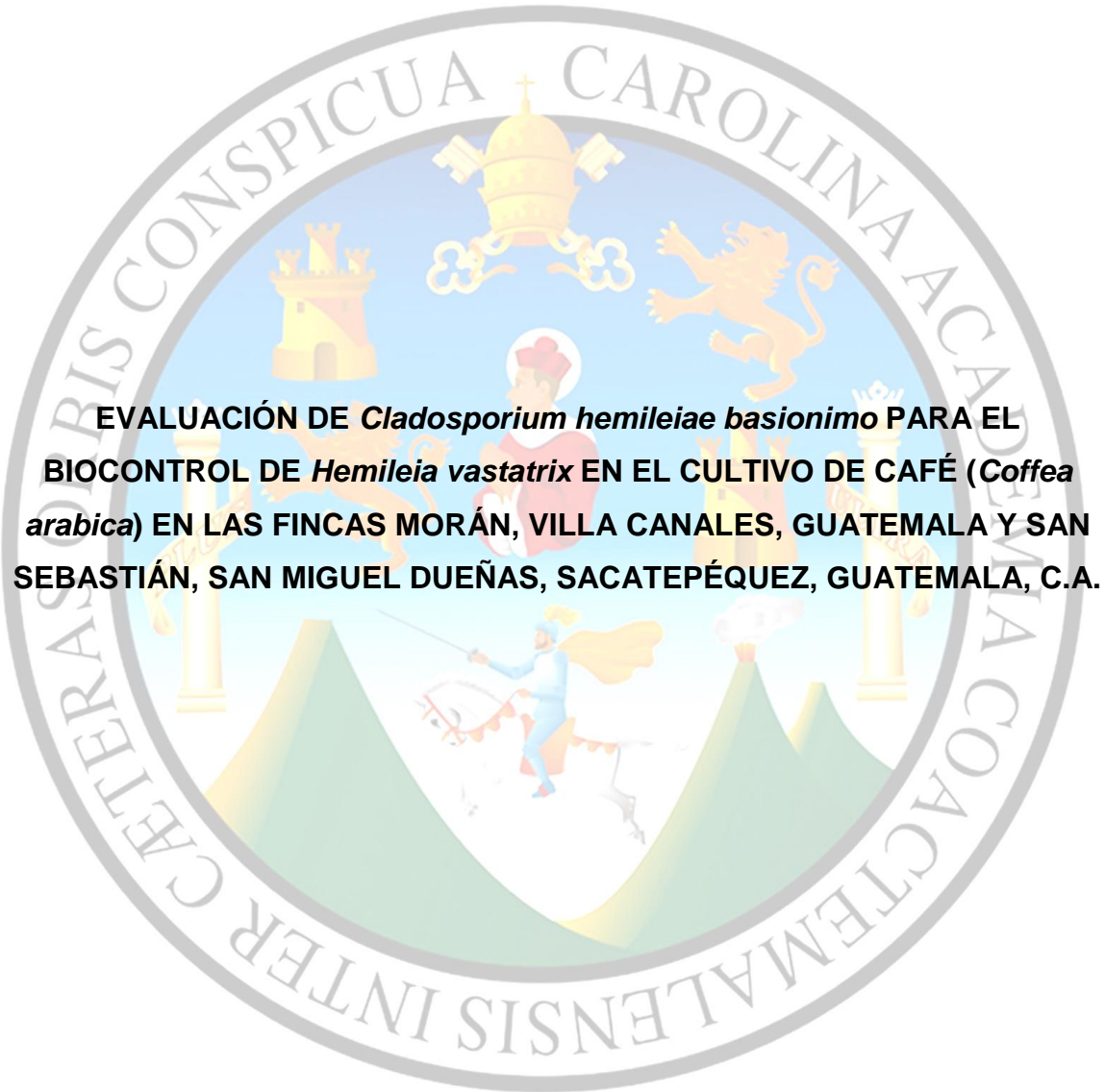


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



**EVALUACIÓN DE *Cladosporium hemileiae basionimo* PARA EL  
BIOCONTROL DE *Hemileia vastatrix* EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea  
arabica*) EN LAS FINCAS MORÁN, VILLA CANALES, GUATEMALA Y SAN  
SEBASTIÁN, SAN MIGUEL DUEÑAS, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

**JAIRO DAVID CHALÍ SALAZAR**

**GUATEMALA, OCTUBRE 2020**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

**EVALUACIÓN DE *Cladosporium hemileiae basionimo* PARA EL  
BIOCONTROL DE *Hemileia vastatrix* EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea  
arabica*) EN LAS FINCAS MORÁN, VILLA CANALES, GUATEMALA Y SAN  
SEBASTIÁN, SAN MIGUEL DUEÑAS, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**JAIRO DAVID CHALÍ SALAZAR**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

**GUATEMALA, OCTUBRE 2020**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR  
M.Sc. MURPHY OLIMPO PAIZ RECINOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Decano:	Ing.Agr. Waldemar Nufio Reyes
Vocal I:	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Vocal II:	Dr. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
Vocal III:	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
Vocal IV:	Perito Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
Vocal V:	Perito Agr. Sergio Wladimir González Paz
Secretario Académico:	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, OCTUBRE 2020

Guatemala, octubre de 2020

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos De Guatemala

Distinguidos Miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el documento de graduación titulado:

**“EVALUACIÓN DE *Cladosporium hemileiae* basionimo PARA EL BIOCOTROL DE *Hemileia vastatrix* EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN LAS FINCAS MORÁN, VILLA CANALES, GUATEMALA Y SAN SEBASTIÁN, SAN MIGUEL DUEÑAS, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.”**

Presentando como requisito previo a optar el título de ingeniero Agrónomo en sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

Esperando que el presente documento llene los Requisitos necesario para su Aprobación agradeciendo la atención prestada a la presente.

Atentamente

“Id y enseñad a todos”

Jairo David Chalí Salazar

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS:**

Por ser el pilar central de mi vida que me guía en los momentos más difíciles de la vida y por darme sabiduría para resolverlos.

### **A MIS PADRES:**

Edwin Chalí y María Salazar por ser un ejemplo para seguir y ser el apoyo incondicional durante estos años.

### **A MIS HERMANAS:**

Jeami Chali, Marleni Chali, Andrea Chali y Keila Mérida por su apoyo constante e incondicional.

### **A MIS FAMILIARES:**

Que de una u otra manera colaboraron conmigo.

### **A MIS AMIGOS:**

Por su valiosa amistad durante estos años de aventura y ser parte de mi familia. Jaime Dubon (El primo), Andrea de León, Fredy Cruz, Vanesa Ariano, Kevin Loarca (Don Cata), Yameli Chanchavac, Yasmin Veliz, Roció Guzmán, Yadira Analí. Carlos Hernández, Amilton Calel (Cuik), Pablo de León, Clara Arenas, Wendi Sierra, Alejandro Gonzáles (Bruja), Vander Sian y Ángel Sutuj.

### **A MIS MAESTROS:**

Por ser mi fuente de inspiración, formación y conocimientos.

## **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

Por ser mi alma mater que me abrió las puertas y me dio la oportunidad de superación personal.

## **Tesis que dedico**

**A:**

### **DIOS:**

Por ser mi camino y luz en esta vida terrenal. hágase en mi según tu palabra mi Dios padre y hijo.

### **MIS PADRES:**

Por toda su ayuda y amor brindado en estos años de esfuerzo. Edwin Chalí y María Salazar. Gracias los Quiero.

### **MIS HERMANAS:**

Para invitarlas a cumplir sus metas Jeami Chali, Marleni Chali, Andrea Chali y Keila Merida. Por qué mucho nunca es suficiente y solo uno decide hasta donde llegar.

### **MI PATRIA:**

Mi querida Guatemala, país donde la educación es un privilegio.

### **MI CASA DE ESTUDIOS:**

A mi Gloriosa Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por brindarme las herramientas para culminar mis estudios.

### **PROFESORES DE LA FAUSAC:**

Gracias por su amistad y conocimientos en mi vida estudiantil: Ing. Waldemar Nufio, Ing. Carlos Búcaro y M.Sc José Calderón.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis padres por el esfuerzo económico y moral, desde el inicio de mis estudios hasta la culminación de mi fase universitaria, sin ese esfuerzo no hubiese podido llegar a convertirme en un profesional universitario.

Al pueblo de Guatemala que con el pago de su impuesto puede tener una educación superior de calidad gratuita. A la Universidad De San Carlos en Especial a la Facultad de Agronomía por una excelente formación académica.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Marco conceptual.....	3
2.1.1 Generalidades del café.....	3
2.1.2 Enfermedades de Café.....	8
2.2 Marco referencial.....	30
2.2.1 Ubicación geográfica.....	30
2.2.2 Ubicación geográfica de las fincas.....	31
3. OBJETIVOS.....	33
3.1 Objetivo general.....	33
3.2 Objetivos específicos.....	33
4. METODOLOGÍA.....	34
4.1 Identificación del hiperparásito <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> .....	34
4.1.1 Diseño de tratamientos.....	34
4.1.2 Hipótesis estadística.....	35
4.1.3 Modelo estadístico.....	35
4.1.4 Ubicación del ensayo.....	35
4.1.5 Unidad experimental.....	36
4.1.6 Diseño experimental y aleatorización.....	36
4.1.7 Manejo del experimento.....	37
4.1.8 Variables de respuesta.....	41
4.1.9 Análisis de la información.....	42

	Página
4.2 Efecto de las condiciones climáticas en la identificación de <i>Cladosporium hemileiae</i> en la localidad de Villa Canales.....	42
4.3 Influencia de las condiciones climáticas en la identificación de <i>Cladosporium hemileiae</i> en la localidad de San Miguel Dueñas .....	43
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
5.1 Identificación del hiperparásito <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> . ....	44
5.1.1 Severidad de <i>Hemileia vastatrix</i> . .....	44
5.1.2 Incidencia de <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> .....	44
5.2 Efecto de las condiciones climáticas en la identificación de <i>Cladosporium hemileiae</i> en la localidad de Villa Canales.....	49
5.3 Influencia de las condiciones climáticas en la identificación de <i>Cladosporium hemileiae</i> en la localidad de San Miguel Dueñas .....	50
6. CONCLUSIONES.....	53
7. RECOMENDACIONES .....	54
8. BIBLIOGRAFÍA .....	55

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del café. ....	4
Cuadro 2. Descripción taxonómica de de la roya del café. ....	10
Cuadro 3. Escala de severidad de la roya del café ( <i>Hemileiae vastatrix</i> ). ....	16
Cuadro 4. Biocontroladores determinadas en la bioprospección de hiperparásitos de <i>Hemileiae vastatrix</i> en reservas naturales de cultivo de café.....	25
Cuadro 5. Clasificación taxonómica de basiónimo <i>Cladosporium</i> spp.....	26
Cuadro 6. Ubicación geográfica de las fincas. ....	31
Cuadro 7. Descripción de los tratamientos. ....	34
Cuadro 8. Distribución de los tratamientos por bloque.....	36
Cuadro 9. Media de pústulas por hojas de los muestreos de <i>Hemileia vastatrix</i> y parasitadas por <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> en dos fincas voluntarias de café. ....	45
Cuadro 10. Análisis de la varianza (SC tipo III) de las medias del número de pústulas por hojas de los muestreos de <i>Hemileia vastatrix</i> parasitadas por <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> en la finca Morán, Villa Canales. ....	47
Cuadro 11. Prueba de medias de Tukey del número de pústulas por hojas de los muestreos de <i>Hemileia vastatrix</i> parasitadas por <i>Cladosporium hemileiae basiónimo</i> en la finca Morán, Villa Canales. ....	47
Cuadro 12. Medias diarias de la red automática de datos meteorológicos del INSIVUMEH (2016) en Villa Canales. ....	49
Cuadro 13. Medias diarias de la red automática de datos meteorológicos del INSIVUMEH (2016) en San Miguel Dueñas. ....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ciclo biológico de la roya del café .....	11
Figura 2. Sintomatología de la Roya del café. a) Síntoma en el envés de la hoja y b) Síntoma en el haz de la hoja.....	15
Figura 3. Escala de severidad de <i>H. vastatrix</i> en hojas de café. ....	16
Figura 4. Microfotografía de micelio, conidioforo y conidos de <i>Cladosporium basiónimo</i> spp. ....	28
Figura 5. Fotografía macroscópica <i>Cladosporium hemileiae</i> (micelio oscuro) parasitando <i>H. Vastatrix</i> . ....	29
Figura 6. Fotografía vista microscópica de <i>Cladosporium hemileiae</i> basiónimo se observa colapso de uredosporas de <i>H. vastatrix</i> .....	30
Figura 7. Mapa de ubicación de las fincas de las reservas naturales de café A) finca San Sebastián y B) finca Moran. ....	32

## 1. INTRODUCCIÓN

El café ha sido parte fundamental en la agricultura de Guatemala. Actualmente, el 40 % (US\$265.45 millones) de participación en las exportaciones incide directamente en la economía y desarrollo del país (ANACAFÉ, 2019).

El café, como todos los cultivos es afectado por plagas y enfermedades que merman la producción y calidad del cultivo. *Hemileiae vastatrix*, roya del café que desde 1980 afecta al cultivo de café en Guatemala. Esta ha tomado mayor importancia agrícola porque impacta aspectos económicos, sociales, políticos y ambientales (Mora S, 2008).

Para el control de *Hemileia vastatrix* se ha recurrido al uso de fungicidas constituidos por benzimidazoles. Estos productos presentan altos costos y el uso excesivo afecta el medio ambiente. El control, no solo afecta a *Hemileia vastatrix* sino también la biodiversidad por la residualidad en el ambiente (Schieber & Zentmyer, 1984).

Un hiperparásito se denomina un agente parasítico de otro que también es parasito. Y como de control biológico del otro parásito (Mora S, 2008). *Cladosporium hemileiae basiónimo* que es un hiperparásito de *Hemileiae vastatrix* y este fue evaluado en las fincas Morán, Villa Canales, Guatemala y San Sebastián, San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, Guatemala, C.A.

El hiperparásito *Cladosporium hemileiae basiónimo* se identificó únicamente en la localidad de Villa Canales, obteniendo mayores medios de pústulas en el tratamiento uno (Guardabarranca,  $2.15 \times 10^9$ ) de 0.16, mientras que los tratamientos dos (Morán  $2.15 \times 10^9$ ) 0.08, y los tratamientos cuatro (Morán  $1.10 \times 10^9$ ) y tres (Guardabarranca,  $1.10 \times 10^9$ ) 0.04, y por último el tratamiento cinco (testigo, sin aplicación) no existió ningún valor por lo que se recomienda incrementar el inoculo.

En la localidad de Villa Canales se observó *Cladosporium hemileiae basiónimo* en pústulas de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café, porque las condiciones

ambientales del primer inóculo favorecieron al hiperparásito, con humedad relativa de 80.30 % (80 % a 90 %), y temperatura media de 20.31 °C (18 °C a 28 °C), mientras que en la localidad de San Miguel Dueñas no se observó *Cladosporium hemileae* basiónimo porque la humedad relativa estuvo por debajo de 53 %, por lo que las condiciones ambientales no favorecieron al desarrollo del hiperparásito.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Marco conceptual**

#### **2.1.1 Generalidades del café**

##### **A. Distribución geográfica del café**

El cultivo del café crece en la franja comprendida entre el Trópico de Cáncer y el de Capricornio, zonas con climas cálidos y húmedos. Las características que definen básicamente sus cualidades dependen mayoritariamente de sus variedades y de su procedencia. Las variedades de mayor producción son el café Arábica y el café Robusta (Schieber & Zentmyer, 1984).

El café Arábica se produce en general en países este-africanos (Etiopía, Kenia y Tanzania) y en países americanos (Guatemala, Costa Rica, Honduras, México, Panamá, Salvador, Nicaragua Brasil, Puerto Rico, Cuba, Haití, Jamaica, Santo Domingo). El Café Robusta, su procedencia es en general de países africanos (Uganda, Camerún y Costa de Marfil) y asiáticos (India, Indonesia y Vietnam). Brasil es la primera región productora y exportadora a nivel mundial de las variedades de Robusta y Arábica (Federación Española del café, 2014).

##### **B. Clasificación botánica del café**

El lugar botánico del café había sido estudiado por más de dos siglos antes de que Linneo lo describiera en términos modernos. Linneo clasificó el cafeto en un grupo de plantas afines y creó para él, el género *Coffea*, más tarde Jussie incorporó ese grupo de plantas dentro de la familia de las Rubiáceas (Monroig,1999).

La clasificación taxonómica según Monroig (1999) de la planta de café se resume en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del café.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-clase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Genero	<i>Coffea</i>
Especie	<i>C. arabica</i>

Fuente: Monroig, 1999.

## C. Condiciones climáticas para el cultivo de café

### a. Temperatura

Los rangos de temperatura media anual señalados como óptimos para esta especie están entre 17 °C y 23 °C o aún en rangos más estrechos, ubicándose entre 18.30 °C y 21.10 °C. Se cita además otro margen de oscilación de temperatura más amplio que va desde los 13 °C hasta los 27 °C (Mora S, 2008).

### b. Precipitación

La precipitación es un factor climático muy importante que tiene un efecto significativo en la floración y, por lo tanto, en la producción y en su época de maduración. La precipitación anual entre 1,600 mm y 1,800 mm es ideal para este cultivo y el mínimo absoluto para esta especie se ubica cerca de 1,000 mm, precipitaciones superiores a los 3,000 mm deben considerarse como inapropiadas para el cultivo económico del café.

La distribución de la lluvia y la existencia del período seco bien definido favorecen el cultivo del cafeto, puesto que con ello se logra un buen desarrollo radical y el crecimiento de las ramas que han brotado durante el período lluvioso. Lo recomendable es un período seco de tres a cuatro meses, que coincida con el reposo vegetativo y que preceda a la floración principal. En zonas donde no ocurre



una estación seca definida, las yemas florales crecen continuamente, dando como resultado floraciones sucesivas con las consecuentes desventajas para la cosecha (Mora S, 2008).

#### **c. Humedad relativa**

Se ha determinado que la humedad del aire no es un factor determinante en el cultivo del café. No obstante, se señala que un promedio de humedad relativa, de 70 % a 95 %, es recomendable para *Coffea arabica* (Mora S, 2008).

#### **d. Luz solar**

El cultivo al sol del café al compararse con el cultivo de café a la sombra, produce un 10 % más, sin embargo, se presenta el inconveniente de que bajo esta modalidad de cultivo se intensifica el ataque de la enfermedad conocida como chasparria (*Cercospora coffeicola*) y se da mayor incidencia de malezas, aumentan los costos de producción, por otro lado, el abuso de sombra disminuye la fotosíntesis y por tanto, la actividad de la planta. Además, aumenta la humedad relativa, lo cual favorece la aparición de enfermedades fungosas (Mora S, 2008).

#### **e. Condiciones edáficas**

El cafeto se cultiva a nivel mundial, en suelos de características físicas y químicas muy heterogéneas. La producción de cosechas altas sólo puede tener lugar en suelos fértiles. Por lo contrario, la fertilidad debe ser mantenida artificialmente mediante la adición de abonos minerales, orgánicos o ambos, pues contribuyen al logro de un equilibrio nutricional óptimo (Mora S, 2008).

#### **f. Profundidad**

La profundidad efectiva del suelo es la capa que permite la penetración de las raíces de las plantas. En el caso del cultivo de café se ha determinado que son

recomendables los suelos con profundidades no menores a un metro (Mora S, 2008).

#### **D. Especies y cultivares**

El café comercializado a nivel mundial proviene de *C. Arabica*, del *C. canephora* o café robusta y, en menor escala del *C. liberica*. De estas tres especies que se explotan comercialmente, la *Coffea arabica* es la más cultivada a nivel mundial, no sólo por el área sembrada y la cantidad producida para el mercado también por la excelente calidad de su bebida (Mora S, 2008). Hay otras especies cultivadas en pequeña escala en algunos países africanos o de interés para programas de fitomejoramiento, como *C. dewevrei*, *C. eugenioides* y *C. salvatrix* (ANACAFÉ, 2011).

##### **a. *Coffea arabica***

El cafeto normal de arábica es un arbusto grande con hojas ovaladas verde oscuro. Es genéticamente diferente de otras especies de café, puesto que tiene cuatro series de cromosomas en vez de dos. El fruto es ovalado y tarda en madurar de 7 a 9 meses. Contiene habitualmente dos semillas aplastadas (los granos de café); cuando sólo se desarrolla una semilla se llama grano caracol (ICO, 2016). Las variedades más conocidas son Tipica y Borbón, pero a partir de éstas se han desarrollado muchas cepas y cultivares diferentes, como son el Caturra (Brasil y Colombia), el Mundo Nuevo (Brasil), el Tico (América Central), el San Ramón enano y el Jamaican Blue Mountain (ANACAFÉ, 2016).

El *Coffea arabica* representa un aporte del 70 % a 75 % de la producción mundial. Como se mencionó con anterioridad, muchas de las diversas variedades cultivadas en latinoamérica fueron desarrolladas a partir de las primeras introducciones, donde algunas son el resultado de mutaciones, hibridaciones naturales o artificiales (ANACAFÉ, 2016).

El café Arábica es a menudo susceptible a plagas y enfermedades, por lo cual la obtención de resistencia es uno de los principales objetivos de los programas de mejora vegetal (Clifford & Wilson, 2017).

### **E. Principales variedades cultivadas de café en Guatemala**

El café ha sido por muchos años un cultivo de importancia económica para el país. De acuerdo con datos del Banco de Guatemala, para el 2015 el café representó un ingreso de divisas cercano a los USD 637 millones, un 6.20 % del total de las exportaciones del país, siendo el tercer producto agrícola de exportación, después de la caña de azúcar y banano. Los principales destinos para el café guatemalteco son los Estados Unidos (44 %), Japón (13 %) y Canadá (10 %).

Desde el punto de vista económico, dos son las especies de mayor importancia en el mundo: *Coffea arábica* y *Coffea canephora*. Guatemala no es la excepción ya que se cultivan básicamente variedades de la especie *Coffea arabica*.

La Asociación Nacional del Café (Anacafé) en 2013, clasificó las variedades de café de Guatemala en orden descendente de productividad (en quintales Oro/mz) en Catuaí, Caturra, Mundo Novo, Maragogype, Bourbon, Pache y Tipica. En Guatemala se encuentra café desde la costa hasta tierra fría, no todas las variedades se adaptan a los diferentes climas y por esta razón los perfiles de cada variedad de café dependen básicamente de las condiciones climáticas de 8 regiones del país Acatenango, Sacatepéquez, Atitlán, Cobán, Fraijanes, Huehuetenango, Zacapa y San Marcos.

Otra especie cultivada en Guatemala es *Coffea canephora*, siendo Robusta la variedad más importante. En general, Robusta ha mostrado resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades, pero para Guatemala esta variedad tiene menor importancia económica ya que representa únicamente el 1 % del café exportado. Además, según Nazareno y Guimarães (2000), existe una gran cantidad

de otras especies llamadas económicas, que se plantan en escala local y normalmente no entran a los canales de comercialización.

### **2.1.2 Enfermedades de Café**

#### **A. Mancha de hierro**

Esta enfermedad es causada por el hongo *Cercospora coffeicola*, y afecta a la planta durante todos sus estados de desarrollo, desde las hojas hasta los frutos. Se identifica pequeñas manchas circulares de color pardo claro o marrón rojizo, posteriormente causa la caída de las hojas e incrementa la producción de café de mala calidad (Bautista, 2018).

#### **B. Phoma sp**

Ocasionada por el hongo *Phoma* spp, comúnmente se observa en áreas productivas con alta humedad, frío y viento. Los síntomas son observados en la punta de las ramas, en hojas jóvenes se observan manchas circulares de coloración oscura. Cuando el daño ocurre en el borde de las hojas pueden presentarse curvaturas y rajaduras. La introducción del hongo en la planta es favorecida por las heridas (Bautista, 2018).

#### **C. Antracnosis**

Ocasionada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, este afecta todas las partes de la planta (tallo, ramas, hojas, flores y frutos) en las diferentes fases de desarrollo. En las plantas afectadas se observa secamiento de las puntas de las ramas o muerte descendente; en hojas y frutos se observa lesiones negras profundas de diferente tamaño. Ocasiona caída de flores, hojas y frutos (Bautista, 2018).

Comúnmente se identifica en lugares donde hay alta humedad relativa, alta precipitación y temperatura entre 20 °C a 25 °C. El hongo es diseminado a cortas distancias por salpique de lluvia o a través de los trabajadores cuando realizan prácticas de campo, y a largas distancias por medio de plántulas. Se distingue de las otras enfermedades por la mancha mantecosa (Bautista, 2018).

#### **D. La roya del café**

La roya del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* es una de las enfermedades más importante para la caficultura mundial, porque es altamente patogénica y destructiva de la planta de café y tiene un impacto económico a nivel mundial ya que ataca principalmente a las variedades que carecen de resistencia genética a la roya, como a las variedades de Caturra, Catuaí, Bourbon, Típica, Pache y otras. (Rodríguez y Moreno 2002, Moreno 2004, Silva et al. 2006).

Esta enfermedad ataca a las hojas maduras y cuando el ataque es severo también infecta hojas jóvenes provocando una intensa caída de hojas de manera que reduce la capacidad fotosintética, reduce el crecimiento vegetativo lo cual combinado con otros factores ambientales, disminuye la producción y puede ocasionar muerte descendente en ramas e incluso la muerte de los árboles (SINAVEF, 2013; Waller, 1985).

##### **a. Descripción taxonómica de la roya**

La roya pertenece a la familia *Chaconiaceae*. La clasificación basada en características morfológicas ha sido confirmada por estudios moleculares. El hongo *Hemileia vastatrix* está alejado del género *Puccinia* y es muy cercano de *Maravalia cryptostegiae* de la familia de las *Chaconiaceae*. *Hemileia vastatrix* tiene una posición basal en el árbol de las royas es por lo tanto una roya primitiva (Avelino & Rivas, 2013).

La clasificación taxonómica según Avelino & Díaz (2013) de la roya del café se resume en el cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción taxonómica de la roya del café.

Reino	Fungi
Phylum	Basidomycota
Orden	Uredinales
Clase	Uredomycetes
Familia	Chaconiaceae
Genero	<i>Hemileia</i>
Especie	<i>H. vastatrix</i>

Fuente: Avelino & Rivas , 2013.

#### **b. Ciclo biológico de la roya del café**

El proceso infectivo de la roya del cafeto puede dividirse en cuatro etapas: diseminación, germinación, colonización y esporulación.

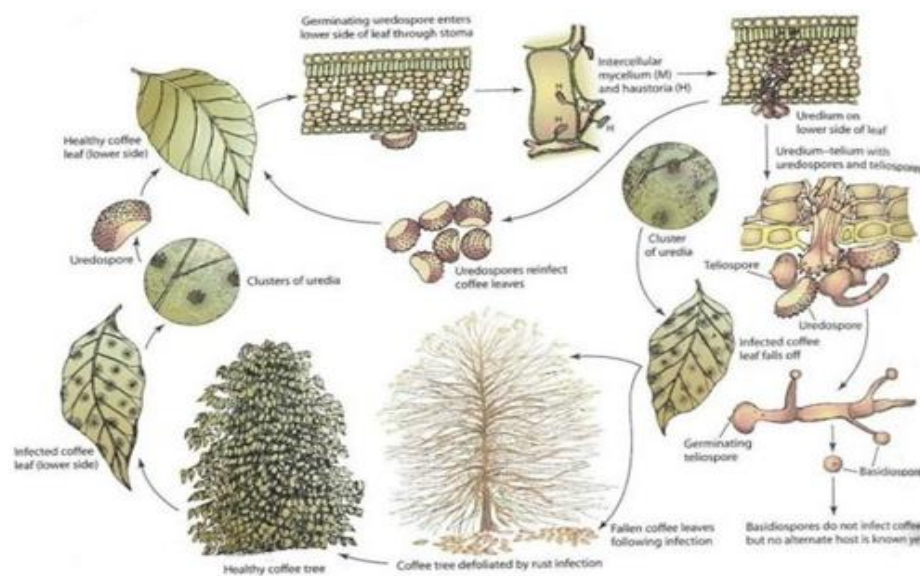
La etapa de diseminación inicia con una fase de liberación donde la uredospora se despega de la hoja de café en presencia de salpicaduras provocadas por la lluvia; en cambio el viento, los insectos y el hombre facilita la diseminación del hongo a cortas y largas distancias; por tanto; pueden desarrollarse nuevas fuentes de infección que dependen de la disponibilidad de tejido sano de las plantas hospedantes y producen grandes cantidades de polvillo amarillo o naranja (uredosporas) que se pueden observar a simple vista en el envés de las hojas de café (Villarreyna, 2014).

Cuando la uredospora entra en contacto con la tejido sano, el área foliar, inicia el proceso de germinación desarrollando de uno a cuatro tubos germinativos en un tiempo de 6 a 12 horas en condiciones favorables como lluvia por lo menos seis horas con temperaturas inferiores a 28 °C y superiores a 16 °C poca luminosidad y

obscuridad, penetrando las hifa a través de estomas situadas en el envés de las hojas maduras, penetrando en forma intra y extracelularmente el tejido foliar, iniciando el proceso infecciosa del patógeno. (Villarreyna, 2014; Rayner, 1961)

Una vez que ha penetrado al interior de la hoja, se produce la etapa de colonización, en la cual el hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con las células de la planta y con éstos extraen los nutrientes para su crecimiento. Las células de café infectadas pierden su coloración natural, apreciándose en las hojas manchas cloróticas o amarillentas que corresponden a los síntomas de la enfermedad (Rivillas et.al., 2011).

A los 30 días después de la colonización, se identifica que el hongo alcanza su maduración y forma estructuras llamadas soros, son encargados de producir nuevas uredosporas a razón de 1,600 mm<sup>2</sup> del área de la hoja en un período de 4 a 5 meses, luego estas uredosporas serán dispersadas para dar el nuevo inicio de su ciclo infectivo (Rivillas et.al., 2011). El ciclo de vida de la roya del café se presenta en la figura 1.



Fuente: Agrios, 2005.

Figura 1. Ciclo biológico de la roya del café

### **c. Epidemiología de la roya del café**

La dinámica de incidencia y severidad de la enfermedad causada por la Roya del café tiene dos fases. La primera fase consiste en la formación del inóculo primario o inóculo inicial, éste es el responsable del desarrollo inicial de la epidemia. La segunda fase consiste en la producción de inóculo secundario, este ciclo se puede repetir varias veces dependiendo de las condiciones ambientales por lo cual es una enfermedad policíclica. (Avelino & Rivas, 2013). La intensidad de la epidemia de la enfermedad depende más del número de ciclos que se pueden dar temporada es decir época seca o lluviosa. En efecto al ser una enfermedad policíclica las esporas de una sola lesión, puede ser capaz de originar una epidemia severa. (Galileo, 2014).

La mayor fuente de inóculo primario es el inóculo residual, inóculo constituido por las lesiones necrosadas y/o latentes llevadas por las hojas del cafeto que sobrevivieron después de la época seca. La cantidad de inóculo residual depende, por lo tanto, de la intensidad de la defoliación después de cosecha. Esta se ve acentuada por una serie de factores de estrés como una fuerte producción, un desequilibrio nutricional, una fuerte exposición al sol, un bajo potencial hídrico del suelo o un periodo seco muy largo. Algunas prácticas culturales como las podas de tejido disminuyen también la cantidad de inóculo al eliminar las hojas enfermas. (Avelino & Rivas, 2013).

En los países tropicales, en la época lluviosa una epidemia se desarrolla en cuatro fases. En Centroamérica, estas fases se desarrollan de la manera siguiente: la primera fase se desarrolla de forma lenta entre mayo y julio, segunda fase que se caracteriza por un crecimiento acelerado entre agosto y febrero, la tercera fase se logra un máximo de infección y la cuarta fase se da un descenso de la enfermedad. La variación estacional de la incidencia de la enfermedad se debe principalmente a



la variación en las precipitaciones. En lugares donde hay dos temporadas de lluvia al año, existen dos picos en la severidad de la roya del café (Campos, 2015).

La intensidad del ataque de una enfermedad depende de las interacciones entre el hospedero, el patógeno, el ambiente y el manejo. En el caso de la roya del café en que factores biofísicos, características productivas del hospedero y características del manejo han sido reportados como afectando la epidemia principalmente. Aunque se sabe que la agresividad y la virulencia del patógeno pueden variar, no se han documentado las implicaciones epidemiológicas de estas variaciones (Avelino & Rivas, 2013).

#### **d. Condiciones que favorecen al desarrollo de la roya del café**

Entre los factores que influyen en el desarrollo o curva de la enfermedad están la acumulación de humedad, variaciones de temperatura, mojado foliar, edad de la planta, época de cosecha y el inóculo primario (cuya mayor fuente es el inóculo residual). Otros factores que hacen a la planta más susceptible a ataques severos son la alta carga fructífera, falta de fertilización o fertilización deficiente, uso inadecuado de fungicidas y variabilidad climática (Anacafé, 2011).

#### **i. Densidad de siembra y efecto de la sombra**

Como en el caso de la sombra, las altas densidades de siembra del café tienden a favorecer a *H. vastatrix* en condiciones de carga fructífera homogeneizada. Esto fue demostrado en Brasil en un experimento en el que todas las plantas estaban sin producción. Estas habían recibido, en efecto, un tratamiento de poda denominado “esqueletamiento”. Este consiste en podar todas las ramas del cafeto dejando sólo un esqueleto. En el año de la poda, el cafeto no produce y se reviste, preparando la cosecha del siguiente año.

Bajo esta condición, se observó un incremento de la severidad y de la incidencia en un 88 % y 84 % respectivamente, con densidades de 10,000 plantas con respecto a 2,500 plantas/ha.

El aumento de las densidades de siembra implica mayor sombra en el ambiente entre cafetos y, por lo tanto, produce efectos similares a los de la sombra, especialmente en términos de humedad. En este experimento, el incremento de los niveles de ataque de la enfermedad en condiciones de altas densidades fue justamente atribuido al incremento de la humedad. Sin embargo, las altas densidades también pueden favorecer la propagación de la enfermedad de planta en planta por el mayor número de contactos entre plantas (Avelino & Rivas, 2013)

## **ii. Efecto de la lluvia y humedad**

El agua es esencial para la dispersión y germinación de las esporas del hongo, la existencia de una epidemia de roya del café requiere de precipitación. Algunas investigaciones han concluido que la dispersión de la roya por el aire es de poca o ninguna importancia y que las salpicaduras de la lluvia son el agente principal, no solamente para la dispersión, sino también para la liberación de esporas.

Las urediniosporas germinan sólo cuando hay acumulación de agua (lluvia o rocío abundante); alta humedad por sí sola no es suficiente. Todo el proceso de infección requiere alrededor de 24, 48 hasta 72 horas de humedad continua en agua acumulada, por lo que mientras el rocío abundante es suficiente para estimular la germinación de las urediniosporas, la infección usualmente ocurre sólo durante la temporada de lluvias. La precipitación constante además contribuye al transporte de las uredosporas a corta distancia, y el agua es necesaria para germinar hasta la penetración en la hoja (Avelino & Rivas, 2013).

Esto explica que la epidemia se desarrolle durante la época de lluvias y que su descenso se observe cuando el periodo de lluvias se detiene, en época seca. Sin embargo, la falta de lluvia no parece ser una fuerte limitante para el desarrollo de la epidemia.

### iii. Temperatura y altitud

El proceso infectivo de la roya del cafeto es favorecido con temperaturas entre 21 °C y 25 °C y condiciones de obscuridad. La infección ocurre en un amplio rango de temperaturas mínima de 15 °C, óptima de 22 °C, y una máxima de 28 °C. (CESVVER, 2015). Esta enfermedad se presenta severamente en altitudes de 600 m a 1,200 m s.n.m. (Solórzano, 2013).

### e. Síntomas y daños

Los síntomas inician como pequeñas manchas de 1 mm a 3 mm, traslucidas y de color amarillo claro. La lesión crece en tamaño y puede unirse con otras formando áreas más grandes de hasta 2 cm que pueden abarcar gran parte de la superficie foliar, con abundante polvo amarillo (esporas) en el envés de las hojas. Las lesiones viejas se necrosan, pero la esporulación puede continuar en el margen de las lesiones (Subero, 2005), como se observa en la figura 2.



Fuente: SAGARPA, 2013.

Figura 2. Sintomatología de la Roya del café. a) Síntoma en el envés de la hoja y b) Síntoma en el haz de la hoja.

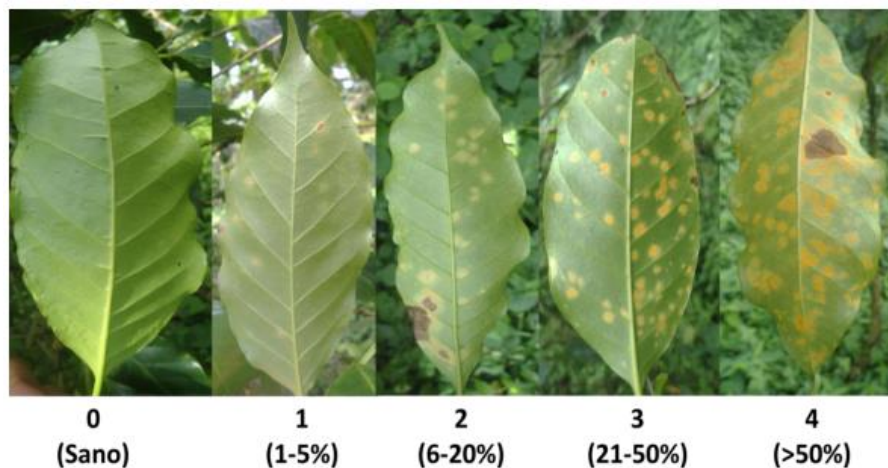
Para evaluar la severidad del daño causado por la enfermedad de la roya en hojas por planta de café se utiliza la escala de severidad de *Hemileia vastatrix* de SAGARPA como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Escala de severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

Clase	Hoja (% daño)
0	Sano, sin síntomas visibles
1	1 % a 5 % de área afectada
2	6 % a 20 % de área afectada
3	21 % a 50 % de área afectada
4	50 % de área afectada

Fuente: SAGARPA, 2013.

Para realizar la evaluación del índice de daño en planta y el índice de daño en hojas, en la figura 3 se observa el formato para su uso práctico en campo (toma de datos) y electrónico (captura y análisis de datos) (SAGARPA, 2013).



Fuente: SAGARPA, 2013.

Figura 3. Escala de severidad de *H. vastatrix* en hojas de café.

En la figura 3 se observa que los daños severos, mayores al 50 % de área afectada, pueden causar defoliación. Si la infección ocurre en etapas tempranas del cultivo se disminuye drásticamente su producción porque se afecta la economía energética de la hoja, la cual es responsable de tres procesos vitales (fotosíntesis, respiración y transpiración); al ser atacada reduce su funcionamiento y puede incluso desprenderse del árbol. A mayor número de hojas enfermas, mayor es el impacto en la producción. Sin embargo, si la infección se presenta en etapas tardías el efecto se observará en los niveles de amarre de fruto del siguiente ciclo de cultivo (Campos, 2015).

#### **f. Manejo agronómico de la roya**

Entre las prácticas para el establecimiento y manejo de los cafetales recomendadas por el centro nacional de investigaciones de café (CENICAFÉ), se encuentran la selección de material de siembra, densidades de siembra superiores a 5,000 tallos o plantas/ha, así como los planes de fertilización basados en los análisis de suelos y en el reconocimiento de las condiciones particulares de los lotes.

Para el control de enfermedades fungosas se puede realizar prácticas de control; convencionales que consisten en el uso de fungicidas químicos y las de control biológico que utiliza organismos benéficos. El correcto manejo agronómico les garantiza a las caficultoras ventajas adicionales en productividad en las diferentes regiones, acordes con las características particulares de suelo y clima de las respectivas áreas geográficas (CENICAFÉ, 2015).

#### **i. Control químico**

Ha sido uno de los componentes más importantes de los programas de manejo integrado de la roya del cafeto. Actualmente, se cuenta con información sobre la eficiencia de los ingredientes activos de los fungicidas más utilizados (cobre,

triazoles, estrobilurinas) así como las dosis adecuadas para lograr un control efectivo. En Brasil, hay por lo menos 16 ingredientes activos para combatir a la roya.

## **ii. Podas**

Igualmente, el manejo de podas en el cultivo de café, es una práctica que estimula el crecimiento de tejido productivo de la planta y elimina parte del inóculo, así como el tejido dañado y/o muerto por efecto de la roya. Debe ser planificado y realizado de acuerdo a la edad de la plantación, registros de producción, sanidad de tejidos, entre otros (CENICAFÉ, 2015).

## **iii. Fertilización**

Es importante considerar la fertilización equilibrada, adaptada al requerimiento de la planta. Los nutrientes ejercen funciones específicas en el metabolismo del cafeto, apoyan el crecimiento y la producción (CropLife, 2016).

Manejar adecuadamente la fertilización mejora las condiciones de resistencia del cafeto a enfermedades (CropLife, 2016). Utilizando la metodología correcta se puede mantener un nivel bajo de infección en el rango de un 15 % a 20 % del control (sin tratamiento químico). Se ha informado que los empleos continuos de los programas de control comunes han sido causa de algunos efectos adversos, por ejemplo, apariciones bruscas y masivas del minador de hoja (*Leucoptera coffeella*; Insecta; Lepidoptera) y la acumulación de cobre en los suelos de las plantaciones cuyos efectos a largo plazo se desconocen (Fulton, 1984).

## **iv. Control biológico**

El control convencional de enfermedades y plagas se basa en el uso de técnicas de erradicación y uso de productos químicos degradan el ambiente y dañan la

biodiversidad, por lo cual una alternativa sana y amigable con el medio la constituye el uso de control biológico (Mejía, 2015).

El control biológico puede definirse como el uso de un organismo vivo para suprimir las actividades y poblaciones de otro organismo vivo y se ha utilizado para manejar insectos plaga, patógenos, malas hierbas y otros tipos de plantas no deseadas. Los mecanismos mediante los cuales un agente de control biológico de un fitopatógeno lo afecta pueden ser directos (por ejemplo, parasitismo y antibiosis) o indirectos (por ejemplo, competencia de sustrato e inducción de resistencia de la planta hospedera) (Mejía, 2015).

El desarrollo de productos de control biológico requiere de estudios sobre la ecología y biología de los agentes de control biológico en condiciones naturales, incluyendo su interacción con el ambiente y organismo que se quiere controlar. Estos estudios usualmente toman varios años, pero tienen el potencial para proveer soluciones a largo plazo y amigables al ambiente (Carvahlo, et al., 2002). Existen diversas estrategias para el control biológico y son tres las que son generalmente reconocidas en la literatura.

La primera estrategia conocida como control biológico clásico, y se refiere a el uso de un agente de control biológico que proviene del mismo sitio de origen y que ha coevolucionado con el organismo que se quiere controlar. El principio de cada plaga y patógeno tiene enemigos naturales que han evolucionado con ellos en sus sitios de origen y que los antagonizan directa o indirectamente, manteniendo las poblaciones de los mismos en niveles controlados. Esta estrategia ha sido ampliamente utilizada y con bastante éxito para el control de plagas de importancia agrícola, con más de 2000 agentes de control biológico probados (Wilson & Huffaker, 1973).

Otra estrategia comúnmente utilizada es la del control biológico aumentativo que implica la detección de enemigos naturales del organismo que se quiere controlar en sitios diferentes a su lugar de origen y posterior aumento de los niveles del mismo

en áreas seleccionadas para que los mismos supriman las actividades o poblaciones del organismo a ser controlado (Shiomi et al., 2006; Haddad et al., 2009). La última estrategia aquí descrita es el control biológico mediante conservación el cual implica el manejo del ambiente para incrementar la sobrevivencia, capacidades fisiológicas y efectividad de unos agentes de control biológico sobre un organismo blanco de un área específica (Barbosa, 1998).

Estas estrategias tienen un valor agregado de ser amigables con el ambiente y la salud de los agricultores además porque son compatibles con prácticas de producción orgánica.

### **E. Importancia económica de la roya en Centro América**

La *Hemileia vastatrix* es el agente causal de la roya amarilla del café, es una de las enfermedades más serias de este cultivo. La diseminación de la enfermedad provocada por *H. vastatrix* en América Latina se inició en el territorio de Brasil, donde se detectó por primera vez en 1970. Luego, desde Brasil se diseminó a todos los demás países latinoamericanos incluida América central, en donde la roya apareció por primera vez en el año 1976 (Avelino et al. 1999).

La importancia de la roya radica en que es la enfermedad más devastadora del cultivo de café que afecta directamente en la producción del café y por tanto la economía en América Latina (Avelino y Savary 2002). El cultivo del café representa un importante rubro para la economía de los países centroamericanos, no sólo por la generación de empleo en sus diferentes eslabones de la cadena, sino también porque representa una fuente importante de divisas para cada país.

La división de mercados, comercio e infraestructura establece que para erradicar la enfermedad es necesario contar con políticas comunes con los países en América Central porque según el programa regional de calidad de café el 80.40 % de los cafetales presentes en las regiones tienen variedades susceptibles a la roya



(Piñeiro, Morley, & Elverdin, 2015). Cabe mencionar que esta enfermedad afecta principalmente a *Coffea arabica* y en menor grado a *C. canephora*, variedades que representan el 66 % y 34 % respectivamente del café plantado comercialmente en la región (Somarriba et al. 2004)

La mayor incidencia y severidad provocada por esta enfermedad fue en el año 2012 donde esta epidemia fue considerada por algunos como la más devastadora del continente americano y se estima que causó pérdidas del 19 % de cosecha en Centro América, y en general del 40 % a 50 % desde México hasta Perú (Avelino y Rivas, 2013; Cressey, 2013; Vandeermeer et al, 2014). Además de causar pérdidas de cosecha, la epidemia de 2012 ha tenido un impacto perjudicial significativo en la seguridad alimentaria y nutricional de la región centroamericana (FEWS NET, 2014).

Las pérdidas estimadas para el año 2013 fueron aproximadamente de 20 %, causando una reducción de 401 millones de quintales oro. Los países más afectados fueron El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, con reducciones de la producción en el orden del 20 % al 33 % durante la cosecha. Así mismo, la caída en los precios internacionales de café desde 2011 hasta finales del 2013 desincentivó la producción del cultivo y contribuyeron a la reducción en la producción de café en Centroamérica (Piñeiro, Morley, & Elverdin, 2015).

A lo largo de los últimos diez años, los volúmenes de producción de café han variado para cada uno de los cuatro países de la región. A pesar de la infestación por la roya, la de región Centroamérica ha mostrado una recuperación gradual en la producción de café a partir de la cosecha 2013 - 2014, especialmente en los países de Honduras y Guatemala, comparada a la cosecha 2012 – 2013, el impacto socio-económico y ambiental provocado por la recurrencia de las epidemias de roya en Centroamérica mantiene a los países afectados en alerta a la amenaza de la reincidencia que se vive hasta la fecha (FEWS NET, 2016).

## F. La roya en Guatemala

En Guatemala esta enfermedad se detectó por primera vez en diciembre de 1980 y durante el periodo de 1982 – 2005, su incidencia no fue problema para los caficultores. Fue hasta el año 2012 cuando la enfermedad causada por *H. vastatrix* atacó severamente la caficultura del país a tal punto de ser declarado un problema de urgencia nacional ya que, según INE, en el periodo 2013 - 2014 se registraron pérdidas de hasta de un 48 % de producción y reducción en la calidad del grano por una fuerte defoliación provocada por dicha enfermedad y eventos climáticos durante esa temporada.

El Banco de Guatemala también reportó que durante ese periodo el efecto de la roya sobre el sector cafetalero fue perjudicial para las exportaciones y la economía en general porque redujo las exportaciones totales en 3.50 % y el PIB en 2.50 %, en comparación a lo que hubiera ocurrido sin la roya (BANGUAT, 2016).

Estos efectos han sido tangibles hasta la fecha ya que el país sigue siendo afectado por esta enfermedad, especialmente en dos áreas: en el Corredor Seco Oriental, las irregularidades de lluvia han generado el aumento de la roya y otras enfermedades, dando como resultado una baja calidad de grano y reducción en la producción de la región, lo cual ha afectado fuertemente las oportunidades de empleo y los ingresos, especialmente de los pequeños productores que se dedican a la producción de café, muchos de estos hogares se clasificaron en crisis desde 2014.

En áreas de elevación media del Altiplano Occidental, las áreas fuertemente dependientes de la producción y empleo en el café han experimentado una drástica reducción de sus ingresos debido a la roya del café y a los bajos precios de compra del mismo, y están recurriendo a la migración atípica, especialmente en la zona fronteriza con México o bien al norte del país en busca de trabajo, especialmente en labores de palma africana y ganadería, entre otras.

## **G. Utilización de microorganismos para el manejo de royas**

El control biológico de organismos tipo roya ha sido evaluado en muchos cultivos con buenos resultados y en el caso del café se han usado microhongos y bacterias de la superficie de las hojas para control de roya del café (Ganley et al. 2008, Jackson et al. 2012, Podile y Kishore 2002, Vandermeer et al. 2009).

Se han desarrollado proyectos con el propósito principal de estudiar comunidades de microbios (microbioma del café) para aislar y probar agentes promisorios de control biológico del *H. vastatrix*, hongo causante de la roya del café, enfermedad más importante de este cultivo a nivel local e internacional (Mejía, 2014). En cuanto a búsqueda de controladores biológicos de *H. vastatrix* en el microbioma del café, se han reportado especies de bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* con capacidad de inhibir la germinación y reducir la incidencia de roya (Daivasikamani y Rajanaika 2009, Haddad et al. 2009, Shiomi et al. 2006).

### **a. Impacto de microorganismos sobre los patógenos**

Los patógenos se encuentran entre los primeros organismos que muestran los efectos del cambio climático debido a numerosas poblaciones, la facilidad de multiplicación y dispersión y el más corto tiempo entre generaciones. Constituyen un excelente grupo de indicadores de cambio climático. Además de la importancia de estos microorganismos como agentes causales de las enfermedades de las plantas, afectando a la seguridad alimentaria y la producción de fibras. Los patógenos son involucrados incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura, ya que el control adecuado evita la pérdida y de la descomposición de material vegetal (Carlton et al., 2012).

Nuevas razas pueden evolucionar rápidamente a temperatura elevada y alta concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, ya que las fuerzas evolutivas actúan sobre las

poblaciones masivas de patógenos impulsado por una combinación de un aumento de los ciclos de la fecundidad (Ghini, 2014).

#### **b. Antecedentes de microorganismos parasitarios de roya**

El uso desmedido de moléculas químicas ha provocado un desbalance en la biodiversidad de poblaciones microbianas, además la demanda de salud humana ha restringido el uso de moléculas químicas que ha hecho necesario implementar el uso de estrategias más saludables en el sistema de producción orgánica, el uso de control biológico ofrece una solución más saludable que evita el desarrollo de resistencia a plagas y enfermedades. El uso de productos a base de microorganismos presenta una mayor ventaja de seguridad al ecosistema y al hombre (Elosegui, 2006).

El uso de microorganismos para el control de enfermedades ofrece alternativas biológicas para el medio ambiente. Con relativamente poca frecuencia se encuentran hongos hiperparásitos, es decir que atacan a otro hongo, y estos constituyen un agente de control biológico del hongo parásito (Barbosa, 1998). En cuanto a búsqueda de controladores biológicos de *H. vastatrix* en el microbioma del café, se han reportado especies de bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* con capacidad de inhibir la germinación y reducir la incidencia de roya (Daivasikamani y Rajanaika 2009, Haddad et al. 2009, Shiomi et al. 2006).

La Sociedad Americana de Microbiología (2016) determinó que el hongo *Lecanicillium lecanii* de la familia *Cordycipitaceae* es capaz de parasitar *H. vastatrix*.

En Guatemala se han realizado estudios sobre el control biológico de la roya del café con hiperparásitos evaluados según su potencial como agentes de control de la enfermedad. Arriola et al (1998) evaluó 308 hongos filamentosos anteriormente aislados para prevenir la infección por roya en el café de una manera significativa. Del total, solo cuatro hongos morfológicamente distintos mostraron actividad sobre las lesiones de roya desarrolladas. Los hongos identificados fueron: *Aphanocladium*

*melioiae*, *Phaecilomyces lilacinus*, *Verticillium leptobactrum* y *Verticillium sp.* Las identificaciones fueron hechas por Dr. William Gams, Central Bureau voor Schimmelcultuur, Barn, Holanda.

En ese mismo año, se evaluaron los hiperparásitos *A. melioiae*, *P. lilacinus* y *V. leptobactrum* como agentes de control de *H. vastatrix* en 22 fincas situadas en diferentes ecosistemas y altitudes sobre el nivel del mar en donde no se estuviese aplicando tratamiento alguno para controlar la roya y que tuvieran focos de infección asegurados. El promedio de reducción fue de 32 % de valor original de infección por *H. vastatrix*. También, los experimentos descritos han probado la existencia de un control biológico de la roya de café en Guatemala a través de la acción de hongos

Se detectaron tres organismos que parasitan la roya del café en la región central de Guatemala (reservas naturales de café), de estos, dos hongos y un insecto, los cuales se presentaron en la mayoría de los casos en todas las unidades bajo muestreo, a excepción de una de ellas donde solo se localizó al insecto. Los agentes detectados fueron estudiados durante el proyecto DIGI 4.863.7.26. y se procedió a la determinación por medio de claves taxonómicas según el grupo al que pertenecieron (Alvarez & Ramírez, 2014). En el cuadro 4 se identifica la clave morfológica que se utilizó para la determinación del agente biocontrolador.

Cuadro 4. Biocontroladores determinadas en la bioprospección de hiperparásitos de *Hemileiae vastatrix* en reservas naturales de cultivo de café.

Agente biocontrolador determinado	Clave morfológica utilizada
<i>Cladosporium hemileiae</i> Steyaert (Digitopodium U. Braun, Heuchert & K. Schub., gen. Nov.)	Heuchert, Braun & Schubert, 2005
<i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimmerm.) Zare & W. Gams.	Zare & Gams, 2001
<i>Mycodiplosis sp.</i>	Gagné, 1982

Fuente: Alvarez, & Ramírez, 2014.

**c. Basiónimo *Cladosporium uredinicola* spp.**

Es un hongo anamorfo perteneciente al Phylum ascomycota, caracterizados por presentar color marrón. Presentan hifas finas, septadas, ramificadas de color hialino a marrón. Las hifas sostienen cadenas ramificadas de conidios unicelulares elipsoides o cilíndricos a algunos con forma de escudo debido a las cicatrices de unión entre ellos. Los conidios se forman por gemación sucesiva del conidio anterior, estando el conidio más joven y pequeño al final de la cadena.

In vitro forma colonias aterciopeladas, pulverulentas o vellosas, con pliegues radiales, de color blanco o crema que tienden a oscurecerse en tonos verde oliva y, a veces, gris verdoso o marrones (Phil, 2014).

La clasificación taxonómica según Phil (2014) de basiónimo *Cladosporium spp* se resume en el cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación taxonómica de basiónimo *Cladosporium spp*.

Reino	Fungi
Phylum	Ascomycota
Orden	Capnodiales
Clase	Dothideomycetes
Familia	Davidiellaceae
Genero	<i>Digitopodium</i>
Especie	<i>D. hemileiae</i>

Fuente: Phil, 2014.

Los sinónimos de este biocontrolador son: *Digitopodium hemileiae*, Basiónimo *Cladosporium uredinicola* y *Cladosporium hemileiae*.

La asociación internacional de micología reconoce a *Cladosporium uredinicola* Basionimo como hiperparásito de *Hemileia vastatrix* en el año 1912 según la clasificación taxonómicas del hongo (MYCOBANK, MYCOBANK Database, Fungal Databases, Nomenclature & Species Banks, 2019). Que en 1930

se renombró como *Cladosporium hemileiae* pero debido a la nueva clasificación taxonómica y a sus características moleculares que presentaba fue renombrado como *Digitopodium hemileiae* (MYCOBANK, 2019).

El *Cladosporium uredinicola* es reconocido en Estados Unidos, Brasil, México, Colombia y Cuba, como hiperparásito de *Puccinia*, es una especie que vive naturalmente en: suelo, material vegetal en descomposición y como patógenos de las plantas. Es un colonizador muy común como *Aspergillus* sp., cuando el hiperparásito actúa sobre la roya se puede presentar necrosamiento en la parte afectada de la planta (Traquiar, Meloche, Jarvis, & Baker, 1984).

Alvarez (2015), realizó una investigación sobre hiperparásitos de *Hemileia vastatrix* en la zona central de Guatemala, los resultados obtenidos dieron a conocer que *Cladosporium hemileiae* Steyaert (*Digitopodium* U. Braun, Heuchert & K. Schub., gen. nov.) (Heuchert, Braun, & Schubert, 2005) es hiperparásito de la roya del café y un potencial biocontrolador.

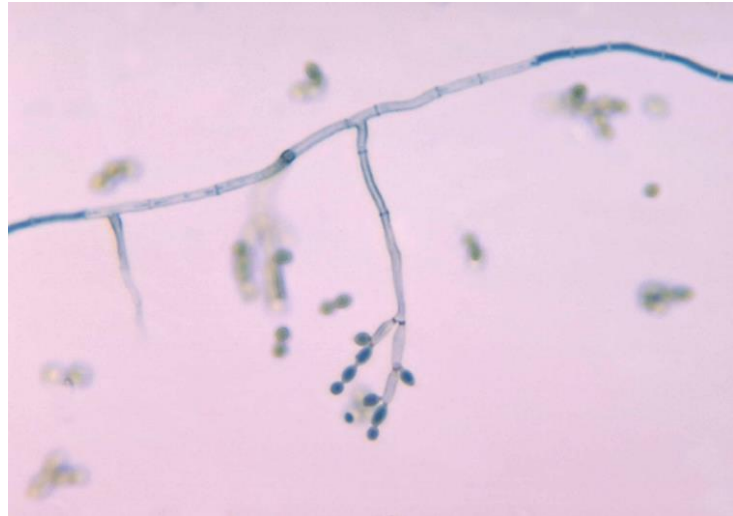
García et al (2005) menciona que *Cladosporium hemileiae* tiene como característica que desarrolla un abundante micelio de coloración café oscura sobre las pústulas de roya. Al darse la penetración del hongo en la parte afectada por roya, se produce un colapso de la pared celular de las uredosporas, disminuyendo la cantidad de inóculo y por consiguiente inhibiendo el crecimiento y desarrollo de la roya.

#### **i. Factores que favorecen en el desarrollo de *Cladosporium hemileiae***

Según Borrego (2012), los factores que favorecen el desarrollo *Cladosporium hemileiae* *basiónimo* son principalmente una temperatura óptima de crecimiento es de 18 °C a 28 °C, esta especie no crece a temperaturas superiores a 35 °C.

Normalmente requiere de humedad relativa alta del 80 % al 90 %. Las esporas se encuentran en forma de bioaerosol en el aire, principalmente a finales de verano y principios de otoño, sobre todo en zonas templadas, se observa microscópicamente

como en la figura 4. Por esta razón requiere de soporte de los nutrientes (medios de cultivo, materiales orgánicos e inorgánicos) utilizando las propiedades físicas de la superficie en que se establezca, presencia de polvo, movimientos del aire, concentración de oxígeno, dióxido de carbono presentes en la atmosfera y pH (Monzón, 2001).



Fuente: Phil, 2014.

Figura 4. Microfotografía de micelio, conidioforo y conidios de *Cladosporium basiónimo* spp.

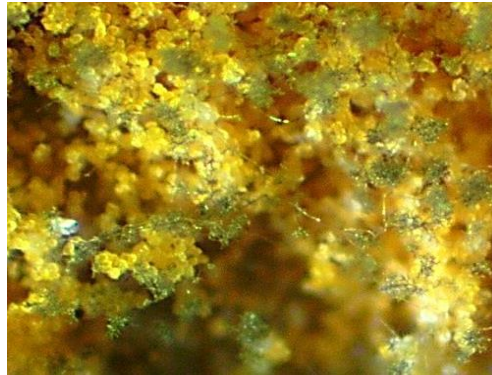
## ii. Control de *Cladosporium hemileiae* basiónimo sobre *H. vastatrix*

Se ha reportado la presencia de antagonistas en *Cladosporium hemileiae* Steyaert y *Lecanicillium lecanii* (Zimmern.) Zare & W. Gams como agentes de biocontrol por hiperparasitismo de *H. vastatrix*. En el estudio "Bioprospección de hiperparásitos de *Hemileia vastatrix* en reservas naturales voluntarias con café" realizado en Villa Canales, Guatemala y San Miguel Dueñas, Sacatepéquez se recomendaron las cepas de Guardabarranca y Morán que se pudieron propagar en arroz blanco, obteniendo concentraciones promedio en siete días de  $1.02 \times 10^7$  UFC/g  $\pm$   $2.20 \times 10^7$  UFC/g para Guardabarranca y  $1.13 \times 10^7$  UFC/g  $\pm$   $1.35 \times 10^7$  UFC/g para Morán, el control de calidad y el porcentaje de germinación y pureza fue de 93 % y



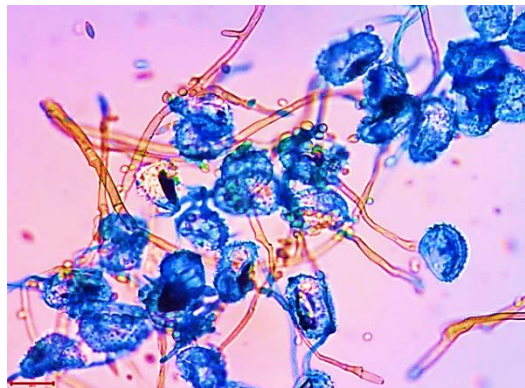
100 % para la cepa Guardabarranca y 96 % y 100 % para Morán respectivamente (Alvarez & Ramírez, 2014).

Las aplicaciones de campo evidenciaron la germinación de *Cladosporium hemileiae* en *H. vastatrix* porque *Cladosporium hemileiae* tiene la capacidad de romper la pared celular y penetrar las uredosporas, colapsando y produciendo necrosis, posteriormente se observa la presencia de abundante micelio de coloración oscura desarrollado sobre pústulas, disminuyendo la cantidad de inóculo e inhibiendo el crecimiento y desarrollo. En las figuras 5 y 6 se muestra el micelio de *Cladosporium Hemileiae* basiónimo sobre *H. Vastatrix*, en vista macro y microscópica respectivamente (Alvarez & Ramírez, 2014).



Fuente: Alvarez, Carrillo, & Ramírez, 2014.

Figura 5. Fotografía macroscópica *Cladosporium hemileiae* (micelio oscuro) parasitando *H. Vastatrix*.



Fuente: Alvarez, Carrillo, & Ramírez, 2014.

Figura 6. Fotografía vista microscópica de *Cladosporium hemileiae* basiónimo se observa colapso de uredosporas de *H. vastatrix*.

En la bioprospección anteriormente citada, se sugiere el aumento de la concentración de inóculo y una mayor frecuencia de aplicación en el campo porque durante el monitoreo en época seca y lluviosa se evidenció la presencia de *L. lecanii* y *Mycodiplosis* sp. en las localidades donde se realizó el estudio (Alvarez & Ramírez, 2014).

## **2.2 Marco referencial**

### **2.2.1 Ubicación geográfica**

#### **A. Villa Canales, Guatemala**

Se encuentra ubicado a 22 km al sur de la Ciudad Capital, con coordenadas geográficas latitud Norte 14<sup>0</sup>29'00'' y en longitud Oeste 90<sup>0</sup>32'00''. La altitud media es de 1,250 m s.n.m. Las condiciones climáticas promedio: temperatura máxima 26.70 °C, mínima 15.90 °C, precipitación anual 1,242 mm de mayo a octubre. Actividades económicas principales son los cultivos: Café, caña de azúcar y piña (SEGEPLAN, 2010).

#### **a. Clasificación del café de Villa Canales**

ANACAFÉ (2016c) clasifica el café de Villa Canales con una calidad delicada, notas florales en su aroma y sabor, pronunciada acidez y buen cuerpo.

#### **B. Sacatepéquez, Guatemala**

Se encuentra ubicado con coordenadas geográficas latitud Norte 14<sup>0</sup>33'30'' y en longitud Oeste 90<sup>0</sup>43'50''. La altitud media es de 1,530.17 m s.n.m. Las condiciones climáticas promedio: temperatura máxima 23.5 °C, mínima 13.20 °C, precipitación anual 1,065 mm de mayo a octubre. Actividades económicas principales son los

cultivos: aguacate, café, flores, limón, macadamia, naranja frijol, maíz, durazno y melocotón (SEGEPLAN, 2010).

#### a. Clasificación de Café de Sacatepéquez

ANACAFÉ (2016c) clasifica el café de Antigua con una calidad elegante, balanceada, exquisito aroma y sabor particularmente dulce.

### 2.2.2 Ubicación geográfica de las fincas

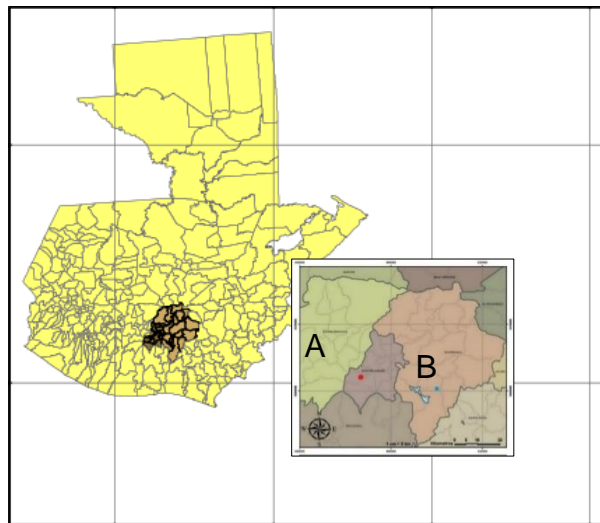
La investigación se realizó en la finca San Sebastián, municipio de Villa Canales, Guatemala y finca Moran en el municipio de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez. Estas son las reservas naturales voluntarias del café, el cuadro 6 identifica las ubicaciones geográficas de cada una de las localidades.

Cuadro 6. Ubicación geográfica de las fincas.

Finca	Municipio	Departamento	m s.n.m.	Longitud	Latitud
Moran	Villa Canales	Guatemala	1,235	90° 32' 01.5912" W	14° 29' 58.9014" N
San Sebastián	Sacatepéquez Guatemala	Sacatepéquez	1,499	90° 44' 58.5443" W	14° 34' 05.2526" N

Fuente: Alvarez, & Ramírez, 2014.

En la figura 7, se muestra el mapa de la ubicación geográfica de las fincas Morán y San Sebastián en los municipios de Villa Canales y San Miguel Dueñas, Sacatepéquez respectivamente. Las fincas a evaluar son reservas naturales de café.



Fuente: Alvarez, & Ramírez, 2014.

Figura 7. Mapa de ubicación de las fincas de las reservas naturales de café  
A) finca San Sebastián y B) finca Moran.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar *Cladosporium hemileiae basionimo* para el biocontrol de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en las fincas Morán, Villa Canales, y San Sebastián, San Miguel Dueñas.

#### 3.2 Objetivos específicos

1. Identificar el hiperparásito *Cladosporium hemileiae* basiónimo en hojas con *Hemileia vastatrix*.
2. Determinar el efecto de las condiciones climáticas en el control de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de Villa Canales.
3. Determinar la Influencia de las condiciones climáticas en el control de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de San Miguel Dueñas.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Identificación del hiperparásito *Cladosporium hemileiae* *basiónimo*

#### 4.1.1 Diseño de tratamientos

En el tratamiento 1 se utilizó la cepa proveniente de Guardabarranca, a una concentración de  $2.15 \times 10^9$  UFC/g; para el tratamiento 2 utilizó cepa proveniente de Moran, a una concentración de  $2.15 \times 10^9$  UFC/g; el tratamiento 3 se utilizó una cepa de Guardabarranca a una concentración de  $1.1 \times 10^9$  UFC/g; en el tratamiento 4 se utilizó una cepa proveniente de Moran a una concentración de  $1.1 \times 10^9$  UFC/g; y el tratamiento 5 correspondió al testigo en donde no se realizó ninguna aplicación. El cuadro 7 detalla los tratamientos que se diferencian por las cepas y las concentraciones utilizadas.

Se realizaron cultivos monospóricos de las cepas, purificaciones y diluciones de esporas las cuales se colectaron y se contabilizaron. Obtenidas las esporas se procedió a realizar 10 diluciones que sirvieron para el conteo de conidios.

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Cepa	UFC/g	g/L
T1	Guardabarranca	$2.15 \times 10^9$	200 g/ 16 L
T2	Morán	$2.15 \times 10^9$	200 g/ 16 L
T3	Guardabarranca	$1.10 \times 10^9$	100 g/ 16 L
T4	Morán	$1.10 \times 10^9$	100 g/ 16 L
T5	Testigo	-	-

Fuente: elaboración propia, 2019.

Tratamientos evaluados durante el experimento utilizando cepas de Guardabarranca y Morán en diferentes concentraciones. T1 ( $2.15 \times 10^9$ ), T2 ( $2.15 \times 10^9$ ), T3 ( $1.1 \times 10^9$ ), T4 ( $1.1 \times 10^9$ ) y T5 (testigo).

Se inculó sobre arroz precocido para su posterior extracción por medio de un tamiz, se realizó el conteo de los mismos para obtener el número de conidios/gramo/colonia formadora.

#### 4.1.2 Hipótesis estadística

Las hipótesis de la investigación se plantean a continuación:

Ho: No existe diferencia significativa al utilizar cepas y concentraciones de *Cladosporium hemileiae basiónimo* para el control de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en época lluviosa (Ho:  $t_i = 0$  para toda i).

Ha: Existirá diferencia significativa al utilizar cepas y concentraciones de *Cladosporium hemileiae basiónimo* para el control de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en época lluviosa (Ha: al menos una  $t_i \neq 0$ ).

#### 4.1.3 Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó fue bloques completos al azar y es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : Variable respuesta.

$\mu$  : Efecto de la media general.

$T_i$  : Efecto del i-ésimo tratamiento.

$B_j$  : Efecto del j-ésimo bloque.

$E_{ij}$  : Efecto del error experimental

#### 4.1.4 Ubicación del ensayo

La investigación tuvo lugar en finca San Sebastián, ubicada en el municipio de Villa Canales, Guatemala y finca Moran del municipio de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez.

#### 4.1.5 Unidad experimental

La unidad experimental utilizada para cada tratamiento fue de 10 m<sup>2</sup>, se utilizaron 50 m<sup>2</sup> para cada bloque.

#### 4.1.6 Diseño experimental y aleatorización

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar para contrarrestar la heterogeneidad del ambiente, el experimento se realizó con un ordenamiento espacial de cuatro (T1, T2, T3, T4) tratamientos y un testigo (T5), con cinco (5) repeticiones, establecidos en un área experimental de 50 m<sup>2</sup>. En el cuadro 8, se ejemplifica la distribución de cada tratamiento por bloque.

Cuadro 8. Distribución de los tratamientos por bloque.

Bloques	Tratamientos								
I	T1		T5		T4		T3		T2
II	T5		T1		T2		T4		T3
III	T3		T5		T1		T2		T4
IV	T4		T2		T3		T5		T1
V	T2		T3		T4		T1		T5

Fuente: elaboración propia, 2019.



#### **4.1.7 Manejo del experimento**

Se inició con un monitoreo en campo para determinar la incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix*) en el cultivo de café, en las fincas San Sebastián y de Morán.

La presencia de síntomas específicos de la enfermedad, se estableció una incidencia del 100 %.

Se evaluó en hojas la severidad del área afectada, utilizando patrones establecidos por SAGARPA (cuadro 1 y figura 3), encontrando la enfermedad de grado clase tres (3) con 21 % a 50 % de área afectada.

#### **A. Obtención de cultivos monospóricos de *Cladosporium hemileiae* basiónimo**

Las cepas de Guardabarranca y Moran fueron proporcionadas por el Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP) de la Facultad de Agronomía USAC, derivado de la investigación de Bioprospección de hiperparásitos de *Hemileia vastatrix*.

##### **a. Selección de la cepa**

Las cepas de *Cladosporium hemileiae basiónimo* se seleccionaron por su alto grado de virulencia, porcentaje de pureza, viabilidad y germinación de conidios/gramos documentados en el estudio DIGI 4.8.63.7.30. de las cepas provenientes de Guardabarranca y Morán.

Las formulaciones de las cepas de Guardabarranca y Morán se establecieron con el conteo de unidades formadoras de colonia en la cámara de Neubauer, para establecer el 100 % de pureza y el 100 % de germinación de esporas infectivas por unidad de peso, en un volumen conocido de agua (ml/g).

## **B. Reproducción masiva del hiperparásito *Cladosporium hemileiae* basiónimo**

Para la reproducción masiva del hiperparásito se utilizó la siguiente metodología: aislamiento de las cepas, purificación de las cepas, preparación del sustrato, preparación de la suspensión, inoculación de la suspensión, incubación de conidios, extracción y conteo de conidios e identificación de los tratamientos en laboratorio.

### **a. Aislamiento de cepas de *Cladosporium hemileiae***

El aislamiento de cepas se realizó al cortar trozos de tejido vegetal de 1 cm<sup>2</sup> de la colecta de las hojas de muestras vegetales, con ayuda del estereoscopio y una aguja de vidrio, estas porciones de tejido infectado por *H. vastatrix* parasitada por *Cladosporium hemileiae*, fue colocada en una caja petri que contenía medio agar agua al 3 %, fueron selladas con parafilm e incubadas a 26 °C.

Al transcurrir 24 horas se realizó una dilución de la caja petri del medio agar agua con esporas infectadas por *H. vastatrix* y parasitadas de esporas del hiperparásito, se trasladó 1 ml de la suspensión de espóra germinada a una caja petri de 1/2 cm de PDA.

### **b. Purificación de cepas de *Cladosporium hemileiae***

Al transcurrir 24 horas se realizó una dilución de esporas, se trasladó 1 ml de la suspensión de esporas germinadas a una caja petri de 1/2 cm de PDA. Las cuales se incubaron a 26 °C para obtener los cultivos monospóricos.

### **c. Preparación del sustrato de arroz**

Se utilizó 300 g de arroz por cada tratamiento. Se colocaron los 300 g de arroz en un beaker de 1,000 ml y se agregó 300 ml de agua destilada, se procedió a

esterilizarlo durante 15 min a 121 °C y 20 PSI, se dejó enfriar durante 24 hrs extendiéndolo sobre bandejas.

En total se realizaron 3 esterilizaciones del sustrato, sobre bolsas de nylon (calibre 3) y se esterilizo por 10 min y 15 min a 121 °C y 20 PSI y el tiempo de enfriamiento fue de 24 hrs.

#### **d. Preparación de la suspensión inoculante**

Por cada uno de los cultivos monospóricos se procedió a realizar suspensiones de esporas, agregando agua destilada a cada uno de los cultivos y así favorecer el desprendimiento de conidios, para la posterior extracción de los mismos, utilizando una jeringa y luego inyectarlo en los sustratos solidos (arroz precocido)

#### **e. Inoculación de la suspensión inoculante**

La inoculación se realizó con ayuda de una jeringa de 50 ml. Que extrajo la suspensión a una densidad de  $1 \times 10^6$  conidios del inoculante. Se procedió a inyectar en diferentes puntos de los sustratos para favorecer la homogeneidad en desarrollo del hiperparásito.

#### **f. Incubación de conidios**

El proceso de incubación se realizó durante tres días a 25 °C, agitando las bolsas con los sustratos cada día para homogenizar los conidios dentro de los sustratos. Después de transcurridos los tres días se trasladó el sustrato esporulado de bolsas a bandejas plásticas para favorecer la aireación a una temperatura promedio de 18 °C y 22 °C. Las muestras experimentales se dejaron incubar durante 21 días.

### **g. Extracción y conteo de conidios**

Se realizó en una dilución madre la cual se le agrego 100 g de sustrato inoculado en 1,000 ml de agua estéril agitándolo para desprender los conidios del sustrato. Al obtener la solución madre se procedió a realizar diluciones para poder realizar conteos de conidios en la cámara de Neubauer. Se estableció el número de conidios por gramo de sustrato inoculado para poder identificar los tratamientos.

### **h. Identificación de los tratamientos en laboratorio para aplicación en campo.**

Para la identificación de los tratamientos se procedió a utilizar bolsas de papel manila de 21.59 cm por 13.97 cm. donde se depositaron los sustratos pesados a través de una balanza (100 g y 200 g) de cada uno de los tratamientos identificados con el tipo de cepa y concentración ( $2.15 \times 10^9$  UFC/g y  $1.1 \times 10^9$  UFC/g) para ser aplicados en el área experimental.

## **C. Establecimiento del experimento en campo**

### **a. Aplicación de los tratamientos**

Para la aplicación de los tratamientos se procedió a preparar la mezcla en un recipiente, se agregó 10 L de agua, la concentración correspondiente al tratamiento ( $2.15 \times 10^9$  UFC/g y  $1.1 \times 10^9$  UFC/g) y la cepa a utilizarse en cada uno de los tratamientos, así mismo 2.5 ml de solución de Tween 20 al 0.05 % (como agente dispersante) para homogenizar los conidios y por último se completaron 16 litros en total de solución.

Para la aplicación se realizó utilizando una bomba de mochila de 16 L, este procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos.

## **b. Evaluación de campo**

Se procedió a monitorear y coleccionar muestras de hojas parasitadas por *H. vastatrix* una vez por semana después de cada aplicación de los tratamientos. Las muestras fueron transportadas en bolsas plásticas e identificadas hacia el laboratorio de Diagnostico Parasitológico de la Facultad de Agronomía para determinar la presencia del hiperparásito sobre el patógeno.

## **c. Identificación de muestras coleccionadas.**

La identificación de las muestras se realizó con la ayuda de un estereoscopio para identificar necrosis sobre las pústulas de *H. vastatrix*. Al identificar las necrosis presentes en las pústulas se procedió a realizar montajes para ser examinados en un microscopio e identificar las estructuras del hongo que provocó la necrosis en *H. vastatrix*, para así determinar la presencia del hiperparásito.

### **4.1.8 Variables de respuesta**

#### **A. Severidad de *Hemileia vastatrix***

Se determinó que un 30 % de las hojas por planta presentaron daño causado por la enfermedad. Utilizando el cuadro de severidad *H. vastatrix* en hojas de café según SAGARPA se estableció que el daño provocado fue clase tres.

#### **B. Incidencia de *Cadosporium hemileiae* basiónimo**

La incidencia del hiperparásito se estableció mediante conteos de pústulas infectadas y no infectadas por cada una de las hojas coleccionadas en cada muestreo.

Haciendo uso del estereoscopio se identificaron las pústulas con presencia o ausencia de necrosis.

Se realizaron montajes del hongo para verificar la estructura morfológica del mismo, haciendo uso del microscopio.

#### **4.1.9 Análisis de la información**

Se realizaron 6 monitoreos, uno cada semana (7 días). En cada uno se colectaron 15 hojas con pústulas por tratamiento, en cada repetición.

Se realizó identificación de hongos de cada una de las muestras colectadas. Se contabilizó las pústulas parasitadas y no parasitadas por el hiperparásito.

Se ordenaron los datos por tratamiento y repetición de cada uno de los muestreos realizados para someterlas a un análisis de varianza para determinar cuál tratamiento de las 2 cepas de *Cladosporium hemileiae* basiónimo era efectiva en el biocontrol de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café.

#### **4.2 Efecto de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de Villa Canales**

Para determinar el efecto de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de Villa Canales durante el periodo de evaluación se obtuvieron las medias de la humedad relativa (%), precipitación (mm), temperatura, rocío (°C), evapotranspiración (mm), radiación (W/m<sup>2</sup>) y velocidad del viento (km/h) del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH).

### **4.3 Influencia de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de San Miguel Dueñas**

Para determinar la influencia de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de San Miguel Dueñas durante el periodo de evaluación se obtuvieron las medias de la humedad relativa (%), precipitación (mm), temperatura, rocío (°C), evapotranspiración (mm), radiación ( $W/m^2$ ) y velocidad del viento (km/h) del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH).

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en la investigación se describen a continuación.

### **5.1 Identificación del hiperparásito *Cladosporium hemileiae* basiónimo**

Para la identificación del hiperparásito se determinaron la severidad de *Hemileia vastatrix* y la incidencia de *Cladosporium hemileiae* basiónimo, y se describen a continuación.

#### **5.1.1 Severidad de *Hemileia vastatrix***

Durante el monitoreo se estableció la severidad de la enfermedad presente de roya en la plantación y fue medida según la incidencia de la enfermedad en la escala de severidad de SAGARPA (2013).

Se determinó que la severidad de la infección pertenece a la clase tres debido a que la presencia del área afectada por las pústulas en hojas correspondió a un 30 % del área de las mismas.

Se colectaron 15 hojas por tratamiento y por cada repetición, es decir 75 hojas por bloque y 375 en cada monitoreo, se realizó conteos de pústulas de *Hemileia vastatrix* para establecer el promedio de número de pústulas por hojas por muestreo y tratamiento.

#### **5.1.2 Incidencia de *Cladosporium hemileiae* basiónimo.**

La identificación del hiperparásito se realizó en dos fases. La primera con observación directa de las muestras colectadas durante los monitoreos, donde se identificaron hifas de color marrón. La segunda etapa se realizó con ayuda del



microscopio, al establecer la presencia de hifas ramificadas de conidios unicelulares, parasitados por las esporas de *Cladosporium hemileiae*.

En el cuadro 9 se muestra el número de las pústulas de *Hemileia vastatrix* identificadas por hoja y se cuantificó la media de pústulas parasitadas por *Cladosporium hemileiae basiónimo* durante la evaluación del ensayo.

Cuadro 9. Media de pústulas por hojas de los muestreos de *Hemileia vastatrix* y parasitadas por *Cladosporium hemileiae basiónimo* en dos fincas voluntarias de café.

Localidad	Tratamiento	Media de pústulas por hojas											
		Pústulas con <i>H. vastatrix</i>						Pústulas parasitadas por <i>C. hemileiae basiónimo</i>					
		Monitoreo											
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Villa Canales	T1	12.71	23.36	14.39	19.12	22.00	23.73	0.95	-	-	-	-	-
	T2	15.20	24.56	26.43	30.97	29.84	28.83	0.41	-	0.04	-	-	-
	T3	17.71	17.29	20.61	22.09	25.03	21.93	0.24	-	-	-	-	-
	T4	22.45	20.17	16.37	23.21	25.84	23.67	0.15	-	0.12	-	-	-
	T5	60.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Miguel Dueñas	T1	11.65	30.29	23.16	24.01	21.19	23.83	-	-	-	-	-	-
	T2	11.12	29.04	20.01	27.17	21.16	25.35	-	-	-	-	-	-
	T3	10.83	12.67	12.83	22.88	20.20	17.16	-	-	-	-	-	-
	T4	8.32	18.80	32.51	30.23	21.12	16.41	-	-	-	-	-	-
	T5	44.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observaciones: media de pústulas por tratamiento y monitoreo obtenidas durante el experimento en la finca Morán, Villa Canales y finca San Sebastián, San Miguel Dueñas, Sacatepéquez.

En el cuadro 9 se identificaron en las dos fincas la presencia de roya, pero en cuanto a las pústulas parasitadas por *Cladosporium hemileiae basiónimo* se identificó únicamente en la finca Morán, Villa Canales, mientras que en la finca San Sebastián, San Miguel Dueñas no se identificó este hiperparásito.

Uno de los principales problemas que se identificó para un buen desarrollo del hiperparásito fueron las condiciones climáticas, las cuales influyeron directamente en el control biológico, debido a que *Cladosporium hemileia* demanda una temperatura media entre 18 °C y 28 °C y humedad relativa de 80 % a 90 % (Borrego, 2012).

Al conocer las condiciones ambientales en el periodo de evaluación Villa Canales 80.30 % de humedad relativa y temperatura de 20.31 °C mientras que San Miguel Dueñas 50.30 % de HR y 19.96 °C, se identificó que los conidios del hiperparásito no germinaron y colonizaron las pústulas de *Hemileia vastatrix* adecuadamente, identificando pústulas parasitadas por *Cladosporium hemileiae basiônimo* en Villa Canales en dos monitoreos en cuatro tratamientos mientras que el testigo y la localidad de San Miguel Dueñas no se identificó este hiperparásito.

Debido a los resultados obtenidos en esta evaluación se realizó el análisis estadístico únicamente en la finca Morán ubicada en la localidad de Villa Canales donde se identificó el hiperparásito *Cladosporium hemileiae basiônimo* en pústulas de *Hemileia vastatrix* en dos monitoreos.

#### **A. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de las medias de las pústulas por hojas parasitadas por *Cladosporium hemileiae basiônimo* determinados en el cuadro 9 fueron sometidos a análisis estadísticos para establecer si existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, tal como se identifica en el cuadro 10.

En cuadro 10 del análisis de varianza se identifica que existe alta diferencia significativa entre los tratamientos evaluados en la finca Morán, por lo que se realizó el análisis de pruebas de media de Tukey y los resultados se observan en el cuadro 11, se realizó con el fin de determinar el tratamiento con mayor cantidad del hiperparasito de *Cladosporium hemileiae basiônimo*.

Cuadro 10. Análisis de la varianza (SC tipo III) de las medias del número de pústulas por hojas de los muestreos de *Hemileia vastatrix* parasitadas por *Cladosporium hemileiae* basiónimo en la finca Morán, Villa Canales.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	Significancia
Modelo.	43.44	13	3.34	22.15	<0.0001
Muestreo	36.98	5	7.40	49.02	<0.0001
Repetición	0.06	4	0.02	0.10	0.9814
Tratamiento	6.35	4	1.59	10.52	<0.0001**
Error	336.45	2230	0.15		
Total	379.89	2243			

CV: 609.53

Cuadro 11. Prueba de medias de Tukey del número de pústulas por hojas de los muestreos de *Hemileia vastatrix* parasitadas por *Cladosporium hemileiae* basiónimo en la finca Morán, Villa Canales.

Tratamiento	UFC/g	Medias	N	E.E.	Grupo Tukey
T1	$2.15 \times 10^9$	0.16	445	0.02	A
T2	$2.15 \times 10^9$	0.08	450	0.02	B
T4	$1.1 \times 10^9$	0.04	449	0.02	B C
T3	$1.1 \times 10^9$	0.04	450	0.02	B C
T5	0	0.00	450	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Al realizar esta prueba entre los tratamientos aplicados se observó en el cuadro 11 que existen 3 grupos de medias A, B y C; el tratamiento 1 (cepa Guardabarranca con  $2.15 \times 10^9$  UFC/g) pertenece al grupo A y presenta una mayor presencia de pústulas parasitadas, sin embargo, *Cladosporium hemileiae* no fue capaz de controlar la roya, seguido por el grupo B con los tratamientos 2 (cepa Morán con  $2.15 \times 10^9$  UFC/g), tratamiento 4 (cepa Morán con  $1.1 \times 10^9$  UFC/g) y tratamiento 3

(cepa Guardabarranca con  $1.1 \times 10^9$  UFC/g) mientras que en el grupo C se encontró el testigo (sin aplicación).

En los resultados, se observó que los tratamientos evaluados con el hiperparásito, específicamente con las cepas de Guardabarranca y Moran en las diferentes concentraciones establecidas en las fincas Moran y San Sebastián (T1, T2, T3 y T4) no presentaron control sobre *Hemileia vastatrix*, específicamente en la finca Morán ubicada en la localidad de Villa Canales donde se identificó el hiperparásito *Cladosporium hemileiae* basiónimo.

En el primer monitoreo se observó que las medias de las pústulas con el patógeno fueron bajas T1 (12.71), T2 (15.20), T3 (17.71) y T4 (22.45) y fueron aumentando los valores conforme aumentaron los monitoreos de los tratamientos donde se aplicó el inóculo del hiperparásito, mientras el testigo en el primer monitoreo se observó la mayor media (T5, 60.80) y desde el segundo monitoreo habían pústulas sin el parásito.

Los resultados obtenidos están relacionados directamente a los factores climáticos que son importantes para el desarrollo de *Cladosporium hemileiae*, y según Phil (2014) la germinación de los conidios de este hiperparásito se ve afectado principalmente por la cantidad de agua disponible en los días posteriores a la aplicación y la baja humedad relativa.

Las condiciones climáticas para las fincas de estudio no fueron las adecuadas por lo que el desarrollo del hiperparásito durante la investigación, en consecuencia no favoreció la germinación de los conidios y por consiguiente no se evidenció un control de *Hemileia vastatrix*.

La humedad relativa que es esencial en este tipo de evaluaciones fue menor al 80 %, lo que no permitió la germinación de los conidios de *Cladosporium hemileiae* basiónimo sobre *Hemileia vastatrix*. Según Phil (2014) la viabilidad del hongo no

debe ser menor al 95 % y el contenido de humedad debe estar entre 4 % y 6 % para que los conidios puedan germinar.

## 5.2 Efecto de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de Villa Canales

Las observaciones de las condiciones climáticas durante el periodo de evaluación fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala –INSIVUMEH– (2016) en el cuadro 12 se identifican los datos meteorológicos de Villa Canales expresados en medias.

Cuadro 12. Medias diarias de la red automática de datos meteorológicos del INSIVUMEH (2016) en Villa Canales.

Villa Canales								
Aplicación	Fecha	HR [Med] [%]	Lluvia [Acu] [mm]	Temp. Ai [Med] [°C]	P. Rocio [Med] [°C]	Evap. [Inc] [mm]	R. Global1 [Med] [W/m <sup>2</sup> ]	V. Viento [Med] [km/h]
1	4/08/2016	80.30	0.04	20.31	16.72	0.00	131.68	6.83
	11/08/2016	66.18	0.05	23.27	16.03	0.00	250.58	7.58
2	18/08/2016	63.88	0.00	23.04	15.00	0.00	308.70	10.30
	25/08/2016	62.76	0.00	22.74	14.45	0.00	282.01	9.28
3	1/09/2016	75.83	0.00	22.46	17.66	0.00	239.80	5.43
	8/09/2016	54.38	0.00	22.45	12.25	0.00	284.71	10.33

Las aplicaciones de los tratamientos en Villa Canales se realizó bajo las condiciones climáticas de humedad relativa media (HR) en el caso de la primera aplicación fue adecuada con 80.30 % mientras que las otras fueron con valores menores a 75.83 % estuvo por debajo del adecuado, según Borrego (2012) de 80 % a 90 %, mientras que la temperatura media fue la adecuada con valores entre 20.31 °C y 23.27 °C según Borrego (2012) tiene que estar entre 18 °C y 28 °C, estos valores permitieron

identificar que los tratamientos uno, dos, tres, y cuatro sí presentaran germinación del hiperparásito *Cladosporium hemileiae* sobre *Hemileia vastatrix*.

A medida que se procedía con el cronograma de muestreos la presencia del hiperparásito fue disminuyendo por las condiciones climáticas no favorables de la localidad. En el testigo no se observó ningún control sobre la enfermedad.

En condiciones no controladas se pudo evidenciar que *Cladosporium hemileae* es un biocontrolador de *Hemileia vastatrix*. Sin embargo, al evaluar el comportamiento del mismo bajo toda la diversidad de condiciones que se encuentran en la zona de Villa canales y Sacatepéquez no realizó ningún control de la roya del café.

No es de extrañar que se obtengan datos diferentes comparados con los datos de la localidad de San Miguel Dueñas debido a que las condiciones climáticas que en Guatemala desde el fenómeno del “Niño” a partir de 2016 las irregularidades de lluvia han afectado la zona cafetalera del país, especialmente al corredor seco y el altiplano.

### **5.3 Influencia de las condiciones climáticas en la identificación de *Cladosporium hemileiae* en la localidad de San Miguel Dueñas**

Para la localidad de San Miguel Dueñas no se evidencio ningún efecto del hiperparásito debido a que las condiciones climáticas que se presentaron tal como lo indica el cuadro 13 fueron de HR 50.30 %, temperatura media 19.96 °C y radiación solar de 233.49 W/m<sup>2</sup>.

Al estar presentes estas condiciones climáticas no favorecieron el desarrollo del hiperparásito *Cladosporium hemileiae*. Debido a que necesita una temperatura mayor a 25 °C y una humedad relativa entre 80 % y 90 % para que pueda desarrollarse (Phil, 2014).

Las observaciones de las condiciones climáticas durante el periodo de evaluación fueron proporcionadas por el INSIVUMEH y en el cuadro 13 se identifican los datos meteorológicos de San Miguel Dueñas expresados en medias.

Cuadro 13. Medias diarias de la red automática de datos meteorológicos del INSIVUMEH (2016) en San Miguel Dueñas.

San Miguel Dueñas								
Aplicación	Fecha	HR [Med] [%]	Lluvia [Acu] [mm]	Temp. Ai [Med] [°C]	P. Rocio [Med] [°C]	Evap. [Inc] [mm]	R. Globa1 [Med] [W/m <sup>2</sup> ]	V. Viento [Med] [km/h]
1	8/08/2016	50.30	0.01	19.96	-42.65	0.00	233.49	4.38
	15/08/2016	50.10	0.05	19.22	-43.28	-0.08	223.61	4.85
2	22/08/2016	50.10	0.08	19.22	-43.28	-0.60	165.77	3.96
	29/08/2016	50.10	0.15	18.64	-43.67	-0.13	185.12	3.38
3	5/09/2016	50.30	0.06	19.84	-42.68	-0.02	251.60	4.21
	12/09/2016	50.10	0.02	18.57	-43.74	0.00	178.72	3.25

En el cuadro 13 se identificó que en la localidad de San Miguel Dueñas no se observó ninguna pústula parasitada con *Cladosporium hemileae basiónimo*, las aplicaciones de los tratamientos se realizaron bajo las condiciones climáticas de humedad relativa media (HR) menores a 50.30 %, verificando que están por debajo de la ideal según Borrego (2012) de 80 % a 90 %, la temperatura media fue la adecuada con 19.96 °C porque según Borrego (2012) tiene que estar entre 18 °C y 28 °C.

La capacidad de adherencia del *Cladosporium hemileae* basiónimo transportada por agua afecta la permanencia sobre las hojas, por lo tanto sobre las pústulas debido a que se utilizó el emulsificante Tween 80 el cual es un polisorbato (polioxyetileno) surfactante que no posee las cualidades idóneas para adherirse a las pústulas de *Hemileia vastatrix*, por lo que no se observaron datos de este hiperparásito.

Además, otro factor que también debe evaluarse de forma conjunta es la factibilidad de rociar un cultivo esporulado de un hiperparásito de *Cladosporium hemileiae* en los cafetales con algún adherente debido a que se atribuye gran parte a la falta de control biológico es debido a la falta de adherencia del hiperparásito sobre la roya. Al agregar un adherente se podría alcanzar una mayor efectividad al aplicar el inóculo.



## 6. CONCLUSIONES

1. El hiperparásito *Cladosporium hemileiae* basiónimo se identificó únicamente en la localidad de Villa Canales, obteniendo mayores medios de pústulas en el tratamiento 1 (Guardabarranca,  $2.15 \times 10^9$ ) de 0.16, mientras que los tratamientos 2 (Morán  $2.15 \times 10^9$ ) 0.08, y los tratamientos 4 (Morán  $1.10 \times 10^9$ ) y 3 (Guardabarranca,  $1.10 \times 10^9$ ) 0.04, y por último el tratamiento 5 (testigo, sin aplicación) no existió ningún valor.
2. En la localidad de Villa Canales se observó *Cladosporium hemileae* basiónimo en pústulas de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café, porque las condiciones ambientales favorecieron al hiperparásito, en la primera aplicación se identificó humedad relativa de 80.30 % (80 % a 90 %), y temperatura media de 20.31 °C (18 °C a 28 °C).
3. En la localidad de San Miguel Dueñas no se observó *Cladosporium hemileae* basiónimo en pústulas de *Hemileia vastatrix* en el cultivo de café, debido a que la humedad relativa estuvo por debajo de 50.30 (80 % a 90 %), mientras que la temperatura media si fue la adecuada con 19.96 °C (18 °C a 28 °C), por lo que las condiciones ambientales no favorecieron al desarrollo del hiperparásito.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Incrementar el inóculo de *Cladosporium hemileiae* basiónimo al momento de asperjar en el campo en el cultivo de café en la localidad de Villa Canales para aumentar la cantidad del hiperparásito.
2. Realizar aplicaciones de *Cladosporium hemileae* basiónimo únicamente en la localidad de Villa Canales porque es la que cumple con las condiciones adecuadas para el hiperparásito.
3. Evaluar diferentes métodos de aplicación de *Cladosporium hemileiae* basiónimo con diferentes coadyuvantes para beneficiar al hiperparásito en el biocontrol de la roya.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, G. 2005. Plant pathology. USA, University of Florida, Department of Plant Pathology. 903 p.
2. Alvarado-Alvarado, G; Posada-Suárez, HE; Cortina-Guerrero, HA. 2015. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Avances Técnicos CENICAFE no. 337:1-8. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/401/1/avt0337.pdf>
3. Álvarez Valenzuela, GA; Ramírez Barillas, SS; Escobar Sandoval, JM; Noj Suruy, AM. 2015. Bioprospección de hiperparásitos de *Hemileia vastatrix* en reservas naturales voluntarias con café. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. 44 p. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4787/1/INF-2015-07.pdf>
4. Álvarez Valenzuela, GA; Santos Bravo, MdelC; Centes Carrillo, LF. 2015. Extracción y formulación artesanal de *Cladosporium uredinicola* biocontrolador de *Puccinia horaria*. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. Consultado 2 jun. 2016. Disponible en <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puicb/INF-2014-31.pdf>
5. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2011. Que es la roya. Guatemala, ANACAFE. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/12PRIN:Que\\_es\\_la\\_Roya](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/12PRIN:Que_es_la_Roya)
6. \_\_\_\_\_. 2013. Especies y variedades del cafeto. Guatemala, ANACAFE. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura\\_VarietadesCafeto](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_VarietadesCafeto)
7. \_\_\_\_\_. 2016a. El manejo de plagas y enfermedades relacionadas al mal de viñas. Guatemala. Consultado 17 abr. 2016. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Mal\\_de\\_Vinas\\_Manejo\\_Plagas](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Mal_de_Vinas_Manejo_Plagas)
8. \_\_\_\_\_. 2016b. Especies y variedades del cafeto. Consultado 17 abr. 2016. Disponible en [http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura\\_VarietadesCafeto](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_VarietadesCafeto)
9. \_\_\_\_\_. 2016c. Los cafés de Guatemala. Guatemala. Consultado 17 abr. 2016. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BuenCafe\\_CafesdeGuatemala](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BuenCafe_CafesdeGuatemala)

10. \_\_\_\_\_. 2016d. Manejo de plagas. Guatemala. Consultado 17 abr. 2016. Disponible en [http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=CaficulturaOrganica\\_Plagas](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=CaficulturaOrganica_Plagas)
11. \_\_\_\_\_. 2019. Café de Guatemala en cifras: datos de actividad cafetalera nacional 2018-2019. Guatemala. Consultado 24 ago. 2020. Disponible en <https://www.anacafe.org/uploads/file/cd2552c54b3a4616b0e82ae14c7db79a/GuatemalaCafeenCifras-2018-2019.pdf>
12. Arriola, M; Chet, I; Rölz, C. 1998. Hongos que atacan la roya del café: Un breve comentario. Revista Universidad del Valle de Guatemala no. 8:2-6. Disponible en <http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/revista8.pdf>
13. Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguín, F. 1999. La roya anaranjada del cafeto: Mito y realidad. In Bertrand, B; Rapidel, B. (eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, IICA. p. 193-241.
14. Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto. HAL Archives Ouvertes 01071036. Disponible en [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036/file/LA\\_ROYA\\_ANARANJADA\\_DEL\\_CAFETO\\_V1.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036/file/LA_ROYA_ANARANJADA_DEL_CAFETO_V1.pdf)
15. Avellino, J; Savary, S. 2002. Rational and optimized chemical control of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). In CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Francia). Recherche et caféiculture. Montpellier, Francia, Cedex. p. 135-143.
16. BANGUAT (Banco de Guatemala, Guatemala). 2016. Producto interno bruto trimestral (cuarto trimestre de 2015). Guatemala, BANGUAT, Departamento de Estadística Macroeconómicas, Sección de Cuentas Nacionales. 3 p. Disponible en [https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T\\_2016\\_JM.pdf](https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T_2016_JM.pdf)
17. Barbosa, P. 1998. Conservation biological control. USA, Academic Press. 396 p.
18. Bautista Rosa, IS. 2018. Enfermedades del cultivo del café. Componente de República Dominicana del Programa Centroamericano para la Gestión Integrada del Café (PROCADIGA-RD). Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:lf8EVdJB3qMJ:procagicard.com/download/46/modulo-2-taller-de-manejo-de-plagas-y->

agroforesteria/1143/2-2-enfermedades-del-cultivo-del-cafe.pdf+&cd=9&hl=es&ct=clnk&gl=gt

19. Borrego Alonzo, SF. 2012. *Cladosporium*: Género fúngico que deteriora soportes documentales y afecta la salud del hombre. Boletín del Archivo Nacional (Cuba) no. 18-19-20:104-118. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/307577878\\_Cladosporium\\_genero\\_fungico\\_que\\_deteriora\\_soportes\\_documentales\\_y\\_afecta\\_a\\_la\\_salud\\_del\\_hombre](https://www.researchgate.net/publication/307577878_Cladosporium_genero_fungico_que_deteriora_soportes_documentales_y_afecta_a_la_salud_del_hombre)
20. Campos, O. 2015. Manejo integrado de la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk et Br. Guatemala, Asociación Nacional del Café, Boletín Técnico CEDICAFÉ (Centro de Investigación en Café). Disponible en [http://anacafe.org/glifos/images/4/4f/Manejo\\_Integrado\\_de\\_la\\_Roya2.pdf](http://anacafe.org/glifos/images/4/4f/Manejo_Integrado_de_la_Roya2.pdf)
21. Carlton, R; West, JS; Smith, P; Fitt, BDL. 2012. A comparison of GHG emissions from UK field crop production under selected arable systems with reference to disease control. *European Journal of Plant Pathology* 133:333-351.
22. Carvalho, CR; Fernandes, RC; Almeida Carvalho, GM; Evans, C. 2011. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. *PLoS ONE* 6(11):e26387. DOI:10.1371/journal.pone.0026387
23. CESVVER (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz, México). 2015. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). México. Disponible en <http://www.cesvver.org.mx/roya-del-cafe-hemileia-vastatrix/>
24. Chávez García, MP. 2006. Producción de *Trichoderma* sp., y evaluación de su efecto en el cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Tesis Lic. Microbiol. Ind., Agric. y Vet. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8312/tesis286.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. Clifford M, Willson K. C. 2017. Aspectos botánicos del café. London, England. Disponible en [http://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp](http://www.ico.org/es/botanical_c.asp)
26. Cook, RJ; Baker, KF. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul, Minnesota, USA, American Phytopathological Society. 217-223p.
27. Eira, MTS; Da Silval EAA; De Castro, RD; Dussert, S; Walters, V; Derek Bewley, J; Hilhorst, HWM. 2006. Coffee seed physiology. Brazilian

Journal of Plant Physiology 18(1):149-163. Disponible en [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1677-04202006000100011](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202006000100011)

28. Elosegui, O. 2006. Métodos artesanales de producción de bioplaguicidas a partir de hongos entomopatógenos y antagonistas. La Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones de Sanidad de Vegetales. 4-7p.
29. Escobar, M. 2017. Efectos de la sombra de cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en el cultivo del café (*Coffea arabica*) sobre los procesos de esporulación, dispersión a través del agua y deposición de *Hemileia vastatrix*, en Turrialba, Costa Rica. Costa Rica, CATIE. 19-23p.
30. Federación Española del Café, España. 2014. Información estadística sectorial 2013. España. Consultado 16 abr. 2016, Disponible en [http://www.federacioncafe.com/images/documentos/datos\\_sector/cafe\\_cifras/11\\_Estadistica\\_2013.pdf](http://www.federacioncafe.com/images/documentos/datos_sector/cafe_cifras/11_Estadistica_2013.pdf)
31. Fews Net (Famine Early Warning Systems Network, USA). 2016). América Central informe especial: Impacto de la roya de café en el sector cafetalero de América Central. Guatemala, Fews Net, mayo:1-12. Disponible en <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/AMERICA-CENTRAL-Informe-Especial-sector-cafetalero-2016.pdf>
32. Fews Net (Famine Early Warning Systems Network, USA); RUTA (Unidad Regional de Asistencia Técnica, Guatemala); PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura, Costa Rica). 2014. Informe especial Centro América: Ingresos de productores y jornaleros del café se reducirán por segundo año consecutivo. Guatemala, Fews Net, febrero:8 p. Disponible en [https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/FEWS%20NET%20coffee%20rust%20shock%20report%20update\\_2014\\_02\\_es.pdf](https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/FEWS%20NET%20coffee%20rust%20shock%20report%20update_2014_02_es.pdf)
33. Fulton, RH. 1984. Chemical control of coffee leaf rust in Central America. *In*: RH. Fulton (ed.). Coffee rust in the Americas. Symposium Book no. 2. USA, The American Phytopathological Society. p. 75-83.
34. Galileo Rivas, JA. 2014. La roya anaranjada del cafeto. HAL Archives-Ouvertes hal-01071036. Disponible en [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036/file/LA\\_ROYA\\_ANARANJADA\\_DEL\\_CAFETO\\_V1.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036/file/LA_ROYA_ANARANJADA_DEL_CAFETO_V1.pdf)

35. Ghini, R. 2014. Impacto del cambio climático sobre las enfermedades de cultivos. *In* Congreso Argentino de Fitopatología (3., 2014, Argentina). Libro de resúmenes. Argentina, Asociación Argentina de Fitopatología. p. 61-66. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/f320/9faf7dd8cb153eab8b32535feee8b5f7580f.pdf>
36. Haddada, F; Saraiva, RM; Mizubuti, ESG; Romeirob, RS; Maffia, LA. 2013. Antifungal compounds as a mechanism to control *Hemileia vastatrix* by antagonistic bacteria. *Tropical Plant Pathology* 38(5):398-405. Disponible en [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-56762013000500004](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-56762013000500004)
37. ICO (International Coffee Organization, USA). 2016. Historia del café. London, England. Consultado 16 abr. 2016. Disponible en [http://www.ico.org/ES/coffee\\_storyc.asp?section=Qui%E9nes\\_somos](http://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp?section=Qui%E9nes_somos)
38. \_\_\_\_\_. 2017. Aspectos botánicos. London, England. Consultado 20 nov. 2018. Disponible en [http://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp](http://www.ico.org/es/botanical_c.asp)
39. INE (Instituto Nacional de Estadísticas, Guatemala). 2014. Encuesta nacional agropecuaria 2013. Guatemala. 50 p. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/06/03/OX6AAFPjaBJEjjCOiK2jz8YQ8djtLyub.pdf>
40. INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España). 2014. DB Fichas de agentes biológicos. España. 48 p. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/96076/DATABiO.pdf/326f92fb-456a-4b05-acb3-c8f125e56b27>
41. James, TY; Marino, JA; Perfecto, I; Vandermeer, J. 2016. Identification of putative coffee rust mycoparasites via single-molecule DNA sequencing of infected pustules. *Applied Environmental Microbiology* 82(2):631-639. Disponible en <https://aem.asm.org/content/82/2/631>
42. López, E; González Ramírez, BH. 2013. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Centro de Telemática. 248 p. Disponible en <https://docplayer.es/49683224-Diseno-y-analisis-de-experimentos.html>
43. Macias Tronconi, N. 2000. Principales enfermedades del cultivo del cafeto. *In* Instituto Hondureño del Café, Honduras. Manual del café. Honduras. p. 175-192. Disponible en <https://www.ihcafe.hn/?mdocs-file=4247>

44. Mejía, LC. 2009. Microbiomas y Control Biológico como Alternativa de Manejo de la Roya del Café Panamá, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología. 45 diapositivas. Consultado 8 jun. 2017. Disponible en [http://siatma.org/sitios/biblioteca/uploads/Microbioamas\\_y\\_Control\\_Bio%CC%81gico\\_de.pdf](http://siatma.org/sitios/biblioteca/uploads/Microbioamas_y_Control_Bio%CC%81gico_de.pdf)
45. Mejía, L. 2011. Microbiomas y control biológico como alternativa de manejo de la roya amarilla del cafeto. *In* Seminario Científico Internacional: Manejo Agroecológico de la Roya del Café (2011, Panamá). Conferencia. Panamá, FAO. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/285311193\\_Microbiomas\\_y\\_Control\\_Biologico\\_como\\_alternativa\\_de\\_manejo\\_de\\_la\\_Roya\\_Amarilla\\_d\\_el\\_Cafeto](https://www.researchgate.net/publication/285311193_Microbiomas_y_Control_Biologico_como_alternativa_de_manejo_de_la_Roya_Amarilla_d_el_Cafeto)
46. Monroig Inglés, MF. 1999. Manual para una caficultura sostenible en Puerto Rico. Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez, Colegio de Ciencias Agrícolas, Servicio de Extensión Agrícola. Consultado 1 jul. 2017. Disponible en [https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1794/Manual\\_de\\_Caficultura\\_Sostenible.pdf](https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1794/Manual_de_Caficultura_Sostenible.pdf)
47. Monzón, A. 2001. Producción, uso y control de calidad hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* no. 63:95-103. Disponible en <http://www.bionica.info/Biblioteca/Monzon2001HongoEntomopatogenos.pdf>
48. Mora S, N. 2008. Agrocadena de café. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Regional Huertar Norte. Consultado 11 jul. 2019. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9314.pdf>
49. Moreno B, AM. 2004. Sistemas de producción de maíz intercalado con café en la zona cafetera colombiana. *In* Reunión Latinoamericana de Maíz (20., 2004, Lima, Perú). Barrandiarán-Gamarra, M., Chávez-Cabrera, A., Sevilla-Panizo, R. y Narro-León, T. (eds.). Lima, Perú, s.e. p. 515-522.
50. Moreno R, LG. 2002. Tabi: Variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe* no. 300:1-8. Disponible en <https://cenicafe.org/es/publications/avt0300.pdf>
51. Piñeiro, V; Morley, S; Elverdin, P. 2015. Efecto de la roya en las economías centroamericanas. Washington, DC, USA, International Food Policy Research Institute, IFPRI Discussion Paper 1457SP. 52 p. Disponible en



<https://www.ifpri.org/publication/los-efectos-de-la-roya-en-las-econom%C3%ADas-centroamericanas>

52. Rivillas Osorio, CA; Serna Giraldo, CA; Cristancho Ardila, MA; Gaitán Bustamante, AL. 2011. La roya del cafeto en Colombia. Impacto, manejo y costos del control; Resultados de investigación. Boletín Técnico CENICAFE no. 36, 53 p. Disponible en <http://www.cenicafe.org/es/publications/bot036.pdf>
53. SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México); SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, México). 2013. Roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley Broome. México. Disponible en <http://www.cesaveson.com/files/docs/campanas/vigilancia/fichas2016/ROYAcafeto.pdf>.
54. Salazar Yepes, M; Biriticá C, P; Cadena Gómez, G. 2002. Implicaciones de los estudios sobre biodiversidad de los uredinales (royas) en la región cafetera colombiana. *Cenicafé* 53(3):219-238. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053%2803%29219-238.pdf>
55. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2010. Plan de desarrollo Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2011-2025. Guatemala. Consultado 6 abr. 2016. Disponible en <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/biblioteca-documental/category/52-sacatepequez?download=79:pdm-antigua-guatemala>
56. \_\_\_\_\_. 2010b. Plan de desarrollo Villa Canales. Guatemala. Consultado 7 jul. 2017. Disponible en <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/municipio-villa-canales/123-areas/planificacion-territorial/planificacion-del-desarrollo/municipal>
57. Shiomi, HF; Silva, HSA; De Melo, IS; Nunes, FV; Bettiol, W. 2006. Bioprospecting endophytic bacteria for biological control of coffee leaf rust. *Scientia Agricola* 63(1):32-39. Disponible en <https://www.scielo.br/pdf/sa/v63n1/27900.pdf>
58. SINAVEF (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, México). 2013. Ficha técnica roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). México. Disponible en [http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/CAFE/CAFETO\\_archivos/](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/CAFE/CAFETO_archivos/)

Roya\_archivos/Literatura%20Roya/FichaT%C3%A9cnicaRoyadelCafeto.pdf

59. Solórzano, C. 2013. La roya del café sus efectos directos en la pérdida de empleo y emigración. Guatemala, Comisión Pastoral de Movilidad Humana de la Conferencia Episcopal de Guatemala. Boletín no. 2, 24 p. Disponible en <https://www.movilidadhumana.com/wp-content/uploads/2013/09/Boletin-2.-La-Roya-y-sus-efectos-en-el-desempleo-y-emigracion-Gt..pdf>
60. Subero, L. 2005. La roya del cafeto. Costa Rica, Instituto Inteamericano de Cooperación para la Agricultura, Infoagro. Disponible en [https://infoagro.net/sites/default/files/migrated\\_documents/attachment/2/Roya\\_del\\_cafeto.pdf](https://infoagro.net/sites/default/files/migrated_documents/attachment/2/Roya_del_cafeto.pdf)
61. Villarreyña Acuña, RA. 2014. Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya (*Hemileia vastatrix*) en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, El Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 68 p. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/312191085\\_Analisis\\_de\\_las\\_condiciones\\_de\\_manejo\\_que\\_propiciaron\\_el\\_impacto\\_de\\_la\\_roya\\_Hemileia\\_vastatrix\\_en\\_la\\_zona\\_cafetalera\\_de\\_los\\_municipios\\_de\\_Jinotega\\_el\\_Tuma-La\\_Dalia\\_y\\_San\\_Ramon\\_Nicaragua](https://www.researchgate.net/publication/312191085_Analisis_de_las_condiciones_de_manejo_que_propiciaron_el_impacto_de_la_roya_Hemileia_vastatrix_en_la_zona_cafetalera_de_los_municipios_de_Jinotega_el_Tuma-La_Dalia_y_San_Ramon_Nicaragua)
62. Waller, JM. 1985. Control of coffee diseases. *In* Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage. MN. Clifford & KC. Willson (eds.). USA, Springer US. p. 219-229. Disponible en <https://www.springer.com/gp/book/9781461566595>
63. Wilson, F; Huffaker, CB. 1973. Philosophy, scope, and importance of biological control. *In* CB. Huaaker & PS. Messenger (eds.). Teory and practice of biological control. New York, USA, Academic Press. p. 3-15. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123603500500076>





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 01/2020

**LA TESIS TITULADA:**

"EVALUACIÓN DE *Cladosporium hemileiae* basionimo PARA EL BIOCONTROL DE *Hemileia vastatrix* EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN LAS FINCAS MORÁN, VILLA CANALES, GUATEMALA Y SAN SEBASTIÁN, SAN MIGUEL DUEÑAS, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A."

**DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:**

JAIRO DAVID CHALÍ SALAZAR

**CARNE:**

201112107

**HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:** Dr. Amílcar Sánchez  
Dr. Luis Montes

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. José Humberto Calderón  
A S E S O R

Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro  
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A S E

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes  
D E C A N O

CFLB/nm  
c.c. Archivo