arabica*, cuyo genoma está constituido por dos subgenomas denominados C^a y E^a (Carvalho & Monaco, 1971; Grassias & Kaminacher, 1975). *C. arabica* L. presenta una baja diversidad genética atribuida a su origen alotetraploide reciente, su naturaleza autogámica y particularmente a la forma de dispersión a partir de su centro de origen (Lashermes, et al., 1996; Romero, 2013).

Las variedades cultivadas en América tienen su origen a partir de la introducción de unas pocas semillas pertenecientes a dos variedades: *C. arabica* var. *Typica* “Cramer”, introducida en el siglo XVIII a partir de una única planta de Indonesia cultivada en el jardín botánico de Ámsterdam y *C. arabica* variedad Bourbon (B. Rodr.) que fue introducida de la isla de Bourbon, actual isla de la Reunión, Francia, durante el siglo XIX (Lécolier, et al., 2009).

Para incrementar la base genética, fueron realizadas varias misiones de colección al centro de origen de *C. arabica* en Etiopía, siendo las más importantes la de la FAO (Food and Agriculture United Nations Organization) en 1964 y la realizada por el Institute of Scientific Research for the Development and Cooperation-ORSTOM de Francia en 1966. Las introducciones colectadas durante estas expediciones fueron distribuidas a diversos países productores de café, incluido Colombia, aunque, se han utilizado poco en los programas de mejoramiento por falta de caracterización (Chaparro, et al., 2004). Esta estrecha base genética de *C. arabica*, es uno de los factores que explica su elevada susceptibilidad a enfermedades y plagas insectiles como *H. vastatrix* Berkeley & Broome (roya anaranjada) e *Hypothenemus hampei* Ferrari (broca del café) (Romero, 2013).

1.1.1 El cultivo del café en Cuba

El café se introdujo en Cuba en el año 1748 por el comerciante habanero José Antonio Gelabert luego de haber emprendido un viaje a República Dominicana (Cowley & Pego, 1876). Actualmente el cultivo del café ocupa un lugar importante en la agricultura y representa una fuente de entrada de divisas al país por su venta en el mercado internacional, además de ser un producto que tiene una gran demanda interna debido al consumo de la población, por lo que se encuentra priorizado en los planes de desarrollo integral (Pérez, 2015). La producción de café verde desde 1962 hasta 2017 ha disminuido en un 88 %; en el 2017 se produjeron 6 306 t en un área de 19 867 ha y se obtuvo un rendimiento de 0,317 t.ha⁻¹. Las exportaciones de café verde y tostado en 2017, representaron al país un ingreso en

valores de 5 439 000 USD; sin embargo, se importaron 7 913 t con un valor de 31 778 000 USD (FAOSTAT, 2017).

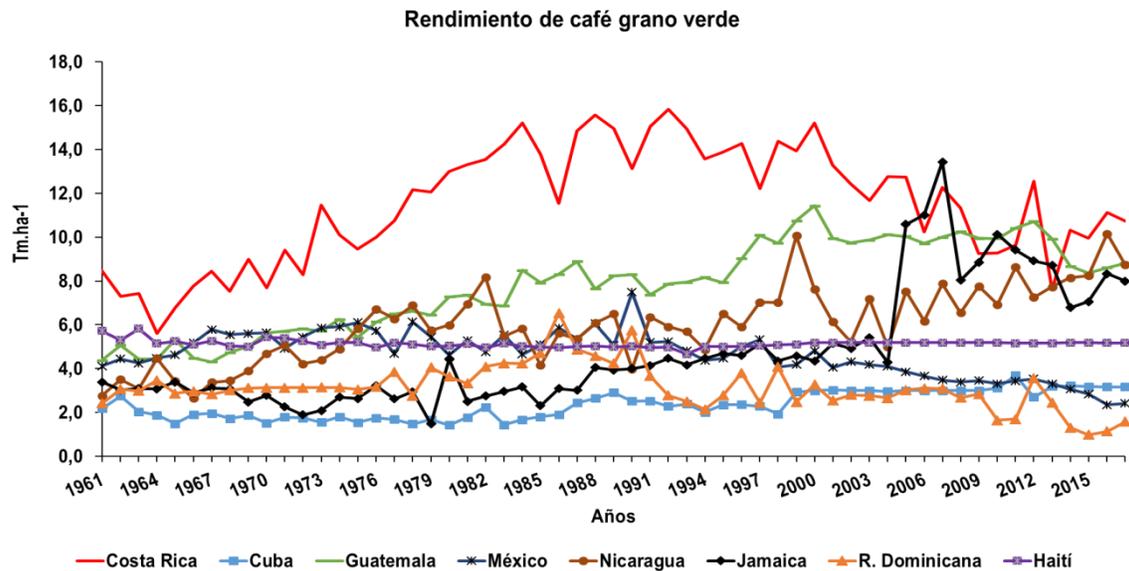
Según Pérez (2015), en la actualidad la producción se lleva a cabo en zonas de montaña de 8 provincias y 37 municipios del este (85 % del total), el centro (10 %) y el occidente (5 %) del país, la cual es llevada a cabo por 36 300 productores y 18 400 trabajadores en el beneficio. Existen 100.4 Mha dedicadas al café bajo sombra, de las cuales, existen 81.7 Mha en producción, el 65 % del área y el 67 % de la producción se encuentran en el sector cooperativo y campesino. A partir de la crisis económica de los años 90, la producción cafetalera se deprimió debido a la falta de inversión para renovaciones, cultivo y proceso y de fuerza de trabajo, debido a la migración a otros sectores económicos en las ciudades. Desde el 2012 se desarrolla un programa cafetalero que busca progresivamente recuperar niveles de plantación y producción y estabilizar el acceso a insumos y fuerza de trabajo. Las principales variedades de café cultivadas pertenecen a *Coffea arabica* L. (Typica, Caturra, Catuai, Bourbon), *Coffea canephora* P. (Robusta) y los híbridos de ambas especies Catimor e Isla; en Cuba el 65 % de las áreas existentes son de *C. arabica* y el 35 % de *C. canephora*.

Cuba posee 66 000 ha de café enclavadas básicamente en la montaña; desde 2017 se incorporan a la actividad cafetalera áreas del llano ubicadas en seis provincias, lo cual forma parte de una estrategia para aumentar los volúmenes productivos, a lo que se suma la renovación de otras áreas, así como se incorporan 10.0 Mha con sistemas de riego con el objetivo de triplicar las producciones hasta el año 2030 (Martín, 2018). El rendimiento del cultivo expresado en café cereza en 2017 a nivel mundial fue de 4,25 t.ha⁻¹; el país tiene rendimientos 64 % más bajos con valor de 1,55 t.ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017).

Entre los factores que más determinan en Cuba el bajo rendimiento se encuentran, el manejo del cultivo debido primeramente a la falta de mano de obra en la montaña, y después el control de enfermedades y plagas. El Compendium de Protección de Cultivos del CABI (2007), informa para Cuba un total de 54 plagas entre insectos y

hongos; de ellos, *Hypothenemus hampei* Ferrari (broca del café) y *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (roya del café), son los problemas fitosanitarios que más inciden en la calidad y los rendimientos. En los últimos años las pérdidas a causa de *H. vastatrix* en Cuba han sido consideradas menores, sin embargo, los rendimientos del país son los menores de la cuenca del Caribe (Figura 1).

Figura 1. Rendimientos de café grano verde desde 1961 hasta 2017 según



FAOSTAT (2020) en ocho países de la cuenca del Caribe.

1.1.2 Antecedentes del cultivo del café y *H. vastatrix* en Cienfuegos

El municipio cienfueguero de Cumanayagua se caracteriza por tener un desarrollo económico industrial agropecuario con predominio de cultivos importantes como el café, posee un territorio favorable para el fomento de este cultivo por presentar un relieve de mediana a gran altura con una zona montañosa donde existe un microclima adecuado, con condiciones tropicales y precipitaciones abundantes (Ecured, 2019).

La producción de café actualmente se localiza en tres zonas que comprende premontaña y montaña (San Blas, Cuatro Vientos y El Nicho), en un total de 21 Unidades productivas con diferentes modelos de gestión, entre las que se

encuentran siete Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), cuatro Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), siete Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), una Finca Estatal, una Unidad del Ministerio del Interior (MININT) y una Unidad del Ejército Juvenil del Trabajo (EJT). Además, se fomenta un área conocida como Finca "El Mango" en el llano con 26,84 ha y se pretende llegar a las 67,1 ha; el total de las áreas se mantiene con 1 014 personas entre productores individuales (19,2 %), trabajadores estatales (38,3 %) y soldados del EJT (42,5 %) (Anon, 2019).

La provincia de Cienfuegos no ha sido la excepción en mostrar un sostenido deterioro de la producción de café en los últimos 21 años: el área en producción disminuyó un 68 % (de 3 207,38 ha en la campaña 1997 - 1998 hasta 1 015,9 ha en la campaña 2018 - 2019); la producción disminuyó en 90,8 % (de 1 635,39 t en la campaña 1984 - 1985 a 149,6 t en la campaña 2018-2019). Así mismo, el rendimiento ha disminuido en 90,6 % (desde 1,6 t.ha⁻¹ (en la campaña 1996 -1997) hasta 0,15 t.ha⁻¹ en la campaña 2018 - 2019 y entre las causas principales de este deterioro está la sistemática afectación por *H. vastatrix* (Anon, 2019).

El primer reporte de *H. vastatrix* (roya del café) en Cumanayagua data de fecha 21 de marzo de 1987, en áreas de la CPA Primero de mayo durante la fase fenológica de floración del cultivo. Para ese entonces se comenzaron a realizar tratamientos químicos para su control a base de oxiclورو de cobre, con asperjadoras ubicadas a la entrada de cada hilera con una o dos mangueras acopladas con pistola en cada punta. Luego se comenzaron aplicaciones con el fungicida sistémico triadimefon (Bayletón 250 EC) con un buen control de la enfermedad (ETPP Cumanayagua, 2019).

En la segunda decena de abril del año 1991, comienzan a realizarse evaluaciones del desarrollo de la enfermedad siguiendo la metodología orientada por la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal. Las variedades más afectadas fueron: Caturra, Catuai y Villalobos. En el año 1992 se reporta nuevamente *H. vastatrix* el 12 de febrero en áreas de la UBPC Sabanita en la fase fenológica de brotación vegetativa; los índices

determinados oscilaron entre 25 % y 61 % de distribución en hojas, con una intensidad de 1,8 y 2,5 pústulas/hoja. Durante los diez días anteriores a esta observación, la temperatura media osciló entre 14,5 °C y 19,0 °C, la humedad relativa media entre 77 % y 92 %, con un total de 52 mm de precipitaciones durante cinco días lluviosos; en este caso las variedades más afectadas fueron: Caturra y Catuai. Las evaluaciones mostraron 1 011,5 ha con afectaciones con incidencia ligera, 165,62 ha con incidencia media en un total en ese propio año de 5 354,64 ha, correspondiendo al mes de julio la mayor intensidad de la enfermedad. A partir de esta fecha, la enfermedad se presenta todos los años, presentándose generalmente las primeras incidencias entre los meses de enero a marzo (ETPP Cumanayagua, 2019).

Durante los últimos 10 años se vienen presentando condiciones favorables para la aparición y óptimo desarrollo de *H. vastatrix*, con condiciones ambientales caracterizadas por valores medios de temperatura de 24,7 °C, de humedad relativa de 76 % y volúmenes de precipitaciones que alcanzan los 1 363,1 mm anuales (LAPROSAV Cienfuegos, 2019).

1.2 Hongos fitopatógenos

Los hongos fitopatógenos son organismos que provocan enfermedades a su hospedero vegetal, y pueden ocasionarle una muerte prematura; son de gran importancia porque ocasionan grandes pérdidas económicas en la mayoría de los cultivos agrícolas. El conocimiento de los factores que influyen en los cambios de las poblaciones de los hongos permite conocer con qué rapidez un patógeno puede evolucionar bajo un ambiente determinado (Manzo, et al., 2005).

1.2.1 La roya del café

La roya naranja del café es causada por el hongo basidiomyceto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, considerada en el ámbito mundial, entre las siete enfermedades más peligrosas que atacan a las plantas tropicales y es sin duda la enfermedad más dañina del café. El daño es gradual, localizado en hojas y puede reducir

considerablemente en unos pocos años el vigor y la producción de las plantaciones, si no se toman las medidas adecuadas de control (Subero, 2005).

Dentro del género *Hemileia* se encuentra a *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, (1869) (roya anaranjada) y *Hemileia coffeicola* Maublanc & Roger, (1934) (roya polvorienta); esta última es un patógeno que afecta los cafetales en el centro de África occidental, particularmente en Camerún y Santo Tomé y Príncipe. *H. coffeicola* se registró por primera vez en Camerún, África en *Coffea arabica* L. en 1932. *H. coffeicola* es un hongo de color óxido gris o anaranjado cuyas uredosporas están adornadas con verrugas o espinas; sus soros se encuentran dispersos sobre la superficie de las hojas, visibles en la parte inferior; las hojas infectadas finalmente se vuelven amarillas y se desecan. Puede distinguirse de *H. vastatrix* porque sus hifas miden entre 20-30 µm de diámetro y los soros se dispersan sobre las hojas en vez de encontrarse en parches (Maublanc & Roger, 1934; Spaulings, 1961; Watson, 1971; Hernández, 2005).

De las especies de *Hemileia* descritas únicamente *H. vastatrix* y *H. coffeicola* son capaces de infectar al café; de ellas, *H. vastatrix* es considerada como la más importante de las dos, por lo que además ha sido la más estudiada. Con relación a *H. coffeicola*, aunque no ha sido aún considerada una amenaza, en el futuro es posible que se vuelva un factor condicionante en regiones cafeteras de mayores altitudes, sin embargo, la información aprovechable de esta roya y de las fuentes de resistencia, es muy reducida. (Rodríguez, 1975).

La productividad de los cultivos está bajo riesgo debido a la incidencia de plagas, principalmente malezas, patógenos y artrópodos. Las pérdidas debido a estos organismos pueden ser parciales y puede ser reducidas por las medidas de control (Oerke, 2006). Los rendimientos pueden ser clasificados, en rendimientos reales debido a las prácticas de cultivo y protección en uso y rendimientos potenciales u obtenibles cuando estas prácticas son óptimas. En la mayoría de los casos estudiados en diferentes cultivos como son arroz, maíz, papa, trigo y soya, el rendimiento obtenible o potencial es menor en los escenarios de manejo de plagas

sin pesticidas y son considerablemente menores que con medidas efectivas de protección de plantas (Oerke, 2006).

Frecuentemente, en los cultivos son económicamente aceptables pérdidas menores; sin embargo, un incremento de la productividad del cultivo sin una adecuada protección de plantas no tiene sentido, debido a que un incremento en el rendimiento obtenible está frecuentemente asociado a una vulnerabilidad a los daños causados por plagas (Oerke, 2006). En síntesis, no se puede perder lo que no existe. La intensificación de la producción del cultivo sin una adecuada protección de los daños causados por plagas no es justificable y es económicamente dañino, debido a que el cultivo tiene que ser desarrollado en áreas más extensas con afectación a la naturaleza, que de otra manera podrían ser manipulados con más inversiones y mayor productividad.

La roya anaranjada del café, es la enfermedad foliar más destructiva y conocida de este cultivo, sus infecciones pueden llegar a causar defoliaciones considerables, culminando en algunos casos en la muerte de la planta (Silke, 1991). El patógeno, produce manchas (pústulas) con coloración de amarilla a anaranjada y se presenta clorosis en el haz y un aspecto pulverulento anaranjado en el envés de la hoja producto de la esporulación (Simón, 2015).

H. vastatrix en caso de infecciones severas, puede ocasionar la muerte regresiva en las ramas, e incluso la muerte de los árboles (Mariscal, 2011); la enfermedad en un cafetal puede ocasionar pérdidas entre un 10 % y un 60 % de la producción (Gaitán, 2013; Pérez, 2015).

A nivel de los tejidos, cuando las células del hospedante son invadidas, los cloroplastos se tornan gradualmente amarillentos. El contenido de las células afectadas se contrae y coagula en forma de una masa, la cual gradualmente se decolora y se torna cada vez más marrón; esta decoloración también se extiende hasta cierto grado a las paredes celulares (Subero, 2005).

Según Enrique & Dulcinea (2014), *H. vastatrix* fue descubierto en 1861, en el Lago Victoria Nianza (África); Avelino, et al. (2013) y Barrera, et al. (2013), mencionan que el primer reporte procede de la isla de Ceilán (hoy Sri Lanka) en 1869, donde destruyó la industria cafetalera e impulsó la transición hacia la producción del té. Llegó al continente americano a Brasil, cien años después, en 1970, y durante la siguiente década se extendió por Sudamérica y Centroamérica hasta llegar a México por Tapachula. Desde su llegada en 1970 hasta el 2008, casi no ocurrieron grandes epidemias (con la excepción de Costa Rica en 1989-1990 y Nicaragua en 1995-1996). Desde 2008 hasta la fecha, la enfermedad ha causado pérdidas severas en muchas regiones cafetaleras de América Latina (Avelino, et al., 2013; Barrera, et al., 2013).

En el 2014, en Centroamérica, principalmente en los países productores de café; Guatemala, Brasil, Costa Rica, Honduras, El Salvador, Nicaragua y el sur de México, ocurrieron brotes de *H. vastatrix* y su propagación nunca había sido tan masiva como hasta la fecha. El cambio climático, que dio origen a unas condiciones meteorológicas especialmente propicias para la difusión de la plaga, es el principal responsable, pues en los últimos tres años favoreció la propagación el hongo, debido a la combinación de altas temperaturas y lluvias permitiendo su aparición en cultivos situados a mayores alturas. Otros motivos que contribuyeron a su propagación fue la falta de recursos, que les impidió a los productores tomar las medidas preventivas necesarias; además, el precio internacional del café cayó desde 2011 hasta finales de 2013 desincentivando la producción, contribuyendo a la merma de la producción de café en Centroamérica. Los bajos precios impactaron en los ingresos recibidos por los productores y jornaleros durante la cosecha, inclusive generando situaciones donde los costos de producción superaron los ingresos por la venta de la cosecha (Morales, 2015).

1.2.2 Síntomas de la enfermedad

La enfermedad se caracteriza porque en la cara inferior de las hojas se presentan pequeñas manchas de color amarillo claro que luego se vuelven de color

anaranjado. A medida que la enfermedad avanza se visualizan manchas amarillentas en las superficies del haz de la hoja (Fischersworing & Robkamp, 2001; Galarza & Alcivar, 2014). Se presenta en hojas, lo cual provoca defoliación prematura y la reducción de la capacidad fotosintética, así como el debilitamiento de los árboles enfermos, lo que, en el caso de infecciones severas, puede ocasionar muerte regresiva en ramas e incluso la muerte de los árboles. Los signos, típicos de la enfermedad, lo constituye la presencia de uredosporas sobre las lesiones, las cuales se tornan de aspecto polvoriento de color amarillo-naranja (Silke, 1991; Arañó, 2002; Barquero, 2012).

Cuando la enfermedad ha avanzado, en el centro de la lesión o mancha se observa una coloración negra que se debe a la muerte del tejido de la hoja. La planta se debilita, las hojas enfermas se caen y la producción de café disminuye considerablemente (FONAIAP, 1984; García, 2013).

Las razas del patógeno fueron estudiadas por CIFIC (Centro de Investigaciones de las Royas del Café), en Portugal y estos estudios demostraron la presencia de más de 30 razas del patógeno, identificadas a partir de una serie de más de 40 diferenciales de café. La raza II ha sido históricamente la raza prevalente en la mayoría de países y ataca todas las variedades cultivadas de la especie *C. arabica* L. que no han sido mejoradas genéticamente por resistencia al patógeno (Bettencourt, et al., 2003); Pérez (2015), menciona la existencia de 49 razas y las sospechas de más genes de resistencia.

La presencia de múltiples razas de *H. vastatrix*, en los países productores de café en el mundo, es una realidad bien establecida (Kushalappa, 2019; Bettencourt, et al., 2003). Solamente en algunos países como Venezuela, parece encontrarse muy poca variabilidad del patógeno, dado que sólo se han identificado las razas I y II (Silva, et al., 1997); aunque esto puede deberse a la reciente introducción del patógeno a este país al momento de la realización del estudio.

La velocidad del progreso de la enfermedad en el campo depende de las condiciones climáticas, o sea, del microclima y de la predisposición del hospedante

y del patógeno. La cantidad del inóculo residual, así como su virulencia y agresividad en la fase de menor incidencia, determinan la severidad de la enfermedad durante la siguiente epidemia (Chalfoun, 1981).

1.2.3 Factores que afectan el desarrollo de la enfermedad

En general todas las especies cultivadas de café son atacadas en mayor o menor grado por la *H. vastatrix*, aunque algunas variedades son más susceptibles al hongo. Además de los factores genéticos, existen otros que inciden en la mayor o menor infección en poblaciones de plantas, tales como la cantidad de follaje, la producción y edad de la hoja (Subero, 2005).

La alta densidad foliar al inicio del período lluvioso; el alto potencial del inóculo residual; estimado de producción potencial elevado y condiciones favorables al desarrollo del hongo, son factores que contribuyen al aumento de la enfermedad de la roya del cafeto (Simón, 2015).

Los principales factores que determinan la intensidad del ataque son la temperatura, frecuencia e intensidad de las lluvias, duración de la película de agua sobre la lámina foliar, cantidad de inóculo y área foliar susceptible de infección. Cuando las condiciones lo permiten las uredosporas al entrar en contacto con el agua y en la oscuridad, inician la germinación sobre el envés de la hoja, donde se fijan en los estomas con un apresorio del cual se desarrollan las hifas de infección que inician el ataque a los tejidos internos. El período de incubación, dura entre 34 a 36 días al sol y de 31 a 34 días a la sombra (Subero, 2005). El período infectivo de la roya en Cuba se extiende desde octubre a marzo, con un pico máximo de infección entre diciembre y febrero, precedido por un período infectivo menos acelerado que le antecede de octubre a noviembre y un período de declive de marzo a abril (Simón, 2015).

La lluvia es un factor muy importante en el desarrollo de una epidemia (incremento en la intensidad y severidad) de la roya del cafeto. La lluvia actúa como factor determinante en la germinación de las esporas, en su dispersión, e indirectamente

sobre otros factores ambientales tales como la humedad relativa, la temperatura y la luminosidad. Las humedades relativas en el aire entre 95 % y 98 % son inadecuadas para estimular la germinación. Aún en atmósfera saturada, la germinación no tiene lugar cuando no hay agua líquida en contacto con las esporas. Las partes de la planta de café orientadas hacia el sur y oeste del cafetal siempre se caracterizan por presentar mayor nivel de infección con relación a las partes orientadas hacia el norte y este (Subero, 2005).

Otros factores importantes para el desarrollo de la enfermedad son: variaciones bruscas del ambiente, mojado foliar, altitud, alta carga fructífera, edad de la planta, época de cosecha, nutrición desequilibrada, fertilización deficiente y esporas viables del ciclo anterior, entre otros (Simón, 2015).

1.2.4 Etiología de la enfermedad

H. vastatrix Berk. y Br., es un hongo parásito obligado perteneciente a la subsección Bisidiomycetes, Clase Teliomycetes, Orden *uredinales* de la familia Pucciniaceae. El hongo es un parásito biotrófico obligado específico de las hojas del cafeto, que no tiene capacidad infectiva en otros hospedantes ni puede sobrevivir en suelo o en material vegetal en descomposición (Galarza & Alcivar, 2014).

El ciclo biológico de *H. vastatrix*, está comprendido por cuatro etapas que son: diseminación, germinación, colonización y reproducción, la diseminación ocurre a través de las uredosporas diseminadas por el viento, salpicaduras de gotas de agua, el insecto, el hombre y los animales contaminados por las esporas (Rivillas, et al., 2011), el desarrollo de la enfermedad inicia con las primeras lluvias reactivando la esporulación sobre las lesiones necrosadas o latentes (Dufour, et al., 1999).

Después de depositarse sobre el envés de la hoja, en presencia de condiciones favorables, ocurre la germinación de las esporas que emiten en un tiempo de seis a doce horas, de uno a cuatro tubos germinativos. Durante esta etapa, el hongo necesita agua, poca o la nula presencia de luz, temperaturas inferiores a 28°C y superiores a 16°C. El tubo germinativo crece hasta encontrar los estomas en el

envés de la hoja (Rivillas, et al., 2011). Ocurre con mayor frecuencia en la noche, aunque también podría realizarse de día en cafetales cultivados bajo sombra (Dufour, et al., 1999).

Una vez que el hongo ha penetrado al interior de la hoja, desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales se encargan de ponerse en contacto con las células de la planta y con los que extraen los nutrientes para su crecimiento. Las células parasitadas de la hoja pierden su coloración verde y se observan zonas cloróticas o amarillentas, generando la aparición de los síntomas de la enfermedad. El tiempo acontecido desde la infección hasta la aparición de los síntomas se denomina período de incubación, el cual varía de acuerdo con la temperatura (Rivillas, et al., 2011; Guharay, et al., 2000).

Después de haber pasado 30 días, el hongo está completamente maduro como para diferenciarse en estructuras llamadas soros, que son las encargadas de producir nuevas uredosporas, a razón de 1 600 cantidad de soros/mm² por un período de cuatro a cinco meses, y que serán dispersadas para iniciar el nuevo ciclo (Rivillas, et al., 2011), El tiempo que pasa desde la infección hasta la producción de esporas se denomina período de latencia.

El desarrollo de la enfermedad puede ser afectado por lluvias fuertes y prolongadas que eliminan las esporas por lavado. También durante el transporte por el viento, la viabilidad de las uredosporas puede verse afectada por el secamiento y las bajas temperaturas y después de la deposición por una película de agua insuficiente para completar la germinación o por una exposición prolongada a los rayos del sol (Dufour, et al., 1999).

1.2.5 Descripción morfológica

Las esporas denominadas urediniosporas, son de tamaño microscópico (30 μ de largo x 20 μ de ancho), de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosas en la cara externa, son producidas en grandes cantidades y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas del café, característico

de esta enfermedad (CESAVE, 2019). Las teliosporas o teleutosporas son de forma redondeada de 20 a 25 μ , se producen solamente en raras ocasiones y no se conocen las circunstancias que dan origen a su formación y representan una vía en el cual el hongo puede persistir. Durante un periodo frío o seco, se pueden producir basidiosporas y tan pronto comienzan condiciones más favorables, estas últimas pueden infectar nuevamente al hospedante (Rayner, 1972).

1.2.6 Escalas de evaluación de incidencia de la roya del café

Un método para evaluar la severidad de la roya es el uso de escalas o claves pictográficas que muestran un aumento progresivo de la enfermedad (James, 1971); estas escalas diagramáticas muestran series de plantas o partes de plantas con diferentes niveles de gravedad de los síntomas.

La severidad puede ser medida con escalas diseñadas para el estudio que considera el nivel de daño del área foliar. A continuación, se muestran diferentes escalas con distintos grados o clasificaciones.

En la Tabla 1 se presenta la escala de severidad en cada hoja, según los síntomas observados, pudiendo ayudar a diferenciar según el gráfico adjunto (Anexo 1).

Tabla 1. Escala de severidad en hoja de cuatro grados (SENASA, 2012)

Grado o Calificación	Descripción
0	Sano o sin síntomas visibles
1	Síntomas visibles llegando de 1 % a 5 % del área total sana
2	Las manchas empiezan a unirse, llegando a ocupar del 6 % al 20 % del área sana
3	Las hojas comienzan a necrosarse de manera muy notoria, afectando del 21 % al 50 % del área sana
4	Mayor al 50 % del área foliar se encuentra afectada

Otra forma de evaluar la severidad es con una escala de seis grados (Anexo 2) como se muestra a continuación, según la Dirección General de Sanidad Vegetal-Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria- Laboratorio de Análisis de Riesgo Epidemiológico Fitosanitario (DGSV-SINAVEF-LANREF, 2016) (Tabla 2).

Tabla 2. Escala de severidad de 6 grados en hojas

Grado o Calificación	Descripción
0	0 %
1	Puntos clorótico
2	2 % de área afectada
3	7 % de área afectada
4	20 % de área afectada
5	45 % de área afectada
6	≥ 70 % de área afectada

Para evaluar la severidad en hojas (Anexo 3), también se puede utilizar la siguiente escala de cinco grados como se muestra a continuación (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de severidad en cada hoja (González & Ramírez, 2013)

Grado o clasificación	Hoja (% daño)
0	Sano sin síntomas visibles
1	> 1 punto clorótico (0.5 % - 1 %)
2	1 - 5 % de área afectada
3	6 - 20 % de área afectada
4	21 - 50 % de área afectada
5	> 50 % de área afectada

Otra forma de evaluar es utilizando la escala de (Eskes, 1983) de rama y de planta. La unidad de observación de la escala de campo es el arbusto de café completo, donde cada punto en el dibujo representa el número de ramas enfermas vistas en

el arbusto a primera vista (Anexo 4). Solo se hacen observaciones más detalladas para confirmar las lecturas cero y uno (Tabla 4).

Tabla 4. Descripción de los valores de la escala de cero a nueve de severidad (Eskes, 1983).

Valor de la escala	Descripción
0	Ausencia de lesiones esporulantes; confirmación necesaria al apartar las ramas del dosel inferior y una observación más detallada de las ramas dentro del arbusto.
1	Presencia de una rama enferma a primera vista en cualquier lado del arbusto. Puede ser necesario apartar las ramas inferiores del dosel para confirmar. En una observación detallada, se puede encontrar más de una rama enferma.
2 al 8	Estos valores representan un aumento gradual en el número de ramas enfermas per tree, visto a primera vista. El valor siete corresponde con un ataque promedio a cultivares de café susceptibles en Brasil en el momento de la cosecha.
9	Este valor de escala indica el máximo de incidencia de enfermedad, correspondiente al nivel de enfermedad del tipo de café Harar. Normalmente, los cultivares susceptibles pueden dejar caer las hojas antes de alcanzar este nivel. Por lo tanto, un valor de ocho asociado con el desprendimiento intensivo de hojas debe calificarse como un nueve.

1.3 Manejo de la enfermedad

En el manejo integrado de enfermedades como la roya, el control químico es una herramienta importante. No obstante, aplicar un fungicida en variedades susceptibles no es suficiente si no se complementa con la realización oportuna y adecuada de todas las demás labores agronómicas y de manejo del cultivo (Rivillas, et al., 2017).

El manejo de la roya del café puede ser preventivo mediante actividades prácticas entre ellas (Figueroa, et al., 1996):

- Fertilización de los cafetos antes de la floración y después de la cosecha para obtener plantas vigorosas.
- Regulación de sombra y deshierbe oportunamente para disminuir la humedad en el cafetal.
- Fertilización de forma balanceada con una dosis adecuada de potasio y magnesio para fortalecer el follaje.

El cultivo de variedades genéticamente resistentes constituye una de las estrategias más apropiadas y económicamente efectivas para el manejo de las enfermedades en el cultivo de café, entre ellas la roya (Silva, et al., 2006), porque el género *Coffea* exhibe gran variabilidad en el grado de susceptibilidad a *H. vastatrix* (García & Salazar, 2015).

En este contexto, las líneas de Catimores expresan un cierto grado de resistencia a la roya del café, por lo que recomiendan recombinar las mejores líneas y enriquecer la base genética a partir de individuos silvestres que se encuentran en la colección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); asimismo, mencionan que se han desarrollado variedades Catimores resistentes a roya utilizando como padre donante de resistencia al Híbrido de Timor (Navas, 2014). Además, existe la resistencia incompleta, cuantitativa o no específica presente en *C. canephora* y *C. arabica*, pero la solución genética duradera al problema se lograría sólo si se acumula un gran número de genes de resistencia, tanto completa como incompleta (Avelino, et al., 1999).

Combatir la roya con fungicidas solamente, no es práctico ni económico. Los cafetales tienen que estar manejados adecuadamente para garantizar el vigor y el balance nutricional de los arbustos. Por tanto, parte sustancial en el manejo de la enfermedad es realizar el conjunto de prácticas que se recomiendan para el desarrollo adecuado del cultivo (Barquero, 2013).

El patógeno tiene en el campo enemigos naturales entre los que se reportan el hongo *Verticillium* spp. que penetra las esporas de la roya degenerándolas o inhibiendo su crecimiento por medio de secreciones (Guharay, et al., 2000). También se mencionan por ejemplo los hongos *Lecanicillium lecanii* y *Cladosporium hemileia* (Monzón, 1992; Vandermeer, et al., 2009; Rivillas, 2015; Pérez, 2015).

Por su parte Guharay, et al., (2001), menciona también que es común encontrar larvas de la mosquita *Mycodiplosis* sp. (familia Cecedomyiidae) alimentándose de las pústulas de *H. vastatrix*. En estudios previos se ha demostrado que el control biológico puede ser una técnica factible y ambientalmente segura para el control de la enfermedad, ya que existen enemigos naturales de la roya que regulan su incidencia y severidad. Sin embargo, según Virginio (2017), desafortunadamente la información sobre prácticas de control biológico aplicado en el control de la enfermedad es muy limitada.

El manejo de la enfermedad también puede ser a través del control químico, las aspersiones de caldo bordelés (sulfato de cobre), han sido un tratamiento efectivo para el control de la roya. En el caso de infecciones severas, se aplica al inicio del período lluvioso, cuando por debajo de las hojas comienzan a expandirse manchas de color amarillo. Las aplicaciones pueden repetirse cada cuatro semanas; sin embargo, su uso frecuente puede producir acumulación de cobre en el suelo, raíces finas y hojas, provocando graves síntomas de fitotoxicidad, como el escaso desarrollo radical, amarillamiento y encrespamiento de hojas. Como efecto secundario, se puede inducir a una mayor incidencia de *Leucoptera coffeellum* Guerin-Meneville (minador de la hoja) y a una mayor concentración de plomo en la planta y en el fruto, afectando la salud de los consumidores (Arévalo & Porras 1996).

1.4 Tipos de fungicidas utilizados en el control de la enfermedad

Los fungicidas cúpricos, solamente tienen efecto inhibiendo la germinación del hongo y en ocasiones la penetración; por tanto, el sistema de control debe iniciarse antes de que el patógeno se establezca en los tejidos de la hoja, ya que estas moléculas no son capaces de traspasar la cutícula foliar.

Los fungicidas sistémicos, penetran en la planta moviéndose acropetalmente por el xilema; tienen la posibilidad de moverse de manera translamina, es decir, del haz al envés de la hoja y locosistémicamente de la base de las hojas al ápice. Estos fungicidas tienen diferente movilidad en la hoja, es así como el producto tiene la capacidad de desplazarse por el mesófilo, el parénquima y llegar cerca de la endodermis (Cordero, 2017). La movilidad sistémica depende de las propiedades físico químicas de las moléculas particularmente el coeficiente de partición octanol/agua expresado como Log Kow.

Entre los fungicidas sistémicos que han sido utilizados para el control de la roya están:

- Los triazoles, que actúan inhibiendo la síntesis del ergosterol a través de la inhibición de la C14 α -demetilasa. Estos productos tienen un efecto protector y curativo mientras las lesiones no esporulen; cuando ya esporulan, su eficacia es reducida (Avelino, et al., 2013). Los fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles han mostrado un importante efecto sobre la roya del café, y consecuentemente sobre la producción, cuando se aplican sobre el follaje, con acción preventiva y curativa (Rivillas, et al., 2011; Zambolim (2002) citado por Fernández & Pérez, 2013).
- Las estrobirulinas, que inhiben el transporte de electrones en el sitio Qo (inhibidores QoI), a nivel del complejo II. En las mitocondrias a diferencia de los triazoles, estos tienen la propiedad de afectar la roya anaranjada en su fase de esporulación (Avelino, et al., 2013).

Según Orozco, et al., (2011), para el control de *H. vastatrix*, los fungicidas sistémicos pueden aplicarse al inicio de las lluvias para reducir el inóculo primario. Los triazoles (epoxiconazole, hexaconazole, cyproconazole, tetraconazole, triadimenol) están recomendados para esta enfermedad. Actualmente existen mezclas de fungicidas sistémicos (triazoles + estrobirulinas) que ejercen mejor control del patógeno.

Se informa que en ensayos realizados en Guatemala, con tres aplicaciones de ciproconazol (Alto 100 SL a 200 cc/ha,) a intervalos de 30 y 45 días se obtuvo un 83 % y 92 % de eficacia en el control respectivamente y que el promedio de rendimiento de café pergamino en (kg/ha) incrementó en 42 % con relación al testigo (Riveiro, 2014). En otro estudio realizado, con la variedad Pache, cuatro aplicaciones realizadas cada 40 días con el ciproconazol con dosis de 120 cc/ha en, se permitió un nivel de incidencia de roya a los 280 días después de la aplicación del producto con 9,79 %. De igual forma con tres aplicaciones realizadas cada 45 días con la dosis de 210 cc/ha en la variedad Catuai, registraron infecciones de roya a los 135 días después de la aplicación del producto de un 25 % (Campos, et al., 2013).

Un estudio realizado en el que se evaluó el efecto de azoxistrobin + ciproconazol (Amistar Top) y ciproconazol (Alto 100) para el control de la roya, luego de 16 días de evaluación el porcentaje de eficacia de los fungicidas variaron desde 56,87 % para el tratamiento con Amistar top a la dosis de 0,5 cc/litro hasta el 78,28 % para el tratamiento amistar top a la dosis de 1,5 cc/litro y se obtuvo un 70,89 % para el Alto 100 (Galarza & Alcivar, 2014). Sin embargo, el fungicida sistémico Alto 100 con una dosis de 250 cc/ha, presentó un adecuado control hasta los 120 días después de la aplicación de los tratamientos, alrededor del 12 % de incidencia, en las zonas secas. Un mejor control de los fungicidas sistémicos se evidenció en las zonas lluviosas, donde el Alto 100 a la dosis de 250 cc/ha mantuvo a la roya por debajo del uno %, Amistar Top a la dosis de 500 cc/ha por debajo del 6 % hasta los 150 días después de la aplicación de los tratamientos (COFENAC, 2013).

1.4.1 Fungicidas más utilizados en Cuba para el control de la enfermedad.

Los fungicidas más utilizados en Cuba son el imidacloprid 8 g + triadimenol 6 g (Bayfidan Duo GR 1,4), tetraconazol 100 g (Domark CE 100), ciproconazol 100 g (Alto LS 100), los cuales son aplicados al follaje exceptuando el Bayfidan Duo GR 1,4 que se aplica el granulo directamente al suelo (MINAG, 2016).

Las dosis de imidacloprid + triadimenol (8 g + 6 g) al suelo varían dependiendo de la altura de la planta desde 12,5 g hasta 40 g de producto comercial (PC) por planta, lo cual corresponde a un rango de 0,175 g a 0,56 g de ingrediente activo (i.a.) por planta (/pl); de ellos, se utilizan a la dosis de 12,5 g PC/pl, 0,1 g i.a./pl de imidacloprid y 0,08 g i.a./pl de triadimenol, mientras que a la dosis máxima de 40 g de PC/pl se utilizan 0,32 g i.a./pl de imidacloprid y 0,24 g i.a./pl de triadimenol (MINAG, 2016).

El tetraconazol (100 g) se aplica al follaje a la dosis de 1,5 a 2,0 L PC/ha equivalente al rango de 150 g i.a./ha (0,15 g i.a./pl en campos de 10 000 pl/ha) hasta 200 g i.a./ha (0,2 g i.a./pl en campos de 10 000 pl/ha) (MINAG, 2016).

El ciproconazol (100 g) se utiliza a un rango de 0,35 a 0,6 L PC/ha, lo que equivale a un rango de 35 g i.a./ha (0,0035 g i.a./pl en campos de 10 000 pl/ha), hasta 65 g i.a./ha (0,0065 g i.a./pl en campos de 10 000 pl/ha) (MINAG, 2016).

Como se puede apreciar, los triazoles son eficaces a dosis muy bajas en el control de la enfermedad, dosis entre 0,0035 g de i.a./pl y 0,24 g i.a./pl. La cantidad de ingrediente activo por planta varía de acuerdo a la actividad fungicida del ingrediente activo frente a la roya (MINAG, 2016).

1.4.2 Fungicida- Insecticida de Uso Agrícola Verdadero GD 600

Syngenta para disminuir el uso de agua y obtener una mejor distribución del ingrediente activo, desarrolló el producto Verdadero GD 600 (ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L), el cual se aplica al suelo en la base del tronco de la planta (Drench) entre 20 – 30 días antes de la época de roya o de la floración del café y se realiza una segunda aplicación 60 días después de la primera. La dosis utilizada en diferentes países cafeteros es de 1 kg PC/ha (300 g de tiametoxam/ha + 300 g de ciproconazol/ha) a razón de 50 ml de solución final/pl o 500 l/ha de solución final/ha, por lo que se aplican 0,06 g i.a./pl, equivalente a 0,03 g de tiametoxam + 0,03 g de ciproconazol por cada planta de café.

Verdadero GD 600 es un producto que por ser soluble en el agua y por su coeficiente de adsorción al suelo, le genera una sistemicidad adecuada para ser aplicado a la base de la planta de café, donde es tomada por la raíz y llevada a la parte aérea, donde realiza una acción de control de las diferentes enfermedades del café y a su vez les da un mayor desarrollo radicular y vegetativo a las plantas tratadas, realiza dos mecanismos de acción, uno que es efectivo contra enfermedades como la roya; y otro para el control de plagas como los insectos chupadores y minadores. Es sistémico y de rápida absorción, esto hace que haya una mayor cobertura en días de control de plagas y enfermedades (Syngenta, 2015).

En estudios realizados por Cenicafe del 2007 al 2009 plantea que Verdadero GD 600 aplicado al suelo en volumen de 50 cc/planta ofrece resultados biológicos satisfactorios en el control de la roya y en la producción de café en las plantas tratadas, se demostró que es una alternativa económica debido a que los costos del control con este producto son menores que los costos con otros fungicidas evaluados al solo requerir de 2 aplicaciones.

1.4.3 Efectos del Tiametoxam sobre los rendimientos.

El tiametoxam es un insecticida sistémico del grupo de los neonicotinoides, de la familia de las nitroguanidinas, que han demostrado efectos positivos en los cultivos, como mayor vigor, acumulación de biomasa, alta tasa de fotosíntesis y raíces más profundas. Se ha encontrado que este insecticida es un bioactivador. Los bioactivadores son sustancias orgánicas complejas modificadoras del crecimiento, capaces de actuar en la transcripción del ADN en la planta, en la expresión de genes, proteínas de la membrana, enzimas metabólicas y nutrición mineral (Castro, 2016).

En estudios realizados por Acebedo (2009) en tratamiento a las semillas, se pudo comprobar el efecto de tiametoxam, el cual permite una alta disponibilidad en el suelo, una rápida absorción por las raíces y buena distribución dentro de la planta. Después de tratar la semilla, tiametoxam entra en la plántula por dos rutas: la primera, absorbido por la semilla, concentrándose en gran cantidad en los cotiledones y la segunda, cuando es liberado de las semillas al suelo y tomado por la radícula rápidamente para ser translocado en dirección acropetal. Tiametoxam es lentamente metabolizado en la planta, de tal forma que está disponible en ella por un período cercano a 30 días.

Los tratamientos con tiametoxam, producen plantas con raíces más largas y abundantes en volumen, lo que permite mayor extracción de agua y nutrientes. Por otra parte, el follaje presenta más área y mayor altura, lo cual facilita un cierre rápido del dosel para captar más radiación solar y producir más fotoasimilados (Tavares, et al., 2008).

El tiametoxam posibilita una mayor productividad en los cultivos, además, puede ejercer su acción sobre enzimas reguladoras de rutas metabólicas, de tal manera que su activación promueva la iniciación de un proceso de biosíntesis para producir compuestos intermediarios, sustancias de reserva, metabolitos secundarios y/o fitohormonas para manejar el crecimiento y el desarrollo de la planta (Taiz & Zieger, 2006).

Por otra parte, las investigaciones llevadas a cabo en la Universidad de São Paulo por Castro & Pereira (2008), llegan a la conclusión de que tiametoxam es una molécula bioactivadora. Los bioactivadores son moléculas orgánicas complejas, no biorreguladoras, modificadoras del crecimiento, capaces de actuar causando cambios fisiológicos en proteínas de membrana, alterando el transporte iónico y, en enzimas metabólicas, afectando el metabolismo secundario. De esta forma, se modifica la nutrición mineral y se induce la producción de precursores de hormonas vegetales, incrementando su síntesis y la respuesta de la planta a nutrientes y hormonas.

Cuando los cultivos son tratados con tiametoxam, se han detectado plantas más vigorosas y sanas, rendimientos más altos aún bajo circunstancias donde no hay ataque de insectos, esto se ha visto en cientos de trabajos experimentales, en general los insecticidas neonicotinoides tienen un efecto positivo en la sanidad de la planta, pero se ha comprobado que tiametoxam es la molécula con mayor efecto en vigor (Castro, 2016).

En condiciones de campo, las plantas generalmente están expuestas a diversos factores de estrés que pueden reducir su capacidad de expresarse y alcanzar su máximo potencial genético de productividad. Las plantas tratadas con tiametoxam son más tolerantes a estos factores de estrés y, por lo tanto, se pueden desarrollar con más fuerza en condiciones no óptimas, lo que permite una mejor oportunidad de alcanzar su potencial genético de productividad (Castro, 2016).

El tiametoxam es transportado dentro de la planta a través de sus células y puede activar diversas reacciones fisiológicas tales como la expresión de proteínas. Estas proteínas interactúan con los mecanismos de defensa del estrés, permitiendo a la planta una mayor tolerancia a las condiciones adversas como la sequía, bajo pH, salinidad del suelo alta, estrés por las altas temperaturas, toxicidad por altos niveles de aluminio, daños por plagas, el viento, el granizo, ataque de virus y deficiencia de nutrientes (Castro, 2016).

Según Acebedo (2009) tiametoxam además tiene un excelente perfil toxicológico y ambiental, baja toxicidad aguda oral, dermal e inhalatoria y no irrita ni sensibiliza la piel y/o los ojos, no es un mutagénico, teratogénico o neurotóxico y es seguro para los operarios durante su aplicación.

1.5 Teoría de los análisis estadísticos no paramétricos

Las pruebas no paramétricas engloban una serie de pruebas estadísticas que tienen como denominador común la ausencia de los supuestos acerca de la ley de probabilidad que sigue la población de la que ha sido extraída la muestra. Por esta razón es común referirse a ellas como pruebas de distribución libre. La prueba de

Kruskal-Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis) es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías. Es una extensión de la prueba de la U de Mann-Whitney para 3 o más grupos (Berlanga & Rubio, 2012).

Ya que es una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis no asume normalidad en los datos, en oposición al tradicional ANOVA. Sí asume, bajo la hipótesis nula, que los datos vienen de la misma distribución. Una forma común en que se viola este supuesto es con datos heterocedásticos.

1. El estadístico está dado por $K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2}$, donde:

n_i : es el número de observaciones en el grupo i

r_{ij} : es el rango (entre todas las observaciones) de la observación j en el grupo i

N: es el número total de observaciones entre todos los grupos

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i},$$

$$\bar{r} = \frac{N+1}{2} \text{ es el promedio de } r_{ij}$$

2. Se puede realizar una corrección para los valores repetidos dividiendo K por $1 - \frac{\sum_{i=1}^G (t_i^3 - t_i)}{N^3 - N}$, donde G es el número de grupos de diferentes rangos repetidos, y t_i es el número de observaciones repetidas dentro del grupo i que tiene observaciones repetidas para un determinado valor. Esta corrección hace cambiar a K muy poco al menos que existan un gran número de observaciones repetidas.

3. Finalmente, el *p-value* (valor p) es aproximado por $Pr = (X_{g-1}^2 \geq K)$. Si algún n_i es pequeño (>5) la distribución de K puede ser distinta de la chi-cuadrado.

La prueba de la U de Mann-Whitney (también llamada de Mann-Whitney-Wilcoxon, prueba de suma de rangos Wilcoxon, o prueba de Wilcoxon- Mann-Whitney) es una prueba no paramétrica aplicada a dos muestras independientes.

Planteamiento de la prueba

La prueba de Mann-Whitney se usa para comprobar la heterogeneidad de dos muestras ordinales (Berlanga & Rubio, 2012). El planteamiento de partida es:

1. Las observaciones de ambos grupos son independientes.
2. Las observaciones son variables ordinales o continuas.
3. Bajo la hipótesis nula, la distribución de partida de ambos grupos es la misma: $P(X > Y) = P(Y > X)$.
4. Bajo la hipótesis alternativa, los valores de una de las muestras *tienden a exceder* a los de la otra: $P(X > Y) + 0.5 P(X = Y) > 0.5$.

Cálculo del estadístico

Para calcular el estadístico U se asigna a cada uno de los valores de las dos muestras su rango para construir.

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

donde n_1 y n_2 son los tamaños respectivos de cada muestra; R_1 y R_2 es la suma de los rangos de las observaciones de las muestras 1 y 2 respectivamente.

El estadístico U se define como el mínimo de U_1 y U_2 .

Los cálculos tienen que tener en cuenta la presencia de observaciones idénticas a la hora de ordenarlas. No obstante, si su número es pequeño, se puede ignorar esa circunstancia (Berlanga & Rubio, 2012).

Capítulo II

Capítulo 2 Materiales y Métodos

2.1 Ubicación geográfica del municipio Cumanayagua, provincia Cienfuegos.

El municipio de Cumanayagua se encuentra situado al suroeste de la provincia Cienfuegos, cerca de los ríos Arimao y el Hanabanilla, limita al norte con los municipios de Manicaragua y Trinidad de las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus respectivamente, por la parte oeste limita con los municipios de Cienfuegos y Palmira (Ecured, 2019) (Figura 2).

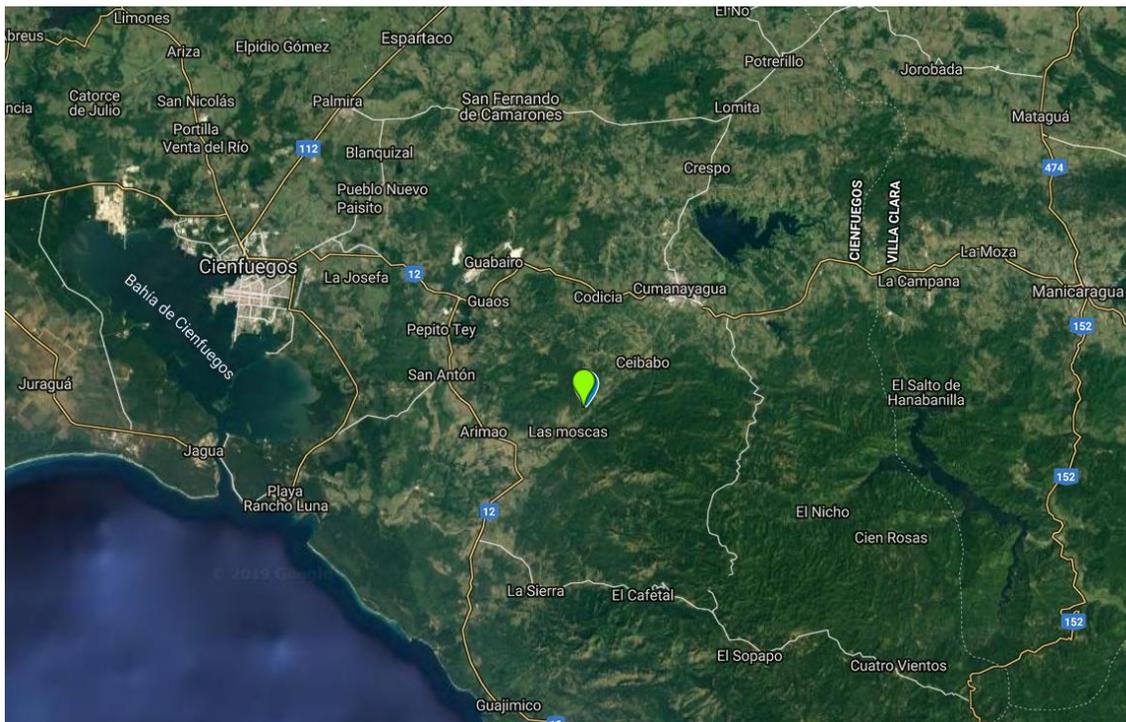


Figura 2. Ubicación geográfica de Cumanayagua, Cienfuegos

2.1.1 Localización geográfica del ensayo en estudio

El ensayo se realizó en un área perteneciente al Municipio Cumanayagua en la zona del asentamiento conocido como "Las Moscas", una zona rural limitada al norte con Vista Alegre, al sur con La Legua, al este con la localidad de Hoyo de Padilla y al oeste con el Consejo Popular de Arimao a los 22.086653° de Lat. N y los 80.254815° de Longitud O (Ecured, 2018). El ensayo estuvo ubicado en la pre montaña a una altura sobre el nivel del mar de 60 msnm y a continuación en el área

marcada se muestra el experimento de evaluación severidad e intensidad de *H. vastatrix* mediante foto satelital (Figura 3).



Figura 3. Ubicación del ensayo en la zona de "Las Moscas", del municipio de Cumanayagua

2.1.2 Período del estudio y generalidades del ensayo

El ensayo se llevó a cabo durante 12 meses en el período comprendido entre los meses de noviembre 2018 hasta noviembre 2019. Se escogió un área de café con plantas con antecedentes de afectaciones por *H. vastatrix*. Durante este período se realizaron dos aplicaciones de los diferentes tratamientos y se recolectaron los datos en el área experimental seleccionada. Al mismo tiempo se realizaron labores agrotécnicas de fertilización, utilizando la formula completa NPK (9-13-17), a razón de 60 g/plantas al inicio el experimento (correspondiendo al mes de diciembre 2018) y a los 60 días la fertilización nitrogenada con urea en el mes de febrero a razón de

45 g/plantas, como se establece en el instructivo técnico para el cultivo del café en Cuba (MINAG, 2014).

2.2 Distribución del diseño del ensayo en estudio

Se seleccionó un área de café con 3 años de plantada de la especie *C. arabica*, variedad Typica con un marco de plantación de 2x2 metros y una densidad de plantación de 2 500 plantas por hectárea en un área total de 320 metros cuadrados. Se utilizaron cuatro variantes (tres tratamientos y un tratamiento control). Cada parcela elemental estuvo constituida por cinco plantas cada una. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro réplicas, de forma que cada variante contuvo un total de 20 plantas. Las condiciones de la plantación eran muy uniformes en cuanto a edad, sombra y estado general de la misma, además existía mucha uniformidad en las condiciones del terreno en cuanto a características del suelo, relieve, topografía y demás factores.

2.2.1 Variantes del experimento. Descripción de los tratamientos

El experimento constó de cuatro variantes de tratamientos como se describen a continuación:

1. Tratamiento con tetraconazol, 200 g i.a./ha (Domark 100 CE 10) a 2 L p.c./ha en aspersion foliar con 500 L solución final/ha.
2. Tratamiento con ciproconazol + tiametoxam a 300 + 300 g i.a./ha (0,06 + 0,06 g i.a./planta) (Verdadero GD 600) a 1 kg p.c./ha; 0,2 g p.c./planta) aplicado a la base del tronco de la planta (drench) a razón de 50 cc/planta.
3. Tratamiento control.
4. Tratamiento al suelo de: triadimenol + imidacloprid a 750 + 1000 g i.a. /ha respectivamente (0,15 + 0,2 g i.a./planta) (Bayfidan Duo GR 1,4) a una dosis de 62,5 kg/ha o 25 g p.c./planta.

Se realizaron dos aplicaciones de los ingredientes activos en todas las variantes de tratamiento, una a los 30 días antes de la floración y la segunda 60 días después de la primera aplicación.

Las aplicaciones al suelo de ciproconazol 300g/L + tiametoxam 300 g/L se realizaron con una mochila Jacto de 16 L de capacidad con un dosificador para entrega de volúmenes fijos en drench. Las aplicaciones foliares de tetraconazol 100 g se realizaron con mochila Jacto de 16 L con lanza y boquillas de cono hueco 80-02. Las aplicaciones de triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g granulado se realizaron con una vasija tarada para 25 g de p.c./planta dirigido al ruedo de la planta.

Tratamientos		Nombre comercial del plaguicida utilizado	Dosis g i.a. /ha	Dosis PC/ha
	Ingrediente activo (i.a)			
1	tetraconazol 100 g	Domark	200	2 L/ha
2	ciproconazol 300 g + tiametoxam 300 g	Verdadero GD 600	300+300	1 kg/ha
3	Tratamiento control	Sin tratamiento	-	-
4	triadimenol 6 g + Imidacloprid 8 g	Bayfidan Duo GR 1,4	750+1000	62,5 kg/ha

Tabla 5. Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio

* Gramos de ingrediente activo (i.a) por hectárea

** Producto comercial (PC) por hectárea. **Fuente:** Elaboración propia

2.2.2 Evaluaciones del desarrollo de la enfermedad, el desarrollo vegetativo y la cosecha.

Ramas Marcadas y Evaluadas

Para la evaluación para intensidad y severidad de *H. vastatrix* para cada uno de los tratamientos en estudio, se marcaron un total de ocho ramas por cada planta, se seleccionaron cuatro ramas en el tercio medio y cuatro ramas en el tercio inferior de la planta. Este dispositivo de evaluación determinó que en el experimento fueron marcadas y evaluadas 40 ramas por cada réplica, 160 ramas por tratamiento y un total de 640 ramas para el total del experimento

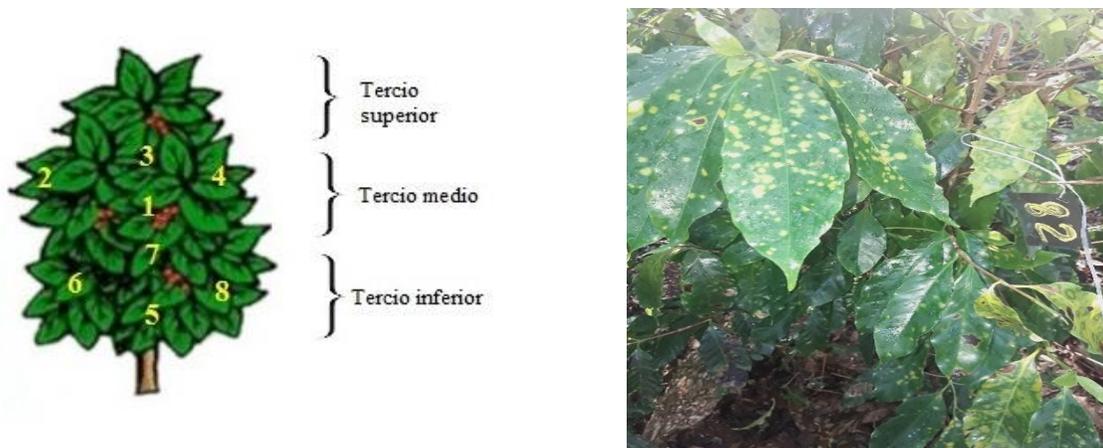


Figura 4. Diseño de ramas marcadas. **Fuente:** Elaboración propia

2.3 Variables evaluadas para analizar comportamiento de la enfermedad frente a los cuatro tratamientos aplicados

Las principales variables y registro durante el trabajo de campo fueron:

- Incidencia de la enfermedad
- Severidad del daño (ponderada)

2.3.1 Evaluación de la Incidencia de roya (*H. vastatrix*)

En el experimento se utilizó la metodología de Eskes (1983) donde se establece la evaluación de ramas con una gradología de cero a nueve en función de la severidad del ataque en las hojas. Se escogió esta escala ya que resulta más práctica y cómoda para realizar evaluaciones en un ensayo donde se marcaron un gran número de ramas.

La unidad de observación tomada fue la incidencia promedio de enfermedad por rama enferma (Figura 5).

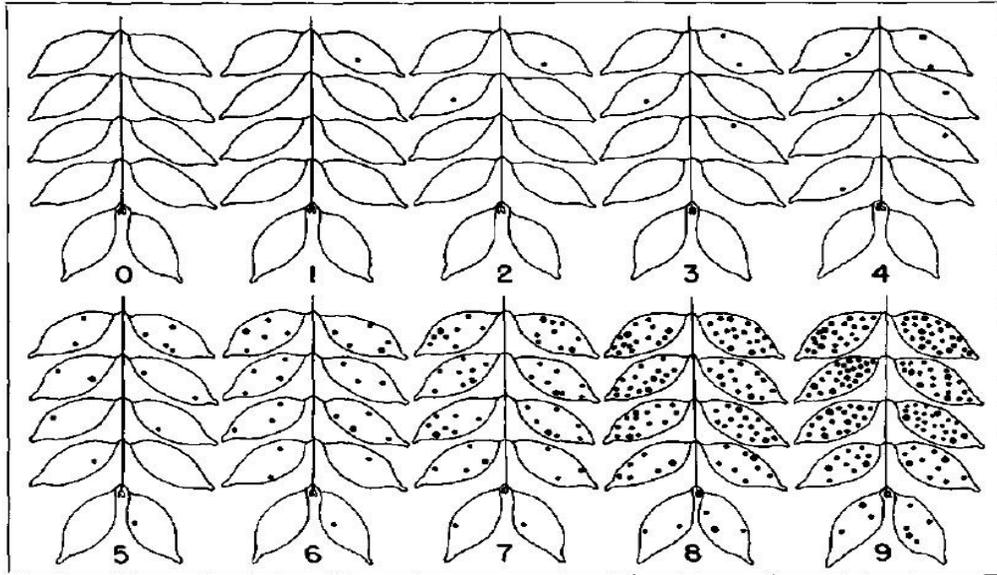


Figura 5. Escala de evaluación de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en campo (Eskes, 1983).

El número de lesiones para cada valor de escala y el porcentaje de área foliar que ocupan se detallan a continuación (Tabla 6) y se describe la categorización de los valores numéricos de la escala (Tabla 7).

Tabla 6. Número de lesiones para cada valor de escala y el porcentaje de área foliar que ocupan (Eskes, 1983).

Valor de la escala	No. de lesiones	Porcentaje de área foliar enferma
0	0	0
1	1	0.06
2	2	0.12
3	4	0.24
4	8	0.47
5	16	0.94
6	32	1.89
7	64	3.78
8	128	7.56
9	192	11.51

Tabla 7. Descripción de los valores de la escala de cero a nueve de incidencia (Eskes, 1983).

Valor de la escala	Descripción
0	Ausencia de lesiones esporulantes
1	El número promedio de lesiones por rama enferma es de aproximadamente uno
2 - 8	Número creciente de lesiones por rama enferma. El valor siete se encuentra comúnmente para cultivares normalmente susceptibles en el momento de la cosecha
9	Este valor indica la máxima incidencia de la enfermedad. Un valor de ocho asociado con el desprendimiento intensivo de hojas debe clasificarse como un nueve

Las evaluaciones en el ensayo se llevaron a cabo de forma visual y se contó como hoja con roya a la hoja que presentara lesiones y las hojas con lesiones esporuladas. Todas las evaluaciones se realizaron en las mismas ramas y hojas marcadas. Cada valor registrado se anotó en una hoja de campo donde se recopilaban todos los datos resultantes de las evaluaciones posteriores.

La primera evaluación se realizó antes de la primera aplicación de los fungicidas en cada tratamiento. Las evaluaciones posteriores se realizaron a los 30, 45 y 60 días después de la primera aplicación y a los 30, 45 y 60 días del segundo tratamiento. Posteriormente se realizaron dos a 30 días de intervalo completándose un total de 9 evaluaciones. A continuación, se describen las mismas (Tabla 8).

Tabla 8. Descripción de los momentos de las diferentes evaluaciones y aplicaciones que se realizaron durante el ensayo.

Evaluación- Aplicación	Momento de evaluación (dda)*	Tipo de Evaluación
Evaluación 1	Pre aplicación	En ramas marcadas
1ra Aplicación		
Evaluación 2	30	En ramas marcadas
Evaluación 3	45	En ramas marcadas
Evaluación 4	60	En ramas marcadas
2da Aplicación (60 días después de la primera aplicación)		
Evaluación 5	30	En ramas marcadas
Evaluación 6	45	En ramas marcadas
Evaluación 7	60	En ramas marcadas
Evaluación 8	90	En ramas marcadas
Evaluación 9	120	En ramas marcadas

(dda)* - días después de aplicado el fungicida

2.3.2 Cálculos para determinar la efectividad biológica de las variantes en estudio para el control de *H. vastatrix*

Para el cálculo de la efectividad biológica de los tratamientos se utilizaron los siguientes parámetros y fórmulas (Galindo, et al., 2015).

Porcentaje de incidencia: Para calcular el porcentaje de incidencia, se utilizó la fórmula de Ogawa, siendo expresada en porcentaje de acuerdo a la siguiente ecuación (Ogawa, 1986):

$$I = (n * N^{-1}) * 100$$

Donde:

I = incidencia

n = total hojas afectadas

N = total de hojas presente

- **Severidad ponderada:**

Se calculó de acuerdo a la fórmula de (Townsend & Heuberguer, 1943) descrita a

continuación: $P = \left(\frac{\sum n*v}{CM*N} \right) * 100$ $P = (\sum n*v) * (CM*N)^{-1} * 100$

Donde:

P = Severidad ponderada

n = Número de hojas por cada clase en la escala

v = Valor numérico de cada clase o escala, según escala de 9 grados.

CM = Categoría mayor

N = Número total de hojas en la muestra

2.4 Indicadores de productividad y rendimiento evaluados en el ensayo

Para evaluar los efectos sobre los componentes de productividad y rendimiento de las plantas de café se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

Indicadores de productividad:

- Pares de hojas nuevas
- Cantidad de ramas nuevas
- Porcentaje de ramas fructificadas

Indicadores de rendimiento

- Granos por ramas marcadas
- Peso de 1000 granos (en gramos (g))
- Cosecha total (en toneladas métricas (t))
- Rendimiento (toneladas métricas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$))

Para el caso del conteo de los pares de hojas nuevas y cantidad de ramas nuevas se tuvo en cuenta la suma de la cantidad contada en cada planta, teniendo de esta forma el total de cada réplica por variante.

El porcentaje de ramas fructificadas se determinó al dividir el total de ramas con granos entre el total de ramas en cada parcela y multiplicarlo por 100. Se determinaron las medias por parcela y variante.

Los granos por rama se determinaron contando los frutos (cerezas) en las ramas marcadas por plantas de cada parcela. Los datos de compilaron para cada parcela y variante.

El peso de los granos se determinó al finalizar la cosecha, de un total de 1 000 granos al azar para cada parcela y variante en estudio y se pesaron en una balanza digital con capacidad de pesaje de hasta dos kilogramos.

Los datos obtenidos de la cosecha total se obtuvieron al finalizar el ciclo productivo de las plantas y el total de frutos de cada planta por réplica y por cada variante en estudio fueron pesados en una báscula de plato con una capacidad de pesaje de hasta 50 kilogramos.

El rendimiento en toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$) de grano verde se calculó por réplica y por cada variante en estudio, cada réplica con un área de 20 m² y cada variante con 80 m².

2.5 Tipo de análisis estadístico y diseño de experimento

En el ensayo los datos se sometieron a las pruebas no paramétricas por no cumplir los supuestos de normalidad de varias muestras con datos independientes (H de Kruskal-Wallis) y de dos muestras con datos independientes (U de Mann-Whitney), todos para el nivel de significación del 5 % (Berlanga & Rubio, 2012).

Los datos fueron procesados mediante el software estadístico STATISTICA (Data Analysis Software System, Version 10. [www. statsoft.com](http://www.statsoft.com), 2011).

2.6 Costos

Se registraron los datos de los costos incurridos en la aplicación de cada tratamiento (básicamente, el costo de los productos fungicidas utilizados), y los costos debidos a la atención por hectárea de todas las labores que se ejecutan de forma general y sistemática al cultivo del café en Cienfuegos.

Los datos fueron obtenidos a partir de las normas técnicas existentes en la Empresa de café "Eladio Machín" de Cumanayagua y la revisión de documentos legales como la resolución 237/2015 y la resolución 236/2017, ambas emitidas por el Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) de la República de Cuba.

2.7 Determinación del mejor tratamiento

Para determinar el mejor tratamiento se tuvo en cuenta su eficiencia biológica y económica. Para esto se tuvo en cuenta los costos por hectárea de todas las variantes de tratamiento y el valor de la cosecha obtenida en cada variante, y se procedió a realizar un análisis de relación costo beneficio de los tratamientos para determinar cuál es el más rentable.

Capítulo III

Capítulo 3 Resultados y Discusión

Se muestran las curvas de desarrollo de la roya del café (*H. vastatrix*) en el tiempo, en las diferentes variantes de tratamiento (Figura 6) y la severidad de la enfermedad (Tabla 10).

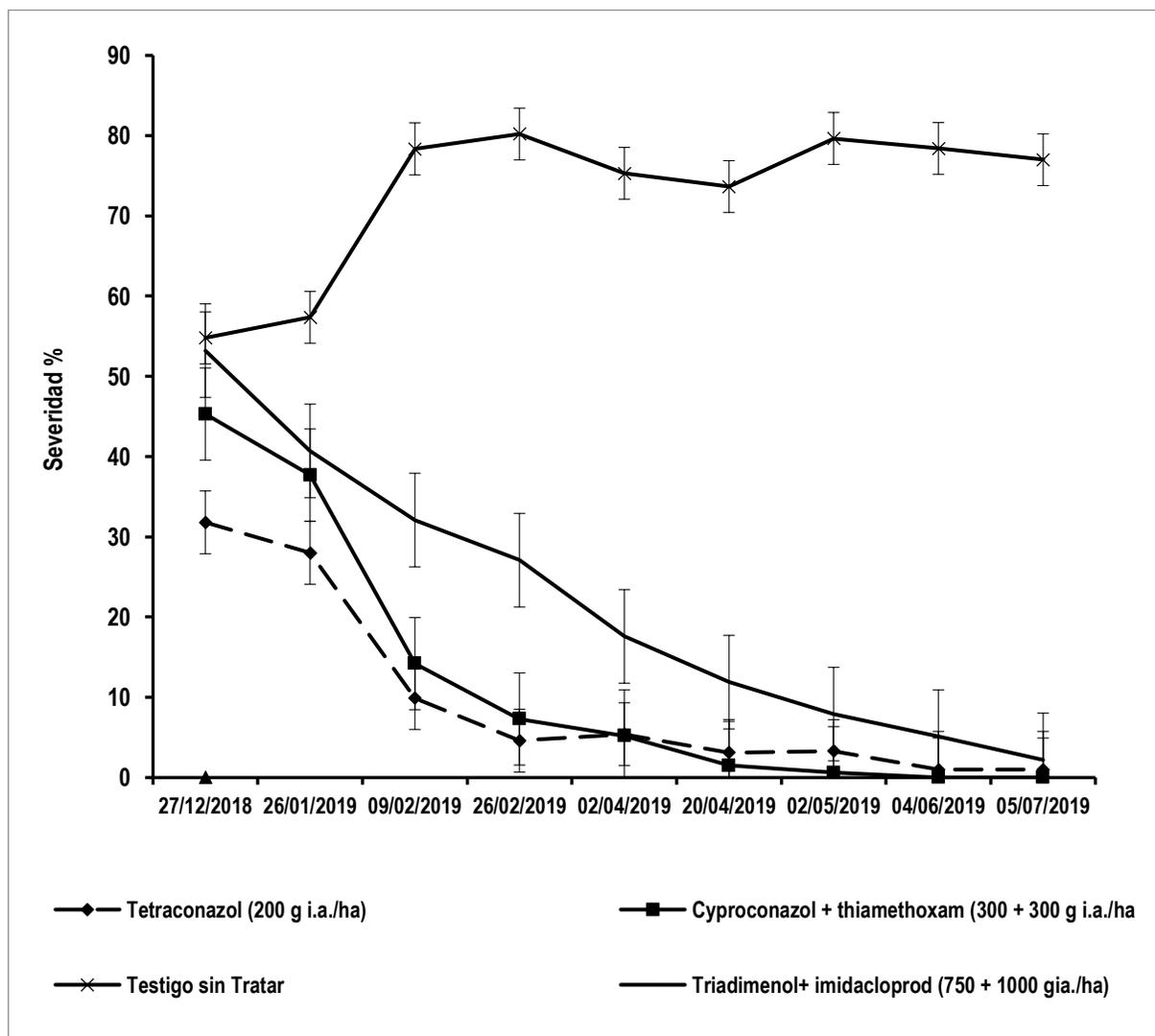


Figura 6. Desarrollo de la enfermedad en el tiempo en los diferentes tratamientos. Porcentaje de severidad en los diferentes tratamientos. Las barras verticales indican la variación estándar de las medias de los valores de severidad calculadas con StatSoft (2011).

Tabla 10. Comparación de medias de desarrollo de la enfermedad en las diferentes variantes.

Variantes	Medias de los valores de severidad en % ⁽¹⁾								
	2018	2019							
	27/dic	26/ene	09/feb	26/feb	02/abr	20/abr	02/may	04/jun	05/jul
Ciproconazol + tiametoxam (300 + 300 g i.a./ha)	45,3 ab	37,7 a	14,2 a	7,3 ab	5,2 a	1,5 a	0,6 a	0,0 a	0,0 a
Triadimenol + imidacloprid (750 + 1000 g i.a./ ha)	53,2 ab	40,7 a	32,1a	27,1 b	17,6 b	11,9 a	7,9 a	5,1 b	2,2 b
Tetraconazol (200 g i.a./ha)	31,8 a	28,0 a	9,9 a	4,6 a	5,4 ab	3,1 a	3,3 a	1,0 ab	1,0 ab
Tratamiento control	54,8 b	57,35 b	78,35 c	80,2 c	75,3 d	73,65 b	79,65 c	78,4 d	77,0 c
Media General	46,28	40,94	33,64	29,8	25,88	22,54	22,86	21,13	20,05
Error Estándar	2,7	3,4	7,2	7,9	7,8	8,1	8,7	8,8	8,7

(1) Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según Kruskal-Wallis al 5 % determinadas mediante el programa StatSoft (2011)

Como puede apreciarse, al inicio del experimento todas las parcelas tenían un desarrollo intenso de la enfermedad, sin diferencias significativas entre ellas, con excepción de la parcela donde se aplicó tetraconazol 100 g, en la cual aunque intensa, presentó una severidad menor.

El primer tratamiento se realizó en el momento de la primera evaluación, coincidiendo con el inicio de la época lluviosa y el inicio de la floración en esta zona. En este período, *H. vastatrix* se incrementó rápidamente hasta la evaluación realizada el 9 de febrero de 2019, momento a partir del cual, se mantuvo asintóticamente hasta el final del experimento, cuando llegó a alcanzar en la evaluación realizada el 4 de junio un 78,4 % de severidad en el tratamiento control, lo que demuestra que las condiciones fueron durante el transcurso del experimento óptimas para el desarrollo de la enfermedad.

Las parcelas tratadas con triazoles, mostraron una disminución continua de la intensidad del ataque en todo el resto de las evaluaciones, observándose que la severidad del ataque, en estos tratamientos disminuyó hasta abril, mes en que

comenzó a observarse una tendencia a la estabilización del desarrollo de la enfermedad en el tratamiento control. En este momento, se realizó el segundo tratamiento observándose a partir de ahí una disminución de la severidad en las parcelas tratadas con relación a la variante sin tratamiento.

En todas las evaluaciones, la severidad del ataque fue significativamente superior en las parcelas no tratadas con relación a las parcelas tratadas con triazoles. El ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L mostró una disminución progresiva de la intensidad del ataque y a partir de mayo prácticamente todas las hojas se encontraban sanas. En la evaluación realizada en junio mostró una severidad significativamente menor que las parcelas tratadas con triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g.

En la provincia de Cienfuegos existen 1 438 ha y en la colindante provincia de Villa Clara existen 765 ha plantadas de variedades de *C. arabica*, que representan el 81 % y el 65,4 % respectivamente de la superficie total del cultivo de café de ambas provincias. Según Orozco, et al., (2011); Hernández (2005) y otros autores, coinciden en que las variedades de *C. arabica* (Caturra, Bourbon, Mundo Novo y el Catuai (rojo y amarillo), son susceptibles a *H. vastatrix*, ocasionando que los cafetos sufran defoliaciones de diferentes grados y que existen variedades que son resistentes a la enfermedad, entre ellos, los híbridos como, por ejemplo, los Catimores, Sarchimores, Cavimores y CR-95.

Aunque se ha encontrado micoparásitos como *Lecanicillium lecanii* parasitando soros de *H. vastatrix* y *Coccus viridis* (Pérez, 2015), en la práctica, las curvas de desarrollo del micoparasitismo dependen del desarrollo de la roya y por tanto no ofrecen control totalmente efectivo de la enfermedad, lo cual coincide con lo expresado por Rivillas (2015) el cual plantea como una estrategia no confiable la bioprotección, empleando el uso de microorganismos con capacidad de parasitar el hongo patógeno *Hemileia vastatrix* o de otros organismos epífitos.

Orozco, et al., (2011); Pérez (2015) y varios autores recomiendan el control de la roya del café con un enfoque de integrado; para ello consideran la protección con

el uso de fungicidas sistémicos y de contacto, las prácticas culturales que se realizan en el manejo del cultivo, métodos biológicos y la resistencia genética.

Para el control de esta enfermedad es necesario integrar tanto el manejo cultural y agronómico, como químico. En este último tipo de manejo, se han utilizado varios grupos de fungicidas a lo largo de la historia. En un inicio se utilizaron los fungicidas a base de cobre, los cuales eran únicamente protectores y no penetraban al interior de la hoja. Con mejoras en la tecnología del control de esta enfermedad, se introdujeron los fungicidas con acción sistémica, los cuales pueden penetrar al interior de la hoja y tienen la capacidad curativa del hongo en ciertas fases de su desarrollo (Campos, et al., 2013).

En el macizo montañoso del Escambray, existen condiciones favorables de lluvia, temperatura y humedad relativa para el desarrollo de la roya del café, como lo demuestran los datos de la evaluación inicial en el ensayo desarrollado y la curva de desarrollo de la enfermedad en las parcelas no protegidas. Los datos de la severidad en el tiempo de la figura 1 muestran que puede existir un desarrollo de la severidad cercano al 90 % y que las condiciones fueron favorables durante todo el desarrollo del experimento. Previo a la aplicación, en el primer muestreo sin haber tratamientos fungicidas, los valores de la incidencia de Roya (% IR) estuvieron entre 95 % y 100 % de intensidad para todas las variantes, por lo que se contó con condiciones similares iniciales de distribución e intensidad de la roya en las parcelas en estudio.

En las normativas del Ministerio de Agricultura de Cuba (MINAG, 2011), se indica realizar una aplicación con fungicidas sistémicos cuando el porcentaje de incidencia de la enfermedad ha sobrepasado un 10 %, no coincidiendo con lo expresado por Zambolim (2015) para Brasil ni con Cristancho, et al., (2012) en Colombia, los cuales refieren un 5 % como % IR, a partir del cual, se recomienda aplicar fungicidas para su control, especialmente con triazoles. Por su parte Rojas (2018), advierte que, a partir de este momento, si no se hacen controles efectivos con fungicidas, puede

existir una pérdida casi total del follaje y por tanto un daño severo a la plantación, debilitándola y reduciendo la producción considerablemente.

Según Cordero (2017), los fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles, han demostrado un importante efecto sobre la roya del cafeto y consecuentemente sobre la producción, cuando se aplican sobre el follaje, con una acción preventiva y curativa. Estos fungicidas controlan al hongo en la etapa de germinación y también cuando este ha colonizado las hojas, pero aún no ha iniciado su esporulación, por lo que la aplicación de estos fungicidas en etapas más avanzadas del proceso infectivo (después de la esporulación) no ejercen ningún tipo de control. Este grupo de fungicidas era anteriormente el más utilizados para el control de roya del cafeto en el mundo (Rivillas, et al., 2011).

Los fungicidas triazoles tienen capacidad curativa y protectora, además de ser sistémicos o con movimiento translaminar. Se aplican mediante aspersiones foliares y para el tratamiento de semillas y suelos, dentro de este grupo está el ciproconazol, tetraconazol, triadimenol, triadimefón, hexaconazol, propiconazol, epoxiconazol, entre otros (Pérez, 2012). Tienen la ventaja de que no son arrastrados de la lámina foliar por las lluvias y presentan mejor control de la enfermedad según el nivel inicial de ésta (Rivillas, et al., 2011).

En el ensayo, al iniciar los tratamientos, las parcelas tenían un IR > 90 %, lo que se consideró una presencia importante de la enfermedad y la necesidad de iniciar la aplicación de los fungicidas sistémicos en el experimento. Treinta días después de la aplicación (dda) de los tratamientos en las parcelas, se observó una disminución de los valores de % IR en el tratamiento con tetraconazol 100 g, y a los 45 dda en el tratamiento con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L y con triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g, obteniéndose un efecto positivo con la aplicación de estos triazoles.

Los triazoles pertenecen a una familia de fungicidas denominados inhibidores de la síntesis de ergosterol (inhibidores de la C₁₄ α demetilasa o DMI's), que agrupan ingredientes activos con propiedades sistémicas o traslaminares (Rivillas, et al.,

2011; Pérez, 2012; Pérez, 2015). El desarrollo inicial de estos compuestos estuvo encaminado al control entre otras enfermedades, de royas en cereales, frutales tropicales y café. La actividad sistémica de estos ingredientes activos está relacionada a su solubilidad en compuestos orgánicos y polares. La cutícula de las hojas y la epidermis de la raíz son las primeras barreras que deben vencer los toxóforos para penetrar al sistema de las plantas y ser traslocados; así, los compuestos muy polares son rechazados por la cutícula de las hojas y no penetran al sistema vascular mientras que los muy orgánicos son retenidos en la misma y en la banda de Casparian en las raíces. Existe una correlación entre la capacidad de penetración sistémica de los toxóforos y del coeficiente de partición octanol/agua expresado como $\text{Log } P_{ow}$. El triadimenol, ciproconazol y el tetraconazol tienen valores $\text{Log } P_{ow}$ que permiten su activa absorción y translocación en el sistema de la planta. Esta propiedad, los hacen en general muy efectivos en la uniformidad de su distribución a través del apoplasto en la planta, hacia los puntos de mayor densidad de estomas debido a la fuerza coheso tenso transpiratoria y permite alcanzar una distribución uniforme en la lámina foliar y por tanto también, la inhibición post-infección o post-penetración del crecimiento de los tubos germinativos y haustorios de las esporas dentro de la cavidad estomática, así como la formación de soros y la nueva producción de esporas del patógeno.

En el estudio, los tratamientos al suelo y foliares como se demuestra, todos los triazoles mostraron una alta actividad inhibitoria del desarrollo de la enfermedad, aún bajo las condiciones muy favorables existentes para el desarrollo de la misma, coincidiendo con Rivillas, et al., (2011); que plantea que los triazoles ejercen un control en el cultivo donde ya se encuentra la enfermedad establecida, al tener una acción curativa y atacar las estructuras de los micelios del hongo dentro del tejido vegetal. El tratamiento de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L mostró los mayores niveles de inhibición de la enfermedad, resultando así particularmente, a partir de las evaluaciones donde la enfermedad alcanzó sus valores máximos en la evaluación del día 26 de febrero. De manera similar, el triadimenol y el tetraconazol 100 g resultaron también muy efectivos en el control de la enfermedad con

diferencias altamente significativas en relación al tratamiento control, por lo que constituyen una herramienta muy efectiva para el manejo de *H. vastatrix*.

Para determinar la influencia de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de café, después de la floración y antes de la cosecha, se hicieron evaluaciones de las hojas y las ramas emitidas y el porcentaje de ramas con fructificación. Se muestran los efectos de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de café, en este sentido; el tratamiento con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L mostró los valores absolutos superiores de los indicadores evaluados de pares de hojas nuevas, cantidad de ramas nuevas y el porcentaje de ramas fructificadas con relación al resto de los tratamientos (Tabla 11).

Tabla 11. Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de café. Comparación de medias para los Indicadores de productividad.

Tratamiento	Cantidad de pares de hojas nuevas		Cantidad de ramas nuevas		% Ramas fructificadas	
	Media	Signif. ⁽¹⁾	Media	Signif. ⁽¹⁾	Media	Signif. ⁽¹⁾
Ciproconazol + tiametoxam (300 + 300 g i.a./ha)	44,4	a	15,20	a	84,90	a
Triadimenol + imidacloprid (750 + 1000 g i.a./ ha)	26,65	b	11,20	b	76,31	ab
Tetraconazol (200 g i.a./ha)	25,0	c	11,20	b	65,54	b
Tratamiento control	18,4	d	6,98	c	40,81	c
Media General	28,61		11,14		66,89	
Valor del Estadígrafo	2094,37		35,23		35,97	
P-Valor	0,00		0,000003		0,000003	

(1) Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según test no paramétrico de Kruskal-Wallis y test de Mann-Whitney 2 a 2, para en nivel de significación del 5 % (según StatSoft 2011)

Tabla 12. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento.

Tratamiento	Granos/Ramas Marcadas ⁽¹⁾		Peso de 1 000 Granos (gr)		Cosecha Total ⁽²⁾ (kg)		Rendimiento (t.ha ⁻¹)	
	Media	Signif. ⁽³⁾	Media	Signif.	Media	Signif.	Media	Signif.
Ciproconazol + tiametoxam (300 + 300 g i.a./ha)	78,21	a	2102,11	a	19,00	a	4,75	a
Triadimenol + imidacloprid (750 + 1000 g i.a./ ha)	30,67	b	1911,60	b	15,75	ab	3,94	ab
Tetraconazol (200 g i.a./ha)	21,22	b	1911,17	b	12,00	b	3,00	b
Tratamiento control	14,57	b	1562,41	c	5,75	c	1,43	c
Media General	36,17		1871,82		13,13		3,28	
Valor del Estadígrafo	19,91		6233		37,76		37,76	
P-Valor	0,007		0,0000		0,000002		0,00002	

(1) Media de 8 ramas/planta; marcadas al inicio de los tratamientos

(2) Peso en kg de toda la cosecha de café cereza por variante

(3) Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según test no paramétrico de Kruskal-Wallis y test de Mann-Whitney 2 a 2, para en nivel de significación del 5 %

En la Tabla 12 se exponen los resultados de la producción al momento de la cosecha, realizada 37 semanas después del último tratamiento. Con el tratamiento de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, se obtuvieron los mayores valores absolutos de la cantidad y peso de granos de café cereza, la cosecha y el rendimiento, el cual fue significativamente superior que el del tetraconazol 100 g y del tratamiento control. A nivel de la cosecha, las diferencias entre los triazoles no fueron estadísticamente significativas, sin embargo, en la variante con ciproconazol + tiametoxam, la producción total fue 17,1 % mayor que con el triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g un 36,9 % mayor que la del tratamiento con tetraconazol 100 g y 69,9 % mayor que el tratamiento control. Así mismo, el rendimiento por ha, fue 17,1

% mayor que con triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g un 36,9 % mayor que el tratamiento con tetraconazol 100 g y un 69,9 % mayor que el tratamiento control.

Estos datos muestran una buena correlación con relación al impacto de este tratamiento sobre el desarrollo de las plantas.

Los tratamientos con triazoles tuvieron un impacto en el desarrollo de las plantas de café en relación a la emisión de hojas nuevas, ramas nuevas y ramas fructificadas y se obtuvieron los mejores efectos con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, que tuvieron diferencias altamente significativas en relación a la obtenida en el tratamiento control.

La incidencia de la roya provocó defoliación prematura, la reducción de la capacidad fotosintética, así como el debilitamiento de los árboles enfermos y tuvo un impacto muy elevado en la productividad del café en las parcelas sin tratamiento, lo que coincide lo estudiado en Colombia por Rivillas (2015), y se demuestra en los registros de producción, que *H. vastatrix* está impactando la producción de café en las plantas no tratadas con pérdidas acumuladas que se acentúan cuando se comparan con las plantas que reciben el control de la enfermedad. En este mismo sentido Cordero (2017), plantea que cuanto mayor es el % IR, es menor el rendimiento de producción y lo explica atribuyendo a que la producción de azúcares se da por medio de la fotosíntesis en las partes verdes de la planta, principalmente en las hojas, y al existir una enfermedad que afecte su correcto funcionamiento, o peor aún, una defoliación en la planta, se ve afectado el rendimiento de la producción, ya que el llenado de los frutos se realiza pobremente y sin la cantidad de nutrientes necesarios.

El tratamiento de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L tuvo un impacto significativamente superior al resto de los tratamientos sobre la emisión de hojas nuevas, ramas nuevas y el porcentaje de ramas fructificadas, que asumimos se debe al efecto bioactivador del tiametoxam sobre el crecimiento. En el ensayo, el tratamiento con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L mostró diferencias altamente significativas con los demás tratamientos estudiados en relación a la

disminución del impacto de la enfermedad en la producción. El aumento de la productividad obtenida con el tratamiento con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, se asume que tiene relación con el efecto demostrado por esta molécula en relación al vigor, la acumulación de biomasa, la alta tasa de fotosíntesis y raíces más profundas, encontradas en estudios con cultivos como la soya, el arroz, el trigo, entre otros y relacionadas a la transcripción del ADN en la planta, expresión de genes, proteínas de la membrana, enzimas metabólicas y nutrición (Castro, 2016). Estas proteínas interactúan con mecanismos de acción del estrés por diferentes factores como la sequía, pH, salinidad, daños por plagas, etc., favoreciendo rendimientos más altos.

A continuación, se muestra la correlación entre la severidad del ataque y la producción y los rendimientos, donde se estableció una correlación lineal significativa, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,7565 (Figura 7).

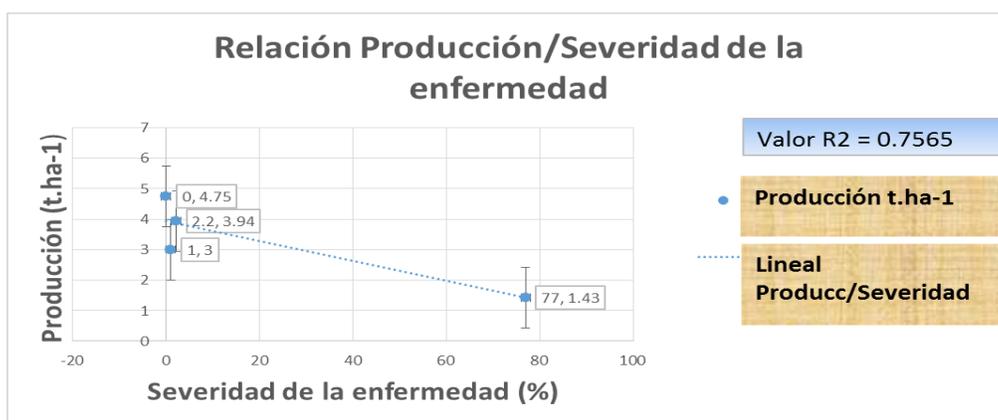


Figura 7. Relación Producción/Severidad de la enfermedad

La relación estuvo agrupada en dos grupos de datos: uno debido al efecto de los triazoles sobre el desarrollo de la enfermedad; el otro debido a la alta severidad del ataque en las parcelas no tratadas. Esta relación demuestra el efecto de la incidencia de *H. vastatrix* sobre la productividad de *C. arabica* y la necesidad de establecer medidas de control en las condiciones de las plantaciones de café arábico del municipio Cumanayagua en la provincia Cienfuegos y en todas las

regiones con pluviometría y temperaturas similares a la de la región de Cumanayagua.

En el presente estudio se demuestra, que la roya afecta de forma intensa los rendimientos de *C. arabica* y existió una relación lineal e inversa entre severidad y rendimiento total. Sus efectos estuvieron en relación a la disminución de granos por ramas, en el peso y en el rendimiento. La pérdida de rendimiento en la parcela correspondiente al tratamiento control fue un 69,9 % menor que el rendimiento máximo obtenido en la parcela de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, que terminaron libres de roya. Esto implica, que con los tratamientos de protección contra la roya se pueden duplicar los rendimientos en café, siempre y cuando existan condiciones de nutrición adecuadas para garantizar el aumento de la productividad. Estos resultados están en concordancia con los planteamientos de Oerke (2006) y otros autores en relación al impacto de la protección con fungicidas sobre la disminución de las pérdidas por plagas.

Análisis económicos de los resultados

Se determina que el valor de la protección por hectárea según el costo de los fungicidas (MFP, 2017), el rendimiento obtenido en el experimento expresado en toneladas de café verde, el costo total de la producción en cada tratamiento; teniendo en cuenta que el costo de las labores para plantaciones de *C. arabica* en producción en su tercer año de establecida (Anon, 2019), corresponde con un valor total de 5 169,11 pesos por hectárea, lo cual es común para todas las variantes en estudio, además se muestra su valor de acuerdo al pago al productor (MFP, 2015), así como la rentabilidad alcanzada por cada variante en el ensayo y las diferencias con relación al tratamiento control (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis económico de los tratamientos

Tratamiento	Valor de la Protección (Pesos.ha ⁻¹)	Rendimiento obtenido Café verde (t.ha ⁻¹)	Costo Total (Pesos.t ⁻¹)	Valor Producción Obtenida (Pesos.t ⁻¹)
Tetraconazol	168,0	3,94	1 354,6	98 500,0
Ciproconazol + Tiametoxam	1 170,0	4,75	1 334,5	118 750,0
Triadimenol + Imidacloprid	1 500,0	3,0	2 223,0	75 000,0
Tratamiento control	-	1,43	3 589,7	36 000,0

Tratamiento	Rentabilidad Alcanzada (Pesos.t ⁻¹)	Diferencia Rentabilidad con relación al tratamiento control (Pesos.t ⁻¹)	Diferencia con relación al tratamiento control %
Tetraconazol	97 145,4	64 735,1	+ 66,7
Ciproconazol + Tiametoxam	117 415,5	85 005,1	+ 72,5
Triadimenol + Imidacloprid	72 777,0	40 366,6	+ 55,5
Tratamiento control	32 410,3	-	-

El tratamiento con ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, produjo un aumento del valor de la producción de un 69,7 %, el tetraconazol 100 g/ha de un 63,5 % y el triadimenol + imidacloprid un 52 % en relación a la parcela no tratada. El costo en pesos por tonelada métrica de la producción por hectárea fue de 280,9 para el ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, de 343,8 para el tetraconazol 100 g y de 741 pesos para el triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g. De la misma forma, se obtuvieron los mejores resultados en la rentabilidad con relación al tratamiento control para el tratamiento de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, el cual fue un 72,5 %, superior, mientras que tetraconazol 100 g fue 66,7 % superior y el triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g fue un 55,5 % superior al tratamiento control. De aquí se infiere que, aunque los ingredientes activos tienen una eficacia biológica similar en cuanto al control de *H. vastatrix*, su efecto sobre el desarrollo de la planta

y la producción fueron diferentes así como los costos y por tanto, la eficiencia económica también, siendo el tratamiento de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L el de mayor eficiencia en el control y desarrollo de las plantas y de menor costo por tonelada de café verde producido.

La aplicación al suelo permite una menor dependencia con los factores climáticos, así como un control más exacto por la dosificación por año, así como tiene un menor impacto sobre el operario y mayor flexibilidad de uso en diferentes condiciones topográficas, como por ejemplo, el cultivo en montaña por requerirse pocos volúmenes de agua en los tratamientos a diferencia con los tratamientos mediante aspersión foliar que requieren mayores volúmenes de agua.

Al ser aplicado al suelo y no de forma foliar, a una muy baja carga tóxica de tan solo 0,06 g i.a/planta y con poca residualidad en la planta, tiene un menor impacto sobre el medio ambiente y sobre los microorganismos benéficos y bioreguladores que puedan existir al momento de ser aplicado, además, al ser de rápida adsorción por las raíces no se produce escorrentía que pueda contaminar fuentes de agua cercanas.

El formulado con imidacloprid 8 g + triadimenol 6 g, tiene la desventaja de poseer un 86 % de materia inerte, lo que implica que se transporta por vía marítima y terrestre y almacenan grandes volúmenes de esta materia inerte innecesariamente, encareciendo los costos directos e indirectos de almacenaje y de ingredientes.

Conclusiones y Recomendaciones

CONCLUSIONES

1. Los formulados de los fungicidas ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L, triadimenol 6 g + imidacloprid 8 g y el tetraconazol 100 g, resultaron altamente efectivos en el control de la roya en *C. arabica* y los mejores resultados en la inhibición de la enfermedad, el desarrollo de las plantas y en la productividad se obtuvo con el ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L a la dosis utilizada en el ensayo.
2. En relación al desarrollo de la planta, se demostró que la roya afectó la producción de ramas y hojas nuevas, el número de ramas con frutos, el número de frutos por ramas, el peso de los frutos y la producción total.
3. Se demostró una relación altamente significativa e inversa entre la severidad de la roya y el rendimiento de *C. arabica* y que la enfermedad disminuyó hasta un 69,9 % el rendimiento de las parcelas no tratadas.
4. La utilización de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L constituye un aporte novedoso para la protección de *C. arabica* contra la roya del café por *H. vastatrix*.

RECOMENDACIONES

1. Proponer la aplicación de ciproconazol 300 g/L + tiametoxam 300 g/L para el control de *H. vastatrix* (roya del café) en la Provincia de Cienfuegos
2. Socializar los resultados de este trabajo con productores, técnicos y directivos con el objetivo de su implementación luego de ser aprobado.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Carrillo, J. C. (2009). *Evaluación del efecto de la aplicación de Thiamethoxam sobre la calidad de semilla de cinco híbridos de maíz (Zea maíz I.) y cinco variedades de arroz (Oryza sativa)*. (Tesis de Maestría) Facultad de Agronomía.
- Andrade, S. A. L., Mazzafera, P., Schiavinato, M. A., & Silveira, A. P. D. (2009). Arbuscular mycorrhizal association in coffee. (*Revista The Journal of Agricultural Science*), 2(147).
- Anon. (2019). *Series cronológicas de producción de Café en Cumanayagua*. Empresa Agroindustrial Eladio Machín.
- American Phytopathological Society (APS). (2011). *The American Phytopathological Society. Coffee rust (Hemileia vastatrix)*. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>
- Arañó, L., & Prieto, D. (2002). Influencia de la edad de las hojas en el período de incubación, período de generación, intensidad de esporulación y generaciones del patógeno. *Café Cacao*. (*Revista Café Cacao*), 5(1 y 2).
- Arévalo, C., & Porras, F. (1996). *Comportamiento epidemiológico de la Roya del Café bajo diferentes alternativas de Manejo*. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional Agraria UNA – Managua.
- Avelino, J., Bertrand, B., Eskes, A., Santacreo, R., & Holguín, F. (1999). La roya anaranjada del cafeto: Mito y realidad. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. (*Rev. IICA*) (No.12).
- Avelino, J., Rivas, P., & Gonzalo, G. (2013). *La roya anaranjada del cafeto* (Vol. 1). https://hal.archivesouvertes.fr/hal01071036/file/LA_ROYA_ANARANJADA_DEL_CAFETO_V1.pdf

- Avelino, J., Romero-Gurdián, A., Cruz-Cuellar, H. F., & Declerck, F. A. J. (2012). Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. (*Revista Ecological Applications*), 2(22). <http://dx.doi.org/10.1890/11-0869.1>
- Avelino, J., & Savary, S. (2002). Rational and optimized chemical control of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)—The case of Latin America. Research and Coffee Growing. (*Rev. CIRAD*).
- Avelino, J., & Savary, S. (2004). Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. (*Revista Plant Pathology*), 53. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2004.01067.x>
- Avelino, J., Zelaya, H., Merlo, A., Pinedo, A., Ordonex, M., & Savary, S. (2006). The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on the production situations. (*Revista Ecological Modelling*), vol.3-4 (197). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.013>
- Barquero, M. (2012). La Roya del Cafeto requiere atención y manejo. Instituto del Café de Costa Rica (*Revista Informativa ICAFE*), (1).
- Barquero, M. (2013). Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto. Instituto del Café de Costa Rica. (*Revista Informativa ICAFE*).
- Barrera, J. F., Huerta, G., Herrera, J., Gómez, J., & Avelino, J. (2013). La roya del café. Crónica de una devastación anunciada. (*Rev. Eco-fronteras*).
- Berlanga, V., & Rubio Hurtado, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. (*Revista de Innovación. Recerca en Educació*), 5(2), 101-113.
- Bettencourt, A., Rodrigues, J., & Rijo, L. (2003). Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. Annu. (*Rev. Phytopathol*).

- Biagro. (2007). *Foli- stop abono a base de cobre. Sal de cobre y quelato de cobre edta*. https://www.dqagro.es/uploads/CAE00524_FOLI%20STOPFT.pdf
- Centre for Agricultural Bioscience International, (CABI), (2007). *Compendium de Protección de Cultivos. Crop Protection Compendium*.
- CABI. (2016). *Crop Protection Compendium*. CAB International, Walling- ford. <http://www.cabi.org/compendia/cpc/>
- Campos, O., Gento, J. C., Santos, D., Nery, J., & Jasinto, R. (2013). Análisis sobre eficiencia de fungicidas contra la Roya del Cafeto. (*Revista El Cafetal*), 34(3-5).
- Carrero, J. M., & Plnaes, S. (2008). Plagas del Campo. (*Revista Minda-Prensa*), 3.
- Carvalho, A., & Monaco, L. C. (1971). Melhoramiento do cafeeiro visado a resistencia a ferrugem alaranjada. (*Revista Ciencia e Cultura*), 2(23).
- Carvalho, C. R., Fernández, R. C., Carvalho, G. M. A., Barreto, R. W., & Evans, H. C. (2011). *Cryptosexuality and the Genetic Diversity Paradox in Coffee Rust, Hemileia vastatrix*. Public Library of Science. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026387>
- Castro, F. R., Charles, E. H., & Barreto, R. (2009). Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. (*Revista Tropical Plant Pathology*), 2(34).
- Castro, P. (2016). *Efecto de tiametoxam en la tolerancia y productividad, además del control de insectos*. HortiCultivos [University of São Paulo]. <https://www.horticultivos.com/agroquimicos/fitosanidad/efecto-tiametoxam-la-tolerancia-productividad-ademas-del-control-insectos/>
- Castro, P., & Pereira, M. (2008). *Bioativadores na agricultura. En Tiametoxam. Uma revolução na agricultura brasileira*. Editora Vozes.

Comité Estatal de Sanidad Vegetal, (CESAVE). (2019). *Roya del Cafeto (Hemileia vastatrix)*.

Chalfoun, S. M. (1981). *Relação de diferentes incidencias de infeccao de ferrugen sobre a producao de cafeiros en algunas localidades do Estados de Minas Gerais. Fitopatología Brasileira.*

Chaparro, Ap., Cristancho, Ma., Cortina, Ha., & Gaitán, Al. (2004). Genetic variability of *Coffea arabica* L. accessions from Ethiopia evaluated with RAPDs. (*Rev. Genetic Resources and Crop Evolution*), 51.

Chaveco, O. (2018). *Buen ritmo en la cosecha de café de las montañas de Cienfuegos.* Agencia Cubana de Noticias. <http://www.acn.cu/economia/40454-buen-ritmo-en-la-cosecha-de-cafe-de-las-montanas-de-cienfuegos>

Centro Interamericano de Administraciones Tributarias. (CIAT), (1981). *Recomendaciones Básicas Sobre el Manejo de Agroquímicos.* https://books.google.com.co/books?id=if_efusgsC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Clifford, M. N. (2012). *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage.* Springer Science & Business Media.

Consejo Cafetalero Nacional, (COFENAC), (2013). *Estudio de fungicidas protectores y sistémicos para la prevención y control de la roya del cafeto.* Portoviejo, EC.

Compañía del Grupo Syngenta. (2017). *Verdadero Gránulos Dispersables 600. Insecticida-Fungicida de Uso Agrícola.* https://www.syngenta.com.co/sites/g/files/zhg481/f/verdadero_600_wg_0.pdf?token=1541180208

Coralsa. (2014). *Historia del Café Cubano.* <https://www.coralsa.com.cu>

- Cordero M, G. (2017). *Eficiencia de control de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) con triazoles y estrobilurinas en El Rosario de Naranjo Costa Rica.*
- Cowley, R., & Pego, A. (1876). *Los Tres Primeros Historiadores de la Isla de Cuba: Vol. Tomo I.*
- Cristancho, M. A., Caicedo, B. C., Rivillas, C. A., Gómez, G. C., & Gaitán, A. L. (2015). *Compendium of coffee diseases and pests.* APS Press. (Rev. *The American Phytopathological Society*).
- Cristancho, M. R., Escobar, Y., Rivillas, C., & Gaitán, A. (2012). *Outbreak of coffee leaf rust (Hemileia vastatrix) in Colombia.* (Rev. *New Disease Reports*), 25(19). <http://www.10.5197/j.20440588.2012.025.019>
- DGSV-SINAVEF-LANREF. (2016). *Escalas de severidad de roya del café en hoja y planta.* <http://www.royacafe.lanref.org.mx/Documentos/EscalaSev.pdf>
- Dufour, B., Barrera, J., & Decazy, B. (1999). *La broca de los frutos del cafeto: ¿La lucha biológica como solución?*
- Ecured. (2017). *Producción cafetalera en Cuba.* https://www.ecured.cu/Producci%C3%B3n_cafetalera_en_Cuba
- Ecured. (2018). *Las Moscas, Cumanayagua.* [https://www.ecured.cu/Las_Moscas_\(Cumanayagua\)](https://www.ecured.cu/Las_Moscas_(Cumanayagua))
- Ecured. (2019). *Cumanayagua, Cienfuegos.* [https://www.ecured.cu/Cumanayagua_\(Cienfuegos\)](https://www.ecured.cu/Cumanayagua_(Cienfuegos))
- Enrique, G., & Dulcinea, L. (2014). *Guía técnica para la producción y pos-cosecha del café arábigo.* Portoviejo. EC.

European and Mediterranean Plant Protection Organization. (EPPO), (2014). *European and Mediterranean Plant Protection Organization*. <http://www.eppo.int>

Eskes, A. (1983). *Incomplete Resistance to Coffee Leaf Rust (Hemileia vastatrix Berk. & Br.)*.

Eskes, A., & Toma –Braghini, M. (1981). *Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk. Et Br.)*. Boletín fitosanitario de la FAO.

Estación Territorial de Protección de Plantas-Cumanayagua. (2019). *Registro de Protección de Plantas. Primeras Apariciones de Agentes Nocivos*.

Base de datos estadísticos corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAOSTAT). (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. División Estadística*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

Fernández, A., & Pérez, G. (2013). *Memoria*. (Ponencia). I Simposio de roya del café. Ciudad Panamá, Panamá. (http://biblioteca.catie.ac.cr/royadelcafeto/descargas/Memoria_Simposio_Roya_de_cafe_2013.pdf)

Figueroa, R., Fisherworrying, B., & Rosskamp, R. (1996). *Guía para la caficultura ecológica*. Café Orgánico.

Fischersworrying Homberg, B., & Robkamp Ripken, R. (2001). *Guía para la caficultura ecológica*.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, (FNC). (2011). *Sobre el café. Impacto social*. <https://federaciondecafeteros.org>

- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (FONAIAP). (1994). *Roya del cafeto*. http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/Fonaiap/roya.htm
- Gaitán B, A. (2013). *Combatiendo las enfermedades del café ante la Variabilidad Climática*. CINECAFE.
- Galarza, F., & Alcivar, J. (2014). *Los fungicidas sistémicos en la prevención y control de la roya del cafeto (Hemileia Vastatrix Berk. & Br.), en el cantón Piñas provincia de El Oro*. (Tesis de Maestría) Universidad Técnica de Machala.
- Galindo, M., Soriano, O., Quevedo, C., & Melo, M. (2015). *Manual para la elaboración de protocolos para ensayos de eficacia*. Cámara Procultivos ANDI. <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>
- Galvis-García, C. A. (2009). *Identifique y prevenga los daños en cafetales por herbicidas*. Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFE).
- García, J., Posada, H., & Salazar, F. (2015). *Factores de producción que influyen en la respuesta de genotipos de Coffea Arabica L bajo diversas condiciones ambientales de Colombia*.
- García Rosales, D. A. (2013). *Incidencia y Severidad De La Roya Del Café (Hemileia Vastatrix) Y Evaluación De Alternativas Químicas Para Su Control; Finca El Platanar, Chimaltenango*. (Tesis de Maestría) Universidad Rafael Landívar.
- González, E., Bravo, N., & Carone, M. (1995). Caracterización de Verticillium lecanii (Zimm) Viegas Hiperparasitado Hemileia vastatrix Berk y Br. Y Coccus viridis Green. (*Revista de Protección Vegetal*), vol. 10, pp. 169 – 171.
- González, G. R., & Ramírez, A. M. (2013). *Manual técnico para el manejo preventivo de la roya del cafeto*. Dirección General de Sanidad Vegetal.

SENASICA...<http://www.royacafe.lanref.org.mx/Documentos/Manualtecnicoroya.pdf>

Grassias, M., & Kammacher, P. (1975). Observations sur la conjugaison chromosomique de *Coffea arabica* L. (*Revista Café Cacao*), (19).

Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D., & Staver, C. (2000). *Manejo integrado de plagas en el cultivo del café*. CATIE.

Guharay, F., Monterroso, D., & Staver, C. (2001). El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. (*Rev. Agroforestería en las Américas*), Vol. 8.

Hernández, J. R. (2005). *Systematic Mycology and Microbiology Laboratory, Invasive Fungi Fact Sheets*. USDA ARS.

International Coffee Organization, (ICO), (2018). *Organización Internacional de café*, ICO. <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/2840566>

James, W. C. (1971). *An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage*. *Canadian Plant Disease Survey*.

Kagezi, H. G., Kucel, P., Kobusinge, J., Olango, D. N., Nakibuule, L., & Wagoire, W. W. (2018). Predicting the Response of Insect Pests and Diseases of Arabica Coffee to Climate Change along an Altitudinal Gradient in Mt. Elgon Región Uganda. (*Rev. American Research Institute for Policy Development*), Vol.7 <https://doi.org/10.15640/jaes.v7n1a14>

Kushalappa, A. C. (2019). *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance, and Management*. CRC Press.

Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal Cienfuegos, (LAPROSAV), (2019).

Registro de variables climáticas. Oficina de señalización y pronóstico.

Lashermes, P., Trouslot, P., Anthony, F., Combes, M., & Charrier, A. (1996). *Genetic diversity for RAPD markers between cultivated and wild accessions of Coffea arabica.*

Lécolier, A., Besse, P., Charrier, T. N., & Noirot, M. (2009). *Unraveling the origin of Coffea arabica "Bourbon pointu" from La Reunion: A historical and scientific perspective* (Vol. 1).

Manzo Sánchez, G., Canto Canché, B., & James Kay, A. (2005). Hongos Patógenos: Enemigos Versátiles. (*Revista científica*) julio-septiembre.

Mariscal, A. (2011). *El café orgánico de Chiapas crece a contracorriente y sin incentivo.* [https://expansion.mx/nacional/2011/01/25/el-cafe-organico-de-chiapas-crece-a-contracorriente-y-sin-incentivos.](https://expansion.mx/nacional/2011/01/25/el-cafe-organico-de-chiapas-crece-a-contracorriente-y-sin-incentivos)

Marsteller, B. (2016). *II Cumbre de Roya.* <http://www.promecafe.org>

Martin, M. (2018). Estrategia cafetalera: Más áreas jóvenes y mayores rendimientos. (No.137). (Año 51). (*Periódico Juventud Rebelde*). <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2018-06-27/>

Maublanc, A., & Roger, L. (1934). Une nouvelle rouille du caféier au Cameroun. (*Revista Bulletin de la Société Mycologique de France*), 50.

Ministerio de la Agricultura de Cuba, (MINAG). (2011). *Folleto (2/4) para la actividad de Protección de Plantas del Ministerio de la Agricultura de Cuba.*

MINAG, (2014). *Instructivo técnico del café en Cuba.*

MINAG, (2016). *Lista oficial de plaguicidas Autorizados.* Registro oficial de

plaguicidas. Registro de Cuba.

Ministerio de Finanzas y Precios, (MFP). (2015a). *Resolución 236 del Ministerio de Finanzas y Precios. Gaceta oficial No 18 extraordinaria de la República de Cuba.*

MFP. (2015b). *Resolución 237 del Ministerio de Finanzas y Precios. 3. Gaceta oficial No. 18 extraordinaria de la República de Cuba.*

Montes, S. (1981). Introducción y estudio en colección de variedades de café resistentes a la roya. (*Rev. Café y cacao*) Vol. 3.

Monzón, J. A. (1992). *Distribución de Verticillium sp. En tres zonas cafetaleras de Nicaragua y evaluación de dos aislamientos del hongo como agente de control biológico de la roya (Hemileia vastatrix) del café (Coffea arabica L.).* (Tesis de Maestría). Universidad de Costa Rica.

Mora, G. (2016). *Roya del café (Hemileia vastatrix Berkeley & Broome). Ficha técnica No. 40. Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria.* Dirección General de Sanidad Vegetal. http://www.cesaveson.com/files/docs/campanas/vigilancia/fichas2016/ROYA_cafeto.pdf

Morales, C. (2015). *Manejo Agroecológico de la Roya del Café. Memorias del Seminario Científico Internacional.* <http://www.fao.org/3/a-i5137s.pdf>

Muñoz-Santiago, A. (2017). *Efectividad Biológica Del Producto Vermitrol En El Control Del Nemátodo Agallador (Meloidogyne Incognita) En: El Cultivo Del Café Biological Effectiveness Of The Product Vermitrol In The Control Of Agaller Nematode (Meloidogyne incognita) In The Coffee Cultivation.* <https://www.lidag.com/wp-content/uploads/2019/06/Vermittrol-en-cafe-LIDAG.pdf>

Navas García, I. A. (2014). *Evaluación de funguicidas para el control de la roya café*

en la finca la Candelaria San Juan Alotenango, Sacatepéquez. (Tesis de Maestría) [Universidad San Carlos Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2866/1/IVAN%20ALBERTO%20NAVAS%20GARCIA.pdf>

Oerkes, E. C. (2006). Crop losses to pests. (*Revista Journal of Agricultural Science*), (114).

Ogawa, T., Goto, Y., Kitano, K., Fukui, M., & Sugimori, S. (1986). DC: U.S. Patent and Trademark Office (*Rev. Patent N° Patent*) vol. 4, (581), pp. 155.

Orozco, M., Figueroa, P., Pacheco, A., & Calderon, G. (2011). Manejo Integrado de la Roya de Cafeto. (*Revista El Cafetal*), pp. 28.

Pelli, C., Cantos, M., Dinyeah, K., & Nguyen, M. (2014). *Sustainable Mitigation Techniques for Coffee Leaf Rust in Loma Linda*.

Pérez Vicente, L. (2012). *A holistic integrated management approach to control black Sigatoka disease of banana caused by Mycosphaerella fijiensis*. FAO Project Manual Technical Report.

Pérez Vicente, L. (2015a). *La roya del Café (Hemileia vastatrix) Variabilidad patogénica y estrategia del manejo de la enfermedad*. (Ponencia) In Memorias del Taller de Agroecología y Roya del Café. Ciudad de Panamá, Panamá.

Pérez Vicente, L. (2015b). *La roya del cafeto en Cuba. Evolución al manejo alternativo de la enfermedad*. (Ponencia) In Memorias del Seminario Científico Internacional “Manejo Agroecológico de la Roya del Café”. Ciudad de Panamá, Panamá.

Rayner, R. W. (1972). Micología, Historia y Biología de la Roya del Cafeto. (Rev. *Centro Tropical de Enseñanza e Investigación*). Vol. 1, (94)

Riveiro, C. (2014). *Alto 100 SI (ciproconazol) en el control de la roya (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) y su efecto en el rendimiento del cultivo de café en Guatemala...* <http://orton.catie.ac.cr/cgiin/wxis.exe/?IsisScript=GREYLIT.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=004174>

Rivillas, C. A. (2015). *Acciones emprendidas por Colombia en el manejo de la roya del cafeto*. (Ponencia) In Memorias del Seminario Científico Internacional “Manejo Agroecológico de la Roya del Café”. FAO. Ciudad de Panamá, Panamá.

Rivillas, C. A., Hoyos, M., & Ramírez, L. (2017). *Programa de investigación científica*. Fondo Nacional de Café.

Rivillas, C., Leguizamón, J., Gil, L., & Duque, H. (2011). Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. (*Revista CENICAFE*), Boletín Técnico N° 19. <http://cenicafe.org/modules/News/documents/bot019-1.pdf>

Rivillas, C., Serna, C. A., Cristancho, M. A., & Gaitan, A. L. (2012). La roya del cafeto en Colombia: Impacto manejo y costos del control. (*Revista CENICAFE*), Boletín Técnico N° 36. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot036.pdf>

Rodriguez, J. C., Bettencourt, A., & Rijo, L. (1975). *Races of the pathogen and resistance to coffee rust*. *Annual Review Phytopathology*.

Rodríguez Jr, C. J. (1975). *The coffee rusts: Hemileia vastatrix/B. et. Br. And H. coffeicola Maubl. And Rog.* (Ponencia). In COLLOQUE Scientifique International sur le Café. Hamburgo, Alemania.

Rodríguez, R. (s. f.). *Manejo de la roya del café*. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id22.htm>

Rojas Gutiérrez, N. B. (2018). *Evaluación del efecto de poda para la reducción de*

la incidencia y severidad de la enfermedad roya amarilla del cultivo del café en la sub-Central Agraria Alto Lima Caranavi—La Paz.
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/17055/T2513.pdf?sequence=1>

Romero Guerrero, G. (2013). *Desarrollo de Marcadores Funcionales Ligados a la Resistencia Genética Contra la Roya del Café.*
<https://10.13140/RG.2.1.3225.0483>

Rozo, P., & Cristancho, A. (2010). Evaluación de la susceptibilidad de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. A fungicidas del grupo de los triazoles. (*Revista CENICAFE*), 4(61).

SAGARPA. (2011). (*Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*) *perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas.* Luz.

SENASA. (2012). *MIP Plaga del cafeto.*
http://www.senasa.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/SUB_DIR_CONTEP/1222.pdf

Silke, B. (1991). *Sistema Coffea spp y Hemileia vastatrix. En: La roya del cafeto—Conocimiento y control. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ).* Eschborn.

Silva A, R., Zambolim, L., & Alvarez, V. H. V. (2002). Estrategias de Control de la roya del cafeto con la aplicación de fungicida protector y sistémico en Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (*Revista BioAgro*), 2(14).
<https://www.redalyc.org/pdf/857/85714205.pdf>

Silva A, R., Zambolim, L., & Pérez, E. (1997). Identificación de razas fisiológicas de la roya del cafeto en el estado Táchira, Venezuela. (*Revista BioAgro*), (9).

Silva, M., Varzea, V., Guerras, A., Gil, H., Fernández, D., Petitot, A., Bertrand, B.,

- Lashermes, F., & Nicole, M. (2006). Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. (*Revista Journal Plant*), 1(18).
- Simón-Ricardo, F. A. (2015). *Procedimiento para el control biológico del complejo nocivo del follaje del cafeto compuesto por el minador de la hoja (Leucoptera, Guerin—Meneville, 1842) y la roya del café (Hemileia vastatrix Berk. & Br.)*.
- Skillman, J. E. (2013). *A study of abiotic and biotic factors affecting coffee rust infection rates in a shade-grown organic coffee farm* [Master of Science]. School of Natural Resources at University of Michigan.
- Spaulings, P. (1961). *Foreign Diseases of Forest Trees of the World*. U.S. Government Printing Office.
- Subero, L. (2005). *La roya del café*. <http://www.infocafes.com>
- Subit Lamí, D., & Sierra Ricabal, P. M. (2020). Efectividad biológica del plaguicida Verdadero GD 600 para el control de la Roya del Café (*Hemileia vastatrix Berkeley & Broome*) en la Provincia Cienfuegos. (*Revista Científica Agroecosistemas*), 3(7).
<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/371>
- Syngenta. (2016). *CIPROCONAZOL Técnico*.
https://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/view_trademark?book_id=1&trademark_id=3392
- Syngenta Colombia. (2015). *Verdadero en el cultivo del café*.
<https://www.syngenta.com.co/news/noticias/verdadero-en-cultivos-de-cafe>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc. Publisher.
- Tavares, S., Castro, P., Riveiro, R., & Aramaki, P. (2008). *Avaliação dos efeitos*

fisiológicos de tiametoxam no tratamento de sementes de soja. Em Tiametoxam. Uma revolução na agricultura brasileira, D. L. Gazzoni. Vozes.

Townsend, G. R., & Heuberger, J. W. (1943). *Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments.* Plant Dis. Rep.

Vandermeer, J., Perfecto, I., & Liere, H. (2009). Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. (*Revista Plant Pathology*), 58(4).

Virginio Filho, E. (2017). *Cafetales sanos, productivos y ambientalmente amigables. Guía para trabajo con familias productoras.* CATIE.

Watson, A. J. (1971). *Foreign Bacterial And Fungus Diseases of Food, Forage, and Fiber Crops.* Washington: US Government Printing Office.

Zambolim, L. (2015). *La Roya del Cafeto en Brasil. Memorias del Taller Sobre Manejo Agroecológico de Plagas de Café Proyecto FAO TCP/SLM–Roya del Cafeto.*

ANEXOS

Anexo 1

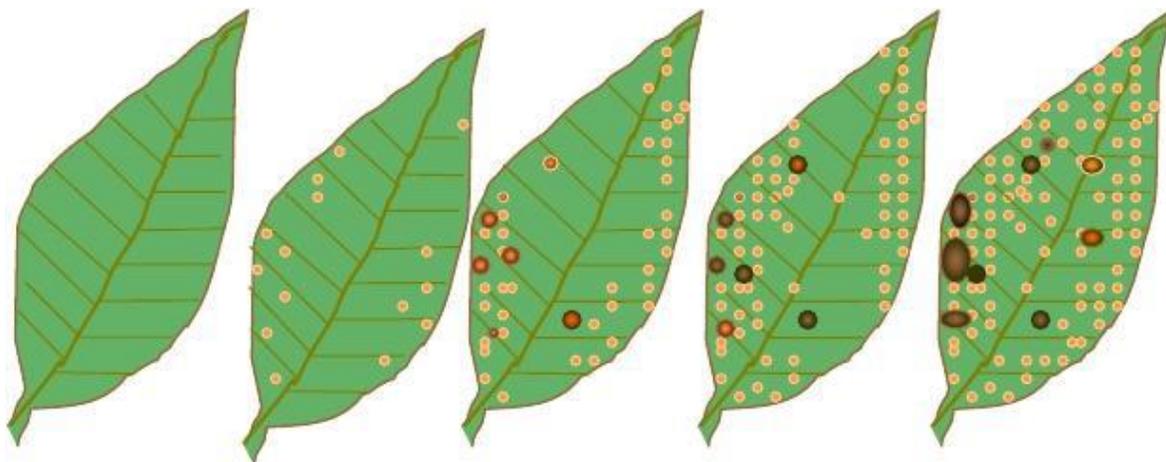


Figura 1. Diagrama del grado de la escala de Severidad (**SENASA, 2012**)

Anexo 2

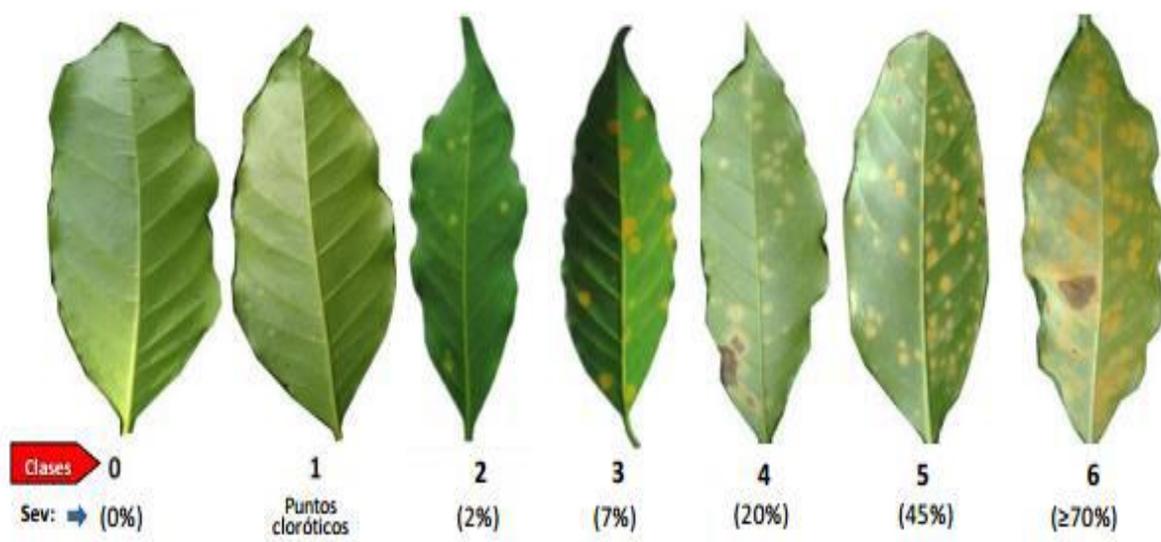


Figura 2. Escala para evaluar severidad de roya en hoja. Fuente: **(DGSV-SINAVEF-LANREF, 2016)**

Anexo 3

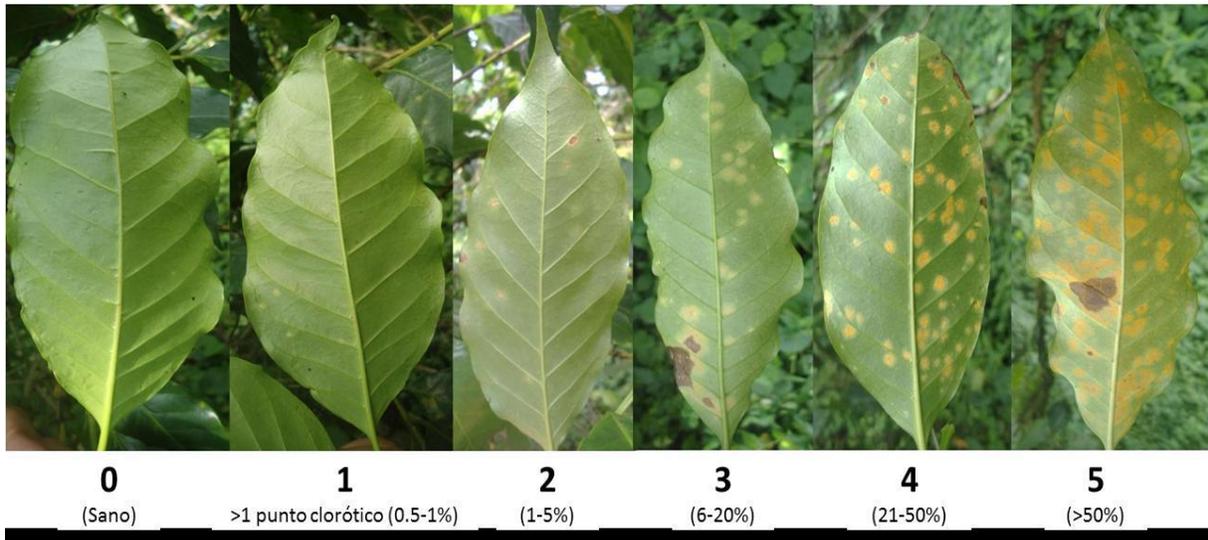


Figura 3. Escala para evaluar severidad de roya en hoja. Fuente: **(González & Ramírez, 2013)**

Anexo 4

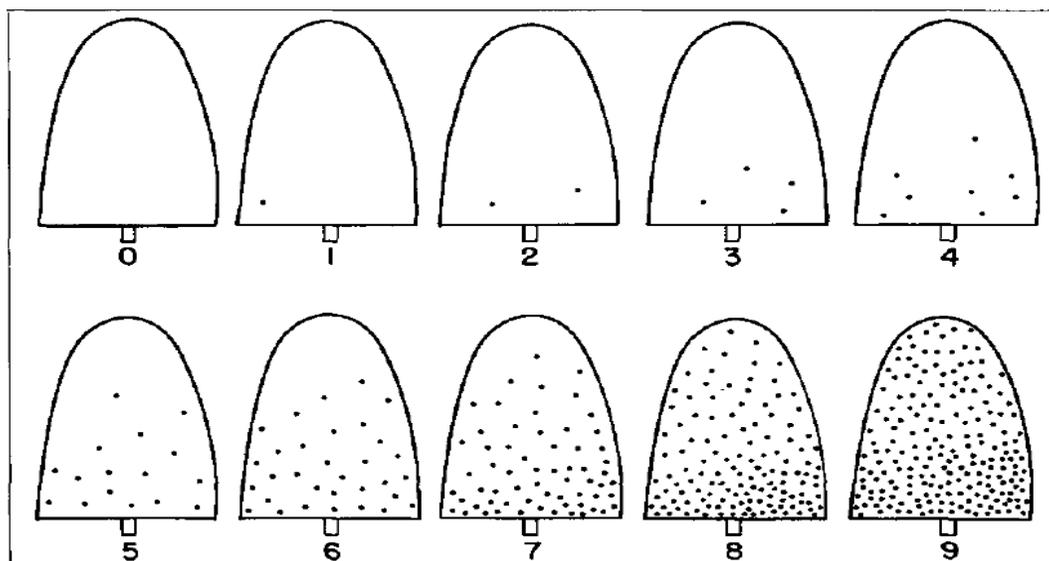


Figura 4. Escala de evaluación de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en campo. Fuente: (Eskes, 1983)