

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFICACIA DE CUATRO FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE LA ROYA DEL CAFÉ
(*Hemileia vastatrix*); SANTA CRUZ NARANJO, SANTA ROSA

TESIS DE GRADO

HILMAR ARMANDO BOLAÑOS NAVARRO
CARNET 21782-08

JUTIAPA, JUNIO DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EFICACIA DE CUATRO FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE LA ROYA DEL CAFÉ
(*Hemileia vastatrix*); SANTA CRUZ NARANJO, SANTA ROSA

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

HILMAR ARMANDO BOLAÑOS NAVARRO

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

JUTIAPA, JUNIO DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. SERGIO GEOBANY LIMA SIGUINA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN
MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN

Guatemala 12 de Julio de 2018

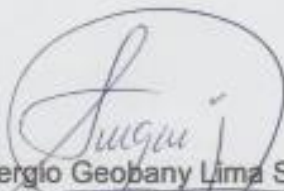
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Hilmar Armando Bolaños Navarro, carné 21782-08, titulada: "Eficacia de cuatro fungicidas químicos para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*); Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. Sergio Geobany Lima Sigüina

Colegiado no. 3270

Cod. URL 22902

Sergio Geobany Lima Sigüina
INGENIERO AGRÓNOMO
Colegiado No. 3270



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

No. 06959-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante HILMAR ARMANDO BOLAÑOS NAVARRO, Carnet 21782-08 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 06100-2018 de fecha 7 de junio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFICACIA DE CUATRO FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE LA ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia vastatrix*); SANTA CRUZ NARANJO, SANTA ROSA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 29 días del mes de junio del año 2018.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS por ser mi fortaleza y bendecirme en todo momento.

Mis Padres, Hermanos, Abuelos, Tíos y Primos por su apoyo incondicional.

Mi esposa por apoyarme y ayudarme a salir adelante.

Mis amigos y compañeros de trabajo por su apoyo.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por ser parte de mi formación.

Mi asesor el Ing. Agr. Sergio Lima por apoyarme en todo momento.

Los Ingenieros Rolando Paredes, Roni Carrillo, Julio García, Víctor Ventura, Jhonnattan Gándara, Luis Peñate y Luis Calderón por su asesoría, revisión, corrección y transmisión de conocimientos.

Los Señores Otto Quevedo y Fernando Bolaños por el apoyo para la ejecución de la investigación en campo.

DEDICATORIA

A:

Dios	Por ser mi fortaleza y ayudarme a alcanzar mis metas.
Mis Padres	Hilmar Saúl Bolaños Escalante y Ana Karla Paola Navarro de la Vega de Bolaños por darme la vida, apoyarme, guiarme y educarme a lo largo de mi vida.
Mis Hermanos	María Alma Cristina Bolaños Navarro y Carlos Saúl Bolaños Navarro por alentarme a seguir adelante.
Mi Esposa e Hijo	Por apoyarme y ser uno de mis motivos de superación.
Mi Familia	Abuelos, Tíos y Primos por su apoyo incondicional y por influir en mi formación.
Mis amigos	Por su apoyo y buenos momentos compartidos.
Mis Catedráticos	Por sus enseñanzas, apoyo y consejos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO.....	2
2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA	2
2.2.1 Exportaciones por destino.....	3
2.2.2 Ingreso de divisas	3
2.3 TAXONOMÍA DEL CULTIVO	4
2.4. VARIEDAD DE ESTUDIO.....	4
2.5 ROYA DEL CAFÉ	5
2.5.1 Descripción taxonómica	6
2.5.2 Síntomas	6
2.5.3 El patógeno	6
2.5.4 Epidemiología	7
2.5.4.1 Condiciones óptimas para el progreso de la enfermedad	7
2.5.4.2 Ciclo de la Roya	8
2.5.4.3 Etiología	9
2.5.4.4 Comportamiento de <i>Hemileia vastatrix</i>	9
2.5.5 Componentes químicos que se evaluaron	10
2.5.5.1 Ciproconazole.....	10
2.5.5.2 Azoxystrobin	11
2.5.5.3 Epoxyconazole + Carbendazim	11
2.5.5.4 Flutolanil	12
3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 GENERAL	14

4.2 ESPECÍFICOS	14
5. HIPÓTESIS.....	15
5.1 HIPÓTESIS ALTERNA	15
6. METODOLOGÍA	16
6.1 LOCALIZACIÓN.....	16
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL	16
6.3 FACTORES A ESTUDIAR	17
6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS	17
6.5. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	18
6.6 MODELO ESTADÍSTICO.....	18
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	19
6.7.1 Parcela bruta.....	19
6.7.2 Parcela neta	19
6.8 CROQUIS.....	19
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	20
6.10 VARIABLES RESPUESTA	21
6.10.1 Severidad	21
6.10.2 Porcentaje de incidencia	22
6.10.3 Tasa aparente de infección ajustada a un modelo	23
6.10.4 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad	23
6.10.5 Porcentaje de eficacia de cada tratamiento	24
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	24
6.11.1 Análisis estadístico	24
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
7.1 SEVERIDAD.....	25
7.1.1 Severidad en hoja por lectura	25
7.1.2 Severidad promedio por hoja.....	26
7.2 INCIDENCIA.....	28

7.2.1 Incidencia por lectura.....	28
7.2.2 Incidencia promedio por hoja	29
7.3 ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS EPIDEMIAS.....	30
8. CONCLUSIONES.....	32
9. BIBLIOGRAFÍA.....	33
10. ANEXOS	<u>39</u>

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo del café	4
Cuadro 2. Taxonomía de la roya del café.....	6
Cuadro 3. Tratamientos a evaluar para el control de roya del café	17
Cuadro 4. Fecha de lecturas y aplicaciones de la investigación.....	18
Cuadro 5. Escala de evaluación de <i>Hemileia vastatrix</i> en hojas de café.....	21
Cuadro 6. Resumen de resultados de severidad de <i>Hemileia vastatrix</i> en hojas por lectura.....	25
Cuadro 7. Análisis de varianza para el promedio de severidad por hoja en las siete lecturas.....	26
Cuadro 8. Análisis de pruebas múltiples de medias de tukey.....	27
Cuadro 9. Incidencia de <i>Hemileia vastatrix</i> en hojas de café registrado durante los noventa días de investigación	28
Cuadro 10. Resultados de Severidad/Hoja, ABCPE, Tasa de Infección y Eficacia de los tratamientos promedio de las siete lecturas	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exportaciones por destino de la cosecha 2015-2016.....	3
Figura 2. Ingreso de divisas, cosecha 2014-2015	3
Figura 3. Variedad de café, Catuaí.....	5
Figura 4. Ciclo de la roya del café	8
Figura 5. Curvas de desarrollo de la roya a 2,600 y 3,000 pies de altitud y su interacción con la lluvia.....	10
Figura 6. Escala de evaluación de <i>Hemileia vastatrix</i> en hojas de café	22
Figura 7. Aplicación de los fungicidas con bomba manual de mochila y equipo de protección personal	26
Figura 8. Porcentaje de incidencia en hojas promedio de las siete lecturas	29
Figura 9. Presencia de la enfermedad en la plantación.....	39
Figura 10. Curva de daño en relación a fenología.....	39
Figura 11. Aspectos biológicos de implementación epidémica.....	40
Figura 12. Comportamiento típico de la roya del cafeto durante el año	40

EFICACIA DE CUATRO FUNGICIDAS QUÍMICOS PARA EL CONTROL DE LA ROYA DEL CAFE (*Hemileia vastatrix*); SANTA CRUZ NARANJO, SANTA ROSA

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el sector El Guayabito, Aldea el Naranjo, Municipio de Santa Cruz Naranjo, del Departamento de Santa Rosa, cuyo objetivo fue evaluar la eficacia de cuatro fungicidas químicos para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), en comparación con un testigo absoluto sin aplicación de fungicida. Los fungicidas evaluados fueron Ciproconazole a una dosis de 364 cc/ha, Azoxystrobin con una dosis de 250 g/ha, Epoxyconazole + Carbendazim a una dosis de 536 cc/ha y el Flutolanil a una dosis de 714 g/ha. La metodología consistió en un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Las variables a evaluar fueron, severidad, porcentaje de incidencia, tasa aparente de infección, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y porcentaje de eficacia de cada tratamiento. Con base en las 7 lecturas realizadas durante los 90 días de la investigación, al hacer el análisis de resultados, se concluyó que si existe una diferencia estadística en cuanto a aplicar fungicidas y no hacerlo, donde el Flutolanil presento resultados de control sobre la enfermedad, en comparación al Ciproconazole, Azoxystrobin y Epoxyconazole + Carbendazim que son productos que se utilizan actualmente, por lo que el Flutolanil podría ser una alternativa de rotación en programas de control de la roya.

1. INTRODUCCIÓN

De las especies de café cultivadas comercialmente, las variedades tradicionales de *Arábica* son Típica y Borbón, y las variedades que se derivan de ellas por cruzamientos espontáneos o dirigidos, y mutaciones naturales: Caturra, Mundo Novo, Catuaí, Pache, Villa Sarchí, Pacas, Maragogipe, etc., lo que explica la estrecha base genética de todas ellas, las cuales no tienen en su genética resistencia a enfermedades y plagas, (ANACAFÉ, 2013).

Dicho cultivo por ser intensivo y en muchas regiones se ha trabajado como monocultivo ha provocado que el ataque de plagas y enfermedades cada día se vuelva más importante y resistente a diversos controles en el proceso de producción. Una de las enfermedades más importantes del cultivo de café es *Hemileia vastatrix*, presente en Guatemala desde 1980, que afecta hojas maduras principalmente, según el grado de severidad puede provocar una intensa caída de hojas y pérdidas en la producción, (El Cafetal, 2012).

En Guatemala en 2012-13 la roya se difundió fuertemente en el suroriente, en 2014 se observó un segundo año de impacto en la zona. Las pérdidas totales en quintales oro y empleos en ambos ciclos fueron grandes, y tomando en cuenta que las condiciones climáticas de estos períodos son similares a las proyectadas en escenarios del cambio climático, podría ser un indicio a lo esperado en el futuro con el comportamiento de la roya, (Anzueto, 2015).

Por tal razón es necesario investigar más sobre el uso de moléculas distintas a las utilizadas actualmente, que sirvan como alternativas en programas de control de la roya. En consecuencia, se evaluaron tres fungicidas utilizados actualmente, que son Ciproconazole, Azoxystrobin y Epoxiconazol + Carbendazim, en comparación con el Flutolanil que tiene antecedentes de especificidad a *Basidiomycetes*, pero que no se utiliza en el control de la roya actualmente, por lo que los resultados servirían para ampliar sus recomendaciones de uso en cuanto al control de la enfermedad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO

La producción de café crea empleo y es una importante fuente monetaria en las zonas rurales. Aparte de esta repercusión directa en los medios de subsistencia de las familias campesinas, el cultivo de café ofrece muchas otras ventajas, ayuda a reducir la erosión del suelo, al cambio climático, es útil sumidero de carbono (en especial las plantaciones que están a la sombra de árboles), contribuye a una buena gestión de las cuencas hidrográficas, ayuda a mantener un grado de biodiversidad, en particular en los sistemas agrícolas mixtos de las pequeñas fincas familiares, y puede ofrecer un buen hábitat a muchas aves migratorias y otros animales, (Amaya, 2009).

En Guatemala se cultivan cerca de 276,000 ha de café, que constituyen al 2.5% del área total del país, generadas y establecidas por 90,000 productores, que generan 500,000 empleos y 1,136 millones en ingreso de divisas (Aguirre, 2011).

2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA

El monto total de las exportaciones del Comercio General para el año 2016 se situó en US\$10,465.3 millones, menor en US\$209.5 millones (-2.0%) al registrado en el año 2015 (US\$10,674.8 millones). Los productos agrícolas más importantes según su participación en el total de exportaciones, fueron: Azúcar con US\$817.1 millones (7.8%); Banano con US\$700.4 millones (6.7%) y Café con US\$649.1 millones (6.2%). Productos que representaron el 20.7% del total exportado, (Banco de Guatemala, BANGUAT, 2016).

2.2.1 Exportaciones por destino

Según las exportaciones de la cosecha 2015-2016, los mercados más importantes son:

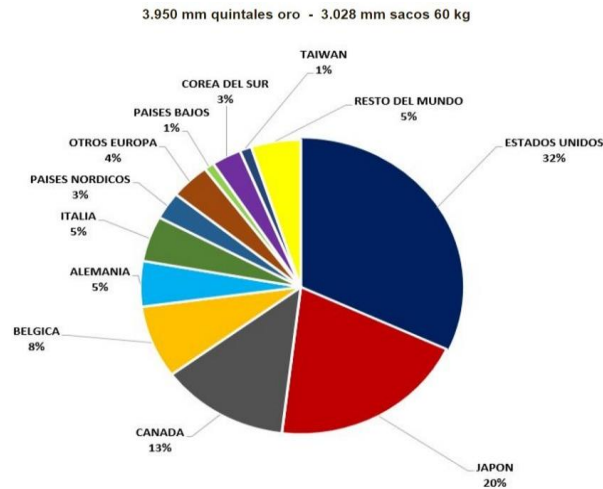


Figura 1. Exportaciones por destino de la cosecha 2015-2016, (ANACAFE, 2016).

2.2.2 Ingreso de divisas

El café es uno de los productos agrícolas más importantes en la generación de divisas del país, que a través de la historia a tenido un flujo bastante dinámico en la generación de las mismas, las cuales se presentan a continuación:

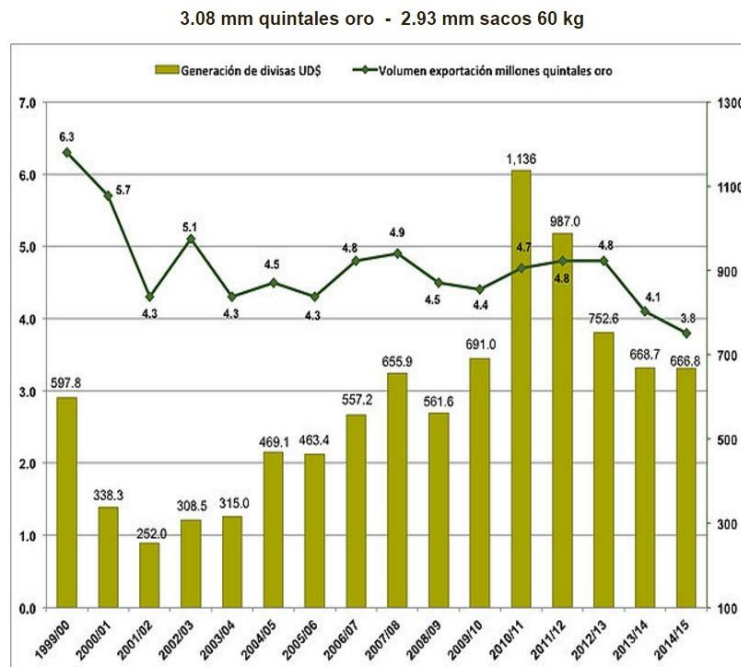


Figura 2. Ingreso de divisas, cosecha 2014-2015, (ANACAFE, 2015).

2.3 TAXONOMÍA DEL CULTIVO

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo del café.

CATEGORÍAS TAXONÓMICAS	DEFINICIÓN POR CATEGORÍA
REINO	VEGETAL
DIVISIÓN	TRACHEOPHYTA
SUBDIVISIÓN	SPERMATOPHYTINA
CLASE	MAGNOLIOPSIDA
SUPERORDEN	ASTERANAE
ORDEN	GENTIANALES
FAMILIA	RUBIACEAE
GENERO	<i>Coffea</i>
ESPECIE	<i>Arabica l</i>

(ITIS 2011).

2.4 VARIEDAD DE ESTUDIO

Catuaí, resultado del cruzamiento artificial de las variedades Mundo Novo y Caturra, realizado en Brasil. Las selecciones de las primeras 4 generaciones dieron líneas con fruto rojo y amarillo. Las primeras introducciones de Catuaí al país se realizaron alrededor de 1970, (Anacafé, 2011).

El Catuaí es una variedad de porte bajo, pero más alta que Caturra, las ramas laterales forman un ángulo cerrado con el tallo principal, entrenudos cortos. Las hojas nuevas o brotes son de color verde, las hojas adultas tienen una forma redondeada y son brillantes. Es una variedad vigorosa, que desarrolla mucho crecimiento lateral con “palmillas”. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, lo que es una ventaja para las zonas donde la maduración coincide con períodos de lluvias intensas, (Anacafé, 2011).

El interés motivado, inicialmente, por esta variedad generó una fuerte comercialización de semilla, sin mucho control en los lotes de producción, propiciando que los cafetos de varias plantaciones no muestren el fenotipo o aspecto físico correspondiente. La variedad se adapta muy bien en rangos de altitud de 2,000 a 4,500 pies, en la boca costa; de 3,500 a 5,500 pies, en la zona central, oriental y norte del país. Es una

variedad de alta producción que requiere un buen programa de manejo, (Anacafé, 2011).



Figura 3. Variedad de café, Catuai.

2.5 ROYA DEL CAFÉ

Indudablemente, que es una de las enfermedades más destructivas del café, la cual daña a los árboles y disminuye su producción al ocasionar la caída prematura de sus hojas infectadas (Agrios, 2008). Sea como fuere, la roya es una amenaza latente dentro de nuestros cafetales, y hablar de su erradicación es verdaderamente una utopía, al grado que ya nos acostumbramos a coexistir con ella mediante su control preventivo y curativo a base de una tecnología aplicada al cultivo del cafeto la cual nos permite vivir con el enemigo en casa (Sánchez, 1998).

2.5.1 Descripción taxonómica

Cuadro 2. Taxonomía de la roya del café.

CATEGORÍAS TAXONÓMICAS	DEFINICIÓN POR CATEGORIA
REINO	FUNGI
PHYLUM	BASIDIOMYCOTA
SUBPHYLUM	PUCCIONIOMYCOTINA
CLASE	PUCCINIOMYCETES
ORDEN	PUCCINIALES
GÉNERO	<i>Hemileia</i>
ESPECIE	<i>H. vastatrix</i>

(SAGARPA y SENASICA, 2016).

2.5.2 Síntomas

La enfermedad se manifiesta principalmente en las hojas, en un inicio como pequeñas manchas amarillas de aproximadamente 2 mm de diámetro en la cara inferior (envés) de la hoja. Esas manchas aumentan gradualmente mostrándose circulares, de diámetro aproximado de 1 cm, lisas, de color amarillo transparente en la cara superior (haz), mientras que en el envés se observa una masa polvosa saliente sobre la superficie de la hoja, de color anaranjado, correspondiente a la lesión característica de la enfermedad, constituida por numerosas esporas (uredosporas) del hongo. Puede existir enlace entre varias manchas, llegando a cubrir gran parte del área foliar. En caso de severidad la enfermedad provoca defoliación y reducción del área activa fotosintética, llegando a ocasionar una reducción progresiva de la producción (Guerra, 2004).

2.5.3 El patógeno

La roya se reproduce por medio de esporas, que para el caso de los hongos como *Hemileia*, reciben el nombre de uredosporas, cuyo color es amarillo o anaranjado. En Brasil reportan hasta 150 millones de uredosporas por pústula de roya (Sánchez, 1998).

La máxima germinación de las uredosporas, se consigue con alta humedad en forma de rocío o lluvia, de 23 a 25 grados centígrados en 8 a 12 horas. La luz intensa afecta la germinación de las uredosporas, lo que indica que la misma se efectúa durante la

noche y en plantaciones bajo sombra abundante, durante el día y la noche (Sánchez, 1998).

El proceso de infección se lleva a cabo generalmente por los estomas del envés de las hojas y nunca por la lámina o parte superior de éstas. Para que ocurra la infección, primero debe haber penetración de las ramificaciones o hifas de las uredosporas germinadas a través de los estomas (Sánchez, 1998).

Los estomas solamente se abren por la noche o bien en plantaciones muy sombreadas y durante el día; por lo que existe una íntima relación entre la penetración estomal y la regulación de la sombra. Aunque la germinación de la uredosporas ocurra sobre la lámina de las hojas, nunca se produce por este lado la penetración de las hifas. Estas recorren la totalidad de la superficie foliar, hasta bordearla y posesionarse dentro de los estomas del envés (Sánchez, 1998).

La incubación, o sea el tiempo necesario para que se produzcan nuevas uredosporas, varía según las condiciones ambientales. Se reportan incubaciones de 15 hasta 35 días. En Guatemala, el período de incubación teórico promedio, en base a condiciones climáticas desde 24.24° a 34.58° centígrados de temperatura, y altitudes de 345 a 1,440 metros, (1,132 a 4,723 pies) sobre el nivel del mar, comprendidas en ocho localidades del sur-occidente, fluctúa entre 20 a 34 días (Sánchez, 1984).

2.5.4 Epidemiología

Según Delgado (2012), el inóculo primario aparece con las primeras lluvias y es el que a quedado en las hojas de la cosecha anterior y el secundario es el inicio del ciclo nuevo de la enfermedad.

2.5.4.1 Condiciones óptimas para el progreso de la enfermedad

- a) Las uredosporas de *Hemileia vastatrix* requiere agua para su germinación.
- b) T° óptimas de 21 a 25° C, con un máximo de 28°C y un mínimo de 15°.
- c) La germinación es inhibida por alta insolación.

- d) Las noches húmedas proporciona la mayor infección.
 - e) El haustorio que causa la primera infección es producido dentro de las 10 horas de la germinación de la espora.
 - f) La infección se inicia a través de los estomas.
 - g) El desarrollo de la enfermedad es rápido, si las condiciones de temperatura y humedad son las adecuadas y están caracterizados por un índice típicamente policíclico o logarítmico.
- (Delgado, 2012).

2.5.4.2 Ciclo de la Roya

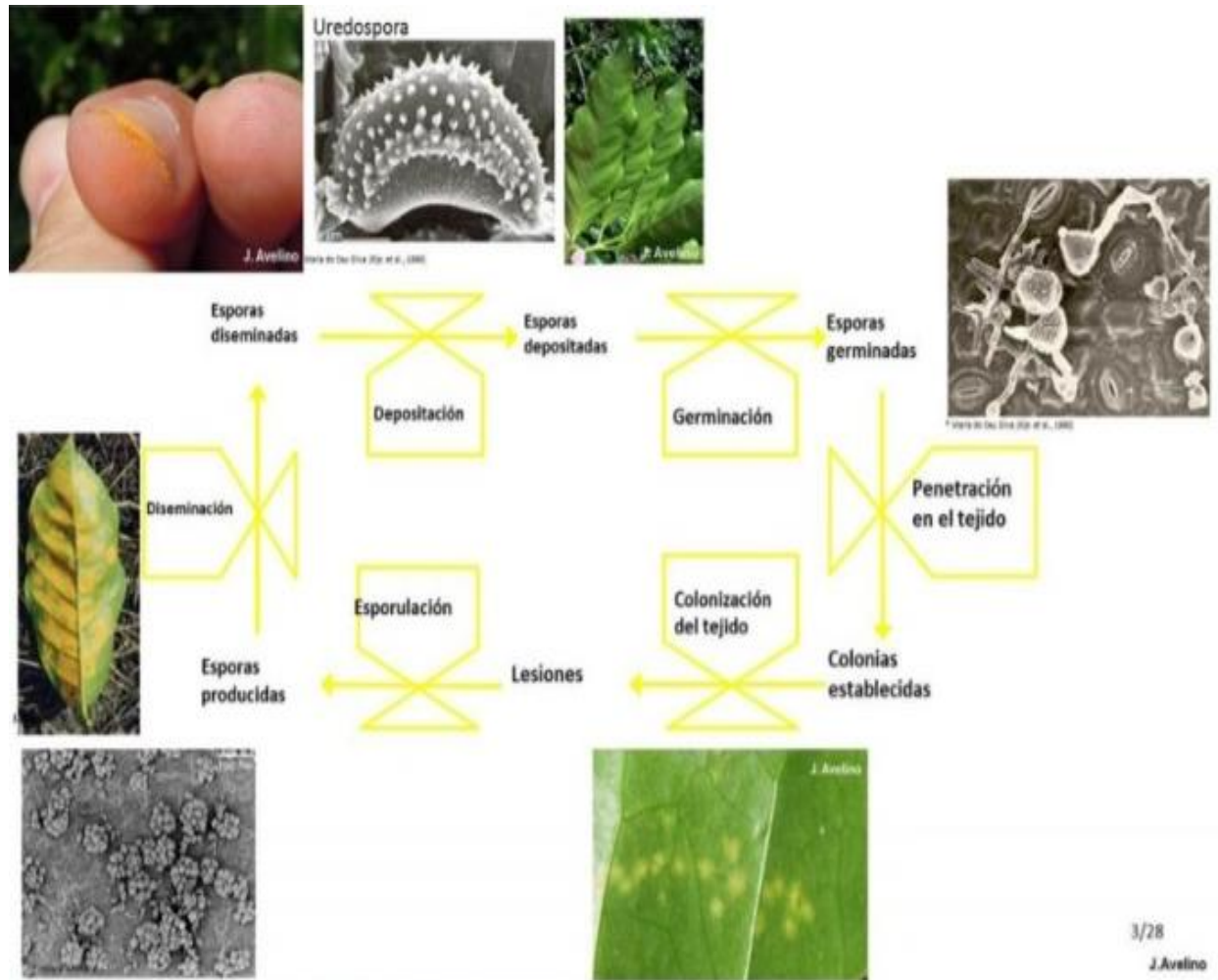


Figura 4. Ciclo de la roya del café, (Avelino, 2013).

2.5.4.3 Etiología

La Roya del cafeto, enfermedad causada por el patógeno *Hemileia vastatrix*, es un hongo que pertenece a la familia *Puccineaceae*, orden *Uredinales*, clase *Basidiomycetes*. Todos los hongos pertenecientes a este orden, son parásitos obligados, desarrollados únicamente en tejido vivo de su planta hospedera, en este caso las hojas del cafeto, (CICAFÉ, 2013).

Cada mancha o lesión, puede consistir aproximadamente de 150 mil esporas considerándose por ello como excelente fuente de inóculo. Condiciones excelentes de humedad, temperatura, precipitación y susceptibilidad de la planta, son factores importantes para el desarrollo de una epidemia de la enfermedad (Guerra, 2004).

2.5.4.4 Comportamiento de *Hemileia vastatrix*

Entre los factores más importantes para el desarrollo de la enfermedad están: variaciones de temperatura, mojado foliar, altitud, variedades de café, alta carga fructífera, edad de la planta, época de cosecha, nutrición desequilibrada, fertilización deficiente y esporas del ciclo anterior, entre otros (El Cafetal, 2011).

Con algunas variaciones se observa una fase de desarrollo lento de la roya del cafeto de mayo a agosto; luego, la enfermedad se incrementa de forma rápida a partir de agosto o septiembre. La curva de la enfermedad alcanza su máximo potencial en el período de diciembre a febrero del siguiente año, (El Cafetal, 2011).

En general, el mayor incremento de la enfermedad se observa durante los meses de maduración del grano y en la época de cosecha. Durante marzo y abril del siguiente año hay un descenso de la enfermedad por condiciones de clima adversas al hongo, caída de hojas durante la cosecha, por los vientos de la estación seca o daño por la enfermedad (El Cafetal, 2011).

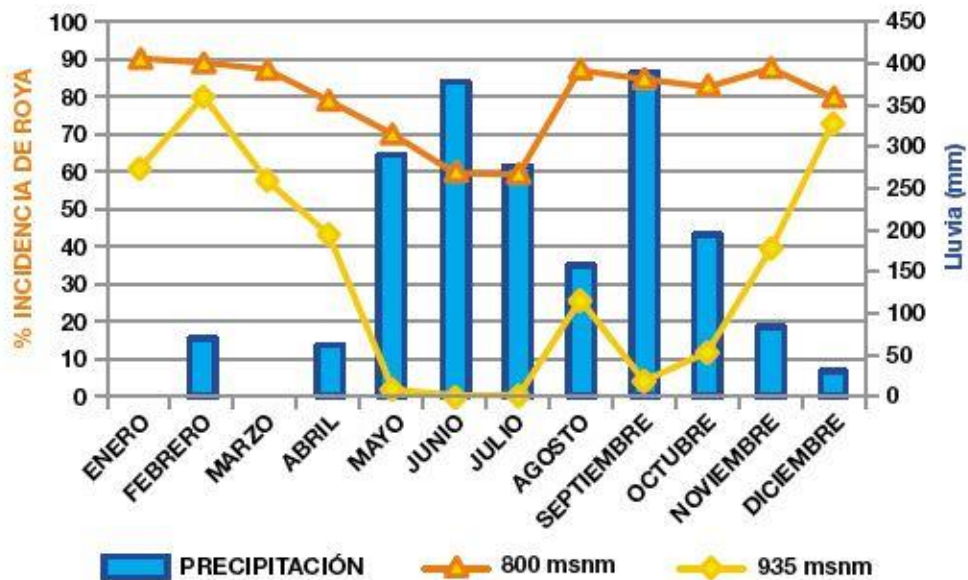


Figura 5. Curvas de desarrollo de la roya a 2,600 y 3,000 pies de altitud y su interacción con la lluvia (ANACAFE, 2011).

2.5.5 Componentes químicos que se evaluaron

2.5.5.1 Ciproconazole

- a) Nombre Comercial: Alto 10 SL.
- b) Concentración: 10%.
- c) Formulación: "SL" Concentrado Soluble.
- d) Grupo Químico: Triazole.
- e) Dosis Comercial: 364 cc/ha.
- f) Modo de Acción: Sistémico, preventivo, curativo y erradicante.
- g) Mecanismo de Acción: Inhibidor de la biosíntesis del ergosterol.
- h) Patógenos para los que se recomienda: En café: *Cercospora Oryzae*, *Corticium koleroga*, *Corticium salmonicolor*, *Hemileia vastatrix* y *Mycena citricolor*.
- i) Categoría Toxicológica: Franja Verde.
- j) Empresa de Distribución en Guatemala: Syngenta.

2.5.5.2 Azoxystrobin

- a) Nombre Comercial: Amistar 50 WG.
- b) Concentración: 50%.
- c) Formulación: “WG” Gránulos Dispersables en Agua.
- d) Grupo Químico: Metoxiacrilato.
- e) Dosis Comercial: 250 g/ha.
- f) Modo de Acción: Sistémico, protectante, erradicante y antiesporulante.
- g) Mecanismo de Acción: Inhibidor de la respiración mitocondrial, bloqueando la transferencia de electrones entre citocromo b y citocromo c1, evitando así la formación de ATP.
- h) Patógenos para los que se recomienda: En café: *Colletotrichum coffeanum*, *Mycena citricolor* y *Cercospora coffeicola*.
- i) Categoría Toxicológica: Franja Verde.
- j) Empresa de Distribución en Guatemala: Syngenta.

2.5.5.3 Epoxiconazole + Carbendazim

- a) Nombre Comercial: Duett 50 SC.
- b) Concentración: 25%.
- c) Formulación: “SC” Suspensión Concentrada.
- d) Grupo Químico: Triazole + Benzimidazol.
- e) Dosis Comercial: 536 cc/ha.
- f) Modo de Acción: Preventivo, curativo y erradicante.
- g) Mecanismo de Acción: Inhibe la síntesis de ergosterol.
- h) Patógenos para los que se recomienda: Hongos *Basidiomycetes*.
- i) Categoría Toxicológica: Franja Azul.
- j) Empresa de Distribución en Guatemala: BASF.

2.5.5.4 Flutolanil

- a) Nombre Comercial: Moncut 50 WP.
- b) Concentración: 50%.
- c) Formulación: "WP" Polvo Mojable.
- d) Grupo Químico: Benzanilida.
- e) Dosis Comercial: 714 g/ha.
- f) Modo de Acción: Fungicida sistémico, que previene el crecimiento del hongo como su penetración en la planta.
- g) Mecanismo de Acción: Es inhibidor del complejo succión deshidrogenasa.
- h) Patógenos para los que se recomienda: *Rhizoctonia solani*, hongo *basidiomiceto*.
- i) Categoría Toxicológica: Franja Verde.
- j) Empresa de Distribución en Guatemala: PROMOAGRO S.A.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La roya del café, *Hemileia vastatrix* es una de las principales enfermedades del café, es un hongo Basidiomycete; que desde el 2010 afecta cada vez más a la producción de café y la variación reciente del clima es un factor principal (Anzueto, 2015).

En Guatemala, en 2010 se empezaron a observar infecciones de roya en diversas zonas de mayor altitud, en 2012-13 la roya se difundió fuertemente en el suroriente, nororiente, norte, central, el quiché y costa sur; en 2014 se observa un segundo año de impacto en la zona suroriente y nororiente, esta vez afectando también al departamento de Huehuetenango. Las pérdidas totales de ambos ciclos se estiman en 800,000 quintales oro y cerca de 100,000 empleos. Las condiciones climáticas de estos períodos serían similares a las condiciones proyectadas en algunos escenarios del cambio climático, lo que podría ser un indicio de lo esperado en el futuro con el comportamiento de la roya y otras enfermedades y plagas del café. (Anzueto, 2015).

Existe entonces una situación de alta prevalencia de inóculo y condiciones climáticas favorables para un nuevo ciclo epidémico de la roya del café, por lo que la presente investigación surge ante la necesidad de disponer de nuevas alternativas eficaces para el control de la roya, tal es el caso del ingrediente flutolanil, que tiene antecedentes de especificidad en Basidiomycetes y su mecanismo de acción permite incorporarlo en rotaciones, que técnicamente son ideales con triazoles y estrobilurinas. Lo cual genera nuevas opciones para el control de la enfermedad, que sirvan para realizar acciones de corto, mediano y largo plazo, que además de combatir la roya, contribuyan a atender y dar soluciones a los caficultores vulnerables de la zona.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar la eficacia de cuatro fungicidas químicos para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

4.2 ESPECÍFICOS

Cuantificar el daño de roya de café para cada tratamiento.

Comparar la velocidad e intensidad de infección de roya del café para cada tratamiento.

Perfilar el flutolanil como alternativa para el control de roya del café.

5. HIPÓTESIS

5.1 HIPÓTESIS ALTERNA

Ha: Al menos uno de los cuatro tratamientos químicos a evaluar tendrá una mayor eficacia de control sobre la roya del café.

6. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo de investigación se realizó en el sector El Guayabito, Aldea El Naranjo, Municipio de Santa Cruz Naranjo, del Departamento de Santa Rosa. El cual se localiza en la Latitud Norte 14° 20' 16.74" y Longitud Oeste 90° 21' 34.24", a una altura de 1385 metros sobre el nivel del mar, por lo que su clima es generalmente templado. La distancia de este municipio a la Ciudad Capital es de 64 kilómetros.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

En el trabajo de investigación se evaluará el efecto de cuatro fungicidas químicos sobre el control de la roya del café.

Ciproconazole 10%:

- a) Grupo Químico: Triazole.
- b) Modo de Acción: Sistémico, preventivo, curativo y erradicante.
- c) Mecanismo de Acción: Inhibidor de la biosíntesis del ergosterol.

Azoxystrobin 50%:

- a) Grupo Químico: Metoxiacrilato.
- b) Modo de Acción: Sistémico, protectante, erradicante y antiesporulante.
- c) Mecanismo de Acción: Inhibidor de la respiración mitocondrial, bloqueando la transferencia de electrones entre citocromo b y citocromo c1, evitando así la formación de ATP.

Epoxiconazole + Carbendazim 25%:

- a) Grupo Químico: Triazole + Benzimidazol.
- b) Modo de Acción: Preventivo, curativo y erradicante.
- c) Mecanismo de Acción: Inhibe la síntesis de ergosterol.

Flutolanil 50%:

- a) Grupo Químico: Benzanilida.
- b) Modo de Acción: Fungicida sistémico, que previene el crecimiento del hongo como su penetración en la planta.
- c) Mecanismo de Acción: Es inhibidor del complejo succión deshidrogenasa.

La plantación de *Coffea arabica L.* de la variedad catuaí, donde se realizó la investigación posee las siguientes características:

- a) Obtenida mediante el cruce de Mundo Novo por Caturra.
- b) Porte Medio (2.25 mts).
- c) Entrenudos cortos.
- d) Resistente al viento.
- e) Excelente productor.

6.3 FACTORES A ESTUDIAR

El factor a estudiar fue el fungicida para el control de la roya del café, principalmente el flutolanil que no se utiliza actualmente, pero posee antecedentes de especificidad a basidiomycetes.

6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Los cuatro tratamientos químicos evaluados y el testigo absoluto se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Tratamientos a evaluar para el control de roya de café.

Tratamiento	Ingrediente Activo	Modo de Acción	Dosis	Nombre Comercial
1	Ciproconazole	Sistémico	364 cc/ha	Alto 10SL
2	Azoxystrobin	Sistémico	250 g/ha	Amistar 50WG
3	Epoxiconazole + Carbendazim	Sistémico	536 cc/ha	Duett 25SC
4	Flutolanil	Sistémico	714 g/ha	Moncut 50WP
5	Testigo absoluto	Sin aplicación de fungicida		

El origen de las dosis evaluadas surge de las recomendaciones de Anacafé en sus programas de combate contra la roya.

Se realizaron tres aplicaciones con intervalos de 30 días entre cada una. La primera a partir del 1 de abril.

Cuadro 4. Fecha de lecturas y aplicaciones de la investigación.

Procedimiento	Descripción	Fecha
1	Lectura	31/03/2014
2	Aplicación	01/04/2014
3	Lectura	15/04/2014
4	Lectura	30/04/2014
5	Aplicación	01/05/2014
6	Lectura	15/05/2014
7	Lectura	30/05/2014
8	Aplicación	31/05/2014
9	Lectura	14/06/2014
10	Lectura	29/06/2014

6.5 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para esta investigación se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, teniendo veinticinco unidades experimentales en función de que existe una gradiente de variabilidad que es la pendiente del terreno (Sitún, 2005).

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la ij -ésima unidad experimental

U = Efecto de la media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j- ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij- ésima unidad experimental

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

6.7.1 Parcela bruta

La parcela bruta se refiere a la densidad de plantas que hay en el área total de la unidad experimental, cuyo tamaño es de 15 m de largo x 13 m de ancho = 195 m². El distanciamiento de siembra de la plantación es de 1.20 m entre planta x 1.70 entre surco, quedando una densidad de 84 plantas.

6.7.2 Parcela neta

La parcela neta se refiere a la densidad de plantas que hay en el área donde se realizara el muestreo, cuyo tamaño es de 12 m de largo x 8.5 m de ancho = 102 m²; quedando con 5 surcos de 10 plantas cada uno, haciendo un total de 50 plantas.

6.8 CROQUIS

T4 501	T3 502	T1 503	T5 504	T2 505
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

T3 405	T2 404	T5 403	T4 402	T1 401
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

T5 301	T3 302	T4 303	T1 304	T2 305
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

T1 205	T4 204	T2 203	T3 202	T5 201
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

T2 101	T5 102	T1 103	T4 104	T3 105
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Nota: La orientación de la pendiente en base al croquis fue de Norte a Sur.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Marcado de Parcelas: Se realizó una semana antes de iniciar con las lecturas, marcándolas con cal alrededor de cada una.

Marcado de Plantas: Se realizó una semana antes de iniciar con las lecturas, primero se marcaron las 35 plantas seleccionadas para determinar la severidad por planta con un nylon de color por cada tratamiento y luego se marcaron las 5 plantas que se seleccionaron para realizar las lecturas de severidad e incidencia por hoja con otro distintivo.

Marcado de Ramas: Se realizó una semana antes de iniciar con las lecturas, de las 5 plantas seleccionadas para realizar las lecturas de severidad e incidencia por hoja, se seleccionaron seis ramas, dos de la parte baja, dos de la parte media y dos de la parte alta, colocándoles un distintivo para identificarlas a la hora de realizar las lecturas.

Aplicación de Fungicidas: Se utilizó una bomba manual de 16 litros, un nylon de cortina en las aplicaciones y el equipo de protección personal para el aplicador seleccionado de los trabajadores de la finca.

Desmalezado: Se realizó un control cultural de malezas, dos limpias.

Manejo Fitosanitario: En la zona donde se realizó la investigación la prioridad es controlar la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

Fertilización: Se realizó en base al manejo tradicional.

6.10 VARIABLES RESPUESTA

6.10.1 Severidad

Se tomaron lecturas de cinco plantas seleccionadas en la parcela, de las cuales se tomaron 6 bandolas, divididas en 2 bandolas de la parte baja, 2 de la parte media y 2 de la parte alta; tomando todas las hojas por bandola.

Se realizaron siete lecturas con intervalos de 15 días entre cada una. La primera a partir del 31 de marzo.

Para las evaluaciones en hojas se utilizaron las escalas descritas en el cuadro 4 y la figura 6.

Cuadro 5. Escala de evaluación de *Hemileia vastatrix* en hojas de café.

CLASES	HOJA (% DE DAÑO)
0	Sano, sin síntomas visible
1	> 1 punto clorótico (0.5 - 1%)
2	1 - 5% de área afectada
3	6 - 20% de área afectada
4	21 - 50% de área afectada
5	> 50% de área afectada

(DGSV, 2013).

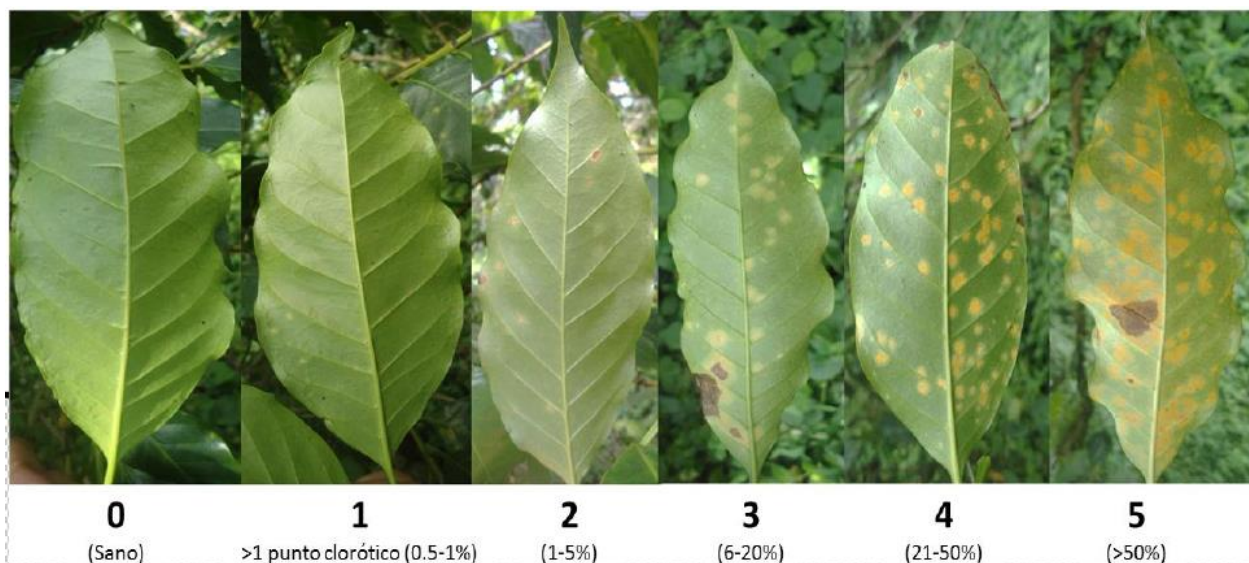


Figura 6. Escala de evaluación de *Hemileia vastatrix* en hojas de café, (DGSV, 2013).

Para la conversión de la severidad se utilizó la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Severidad} = \left[\frac{N1+2N2+3N3+4N4+5N5}{N} \right] * 100$$

N1 – N5: número de hojas con cada punteo, N: total de hojas investigadas.

6.10.2 Porcentaje de incidencia

Se tomaron todas las hojas de las seis bandolas seleccionadas, en cada una de las cinco plantas tomadas para evaluar severidad por hoja.

Luego se realizó el conteo de hojas sanas y hojas enfermas, para luego determinar la infección de la enfermedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Hojas infectadas por parcela neta}}{\text{Total de hojas de la muestra}} \times 100$$

6.10.3 Tasa aparente de infección ajustada a un modelo

Tasa aparente de infección es una estimación de la tasa de progreso de una enfermedad, basado en medidas proporcionales de la extensión de la infección en diferentes momentos. La cual se determinó por la siguiente formula:

$$dy / dt = r (1-y)$$

Donde:

r es la tasa absoluta de cambio.

dy es el incremento de la enfermedad.

dt es el período de tiempo.

(1-y) es la proporción de tejido sano.

6.10.4 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

El objetivo principal de hacer este análisis es identificar el efecto entre tratamientos, usando como variable el área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

Este método consiste en hacer una sumatoria de los promedios de la enfermedad registrados en el tiempo de evaluación, obteniendo la integración de todos los rectángulos formados bajo la curva, para obtener un área total de la enfermedad, esto se realizó con la ecuación:

$$ABCPE = \sum (y_2 + y_1) / 2 * (t_1 - t_2)$$

Donde:

y₁ es severidad de la enfermedad en el tiempo 1 (t₁).

y₂ es severidad de la enfermedad en el tiempo 2 (t₂).

Según Reynolds (1997) el área bajo la curva del progreso de la enfermedad es el parámetro más consistente asociado con resistencia a la mayoría de patógenos.

Esta es una medida cuantitativa de intensidad de epidemia que incorpora la incidencia de tiempo del ataque de la enfermedad y el nivel final de intensidad de la misma.

Los valores obtenidos de ABCPE en los tratamientos evaluados se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de Tukey.

6.10.5 Porcentaje de eficacia de cada tratamiento

Se determinó por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{(C-T)}{C} \times 100$$

Donde:

I= Porcentaje de inhibición.

C= Porcentaje de severidad en el control.

T= Porcentaje de severidad en el tratamiento.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Los resultados de las variables respuesta se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANDEVA), sometidos al sistema SAS y las variables con diferencias significativas se sometieron a una prueba de medias Tukey.

Para el análisis de las variables respuestas, porcentaje de severidad y porcentaje de infección se realizó una prueba de normalidad para determinar si se justifica o no transformar datos, previo a realizar el análisis de varianza.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 SEVERIDAD

7.1.1 Severidad en hoja por lectura

Con los datos tomados de severidad por hoja en las siete lecturas establecidas, se procedió a realizar los análisis de varianza para cada lectura y sus respectivas pruebas múltiples de medias con el comparativo de tukey a un nivel de confianza del 95%, los cuales se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Resumen de resultados de severidad de *Hemileia vastatrix* en hojas por lectura.

	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7
P-VALOR TRATAMIENTO	0.5836	0.7635	0.398	0.0064	<0.0001	0.037	<0.0001
C.V	17.16	16.78	15.58	22.11	18.06	39.98	23.18
TUKEY 5%	T5 14.65 A	T1 25.41 A	T3 20.76 A	T4 11.99 A	T1 7.37 A	T1 5.70 A	T1 5.80 A
	T3 16.23 A	T5 26.39 A	T1 21.45 A	T1 12.68 AB	T4 8.10 A	T3 6.57 AB	T3 8.49 A
	T4 16.36 A	T3 26.97 A	T4 22.01 A	T3 17.76 ABC	T3 8.75 A	T2 6.78 AB	T2 8.86 A
	T1 16.79 A	T2 28.42 A	T5 23.14 A	T5 19.22 BC	T2 10.15 A	T4 8.80 AB	T4 9.42 A
	T2 17.56 A	T4 28.7 A	T2 24.91 A	T2 19.90 C	T5 15.63 B	T5 12.22 B	T5 24.05 B

Como se observa en el cuadro anterior, fue hasta la cuarta lectura que se tuvo efecto de los tratamientos, en la cual el p-valor 0.0064 indica una significancia estadística entre los tratamientos evaluados, por lo que fue necesario realizar el comparativo de tukey, que dividió los tratamientos en cinco grupos de medias, las cuales se presentan en forma ascendente con base al porcentaje de severidad de *Hemileia vastatrix* en hoja. Donde se observa que el mejor tratamiento es el T4 (Flutolanil) del grupo "A", el cual presento menor porcentaje de infección del hongo.

En la quinta y séptima lectura el p-valor <0.0001 indica una alta significancia estadística entre los tratamientos, los cuales se dividieron en dos grupos de medias según el comparativo de tukey, en donde se observa que el flutolanil como los otros tratamientos

químicos evaluados presentan eficacia de control sobre el hongo, a comparación del testigo absoluto, sin aplicación de fungicida.

En la sexta lectura el p-valor fue de 0.037, lo que indica significancia estadística entre los tratamientos evaluados, que de acuerdo al comparativo de tukey se dividieron en tres grupos de medias, donde el ciproconazol fue el que menor severidad del hongo presento, pero el flutolanil sigue siendo estadísticamente similar al azoxystrobin y el epoxyconazole + carbendazim, presentando eficacia de control sobre el hongo a comparación del testigo absoluto.



Figura 7. Aplicación de los fungicidas con bomba manual de mochila y equipo de protección personal.

7.1.2 Severidad promedio por hoja

Cuadro 7. Análisis de varianza para el promedio de severidad por hoja en las siete lecturas.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Bloque	63.39	4	15.85	0.27	0.8999
Tratamiento	665	4	166.25	2.78	0.0284
Error	9917.3	166	59.74		
Total	10645.69	174			

C.V: 48.48%

El análisis de varianza del promedio de las siete lecturas de severidad en hoja de *Hemileia vastatrix*, muestra un p-valor 0.0284, lo que indica que existe una significancia estadística entre los tratamientos evaluados y que por lo menos un tratamiento influye en el control de la enfermedad.

Cuadro 8. Análisis de pruebas múltiples de medias de tukey.

Tratamiento	Medias	Agrupaciones	
T1	13.6	A	
T4	15.06	A	B
T3	15.07	A	B
T2	16.65	A	B
T5	19.33		B

En el cuadro anterior, del análisis de pruebas múltiples de medias de tukey para la severidad promedio por hoja, se observa que el T1 (ciproconazole) fue el mejor estadísticamente para severidad en hojas, lo cual era de esperar debido a que esta molécula es la que Anacafé a estudiado y recomendado en sus programas fitosanitarios. Lo interesante es que el T4 (flutolanil) si tuvo un efecto sobre la severidad del hongo, ya que presenta diferencia estadística en comparación al testigo absoluto. Por lo que el flutolanil resulto estadísticamente similar al azoxystrobin y el epoxyconazole + carbendazim, lo cual aporta al sector cafetalero para tener otra alternativa de rotación dentro de un programa fitosanitario, considerando su mecanismo de acción.

7.2 INCIDENCIA

7.2.1 Incidencia por lectura

Cuadro 9. Incidencia de *Hemileia vastatrix* en hojas de café registrado durante los noventa días de investigación.

	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7
P-VALOR TRATAMIENTO	0.6626	0.7837	0.6321	0.1111	0.0048	0.145	<0.0001
C.V	16.23	8.67	9.49	13.22	15.55	26.7	20.09
TUKEY 5%	T5 48.74 A	T5 76.82 A	T1 57.72 A	T4 39.28 A	T1 32.52 A	T1 27.62 A	T1 27.67 A
	T4 49.97 A	T1 77.16 A	T4 57.90 A	T1 44.60 A	T2 34.00 A	T2 29.19 A	T2 32.32 A
	T3 51.42 A	T4 77.65 A	T3 59.78 A	T3 47.77 A	T4 35.40 A	T3 31.37 A	T4 35.43 A
	T1 52.79 A	T3 78.21 A	T2 61.77 A	T5 48.43 A	T3 37.11 AB	T4 34.81 A	T3 35.89 A
	T2 56.35 A	T2 81.76 A	T5 62.05 A	T2 49.10 A	T5 48.13 B	T5 41.57 A	T5 64.72 B

Con el resumen de los resultados obtenidos por los análisis de varianza con base a la incidencia en hoja por lectura, observamos que en las lecturas 1, 2, 3 y 4 no existió significancia estadística entre los tratamientos.

En cambio, en la lectura 5, el p-valor 0.0048 resultado del análisis de varianza indica que existe significancia estadística entre los tratamientos, por lo que fue necesario realizar una prueba de tukey, la que separo los tratamientos en dos grupos de medias, estando en el grupo "A" el T1 (Ciproconazole), T2 (Azoxystrobin), T4 (Flutolanil) y T3 (Epoxyconazole + Carbendazime), aunque este último (T3) también pertenece al grupo "B" con el T5 (Testigo Absoluto). Por lo que podemos determinar que los tratamientos 1, 2 y 4 son los mejores tratamientos, ya que presentan menor porcentaje de incidencia de roya.

La sexta lectura nos indica que no existió significancia estadística entre los tratamientos evaluados, según el p-valor 0.145, resultado del análisis de varianza.

Y por último, en la séptima lectura el p-valor <0.0001 resultado del análisis de varianza, indico que existe significancia estadística entre los tratamientos evaluados, por lo que

fue necesario realizar una prueba multiple de medias de tukey; la que separo los tratamientos en dos grupos de medias, "A y B". Estando en el grupo "A" el T1 (Ciproconazole), T2 (Azoxystrobin), T4 (Flutolani) y el T3 (Epoxyconazole + Carbendazim) que serían los que menor porcentaje de incidencia presentaron al finalizar la investigación, ya que el T5 (Testigo Absoluto) fue el único del grupo "B" y que más porcentaje de incidencia presento.

7.2.2 Incidencia promedio por hoja

La figura 8, hace referencia al porcentaje de incidencia en hoja durante 90 días de investigación, donde observamos el p-valor 0.1512 resultado del análisis de varianza que indica que no existe significancia estadística entre los tratamientos evaluados, confirmado por nuestra prueba de media de tukey, que nos muestra que todos los tratamientos pertenecen a un solo grupo. Por lo que podemos concluir que la variable incidencia por hoja no es puntual ya que no presenta mayores diferencias en los resultados de eficacia de los tratamientos evaluados.

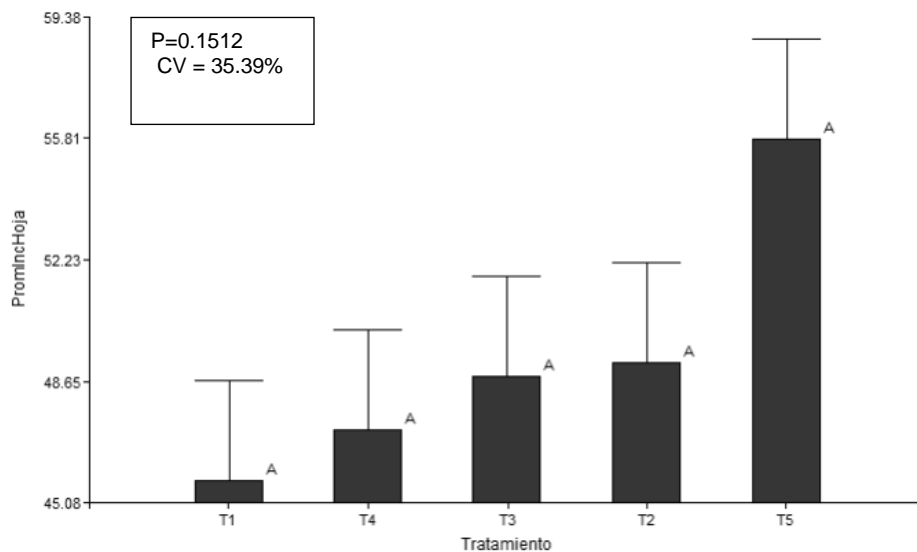


Figura 8. Porcentaje de incidencia en hojas promedio de las siete lecturas.

7.3 ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS EPIDEMIAS

Cuadro 10. Resultados de Severidad/Hoja, ABCPE, Tasa de Infección y Eficacia de los tratamientos promedio de las siete lecturas.

TRATAMIENTO	SEVERIDAD /HOJA	Y ₀	Y _F	ABCPE	TASA INFECCIÓN	EFICACIA
T1	13.52 a	16.79	5.80	1293.94 a	r _e = -0.023 ; r ² = 0.9360	30.09
T2	16.65 ab	17.56	8.86	1613.82 a	r _e = -0.02; r ² = 86.29	13.91
T3	15.07 ab	16.23	8.49	1496.61 a	r _e = - 0.019; r ² = 0.8536	22.08
T4	15.07 ab	16.28	9.63	1460.64 a	r _e = - 0.016; r ² = 0.7686	22.08
T5	19.34 b	14.75	24.05	2021.08 b	r _i = - 0.239; r ² = 0.9993	0

El ABCPE muestra una curva que se realiza por el tiempo de estudio, en donde calcula toda el área que hay debajo de la curva, la cual en este caso nos representa el tejido perdido por cada tratamiento en los noventa días (tiempo de la investigación).

En el cuadro 10, se observan los resultados sobre los promedios de las siete lecturas para ABCPE, en donde se muestra que la prueba múltiple de medias de tukey agrupa a todos los tratamientos químicos dentro del grupo "A" (T1 (Ciproconazole), T4 (Flutolanil), T3 (Epoconazole + Carbendazim) y el T2 (Azoxystrobin)), que son similares estadísticamente, por lo que el flutolanil podría ser utilizado en un plan de manejo del patógeno, teniendo la certeza que controlara la enfermedad y disminuirá la pérdida de tejido, al igual que los demás fungicidas, en comparación con el T5 /Testigo Absoluto) que pertenece al grupo B, siendo el tratamiento que mayor tejido perdido presenta. Y de no controlar la enfermedad tendríamos menos área fotosintética en las plantas, lo cual nos afectaría en el rendimiento del cultivo.

La Tasa Aparente de Infección es la velocidad de la epidemia, el incremento promedio diario que presenta valores negativos y positivos, sabiendo que mientras más negativo se muestre un valor, la interpretación es que la enfermedad fue menos incidente, por lo que se pueden separar en tres grupos nuestros tratamientos en base a la tasa que presentan, dejando al T1 (-0.023) y el T2 (-0.02) como los tratamientos menos incidentes de la investigación, seguidos por los del segundo grupo que presentaron una tasa de T4 (0.7686) y el T3 (0.8536) respectivamente. El T5 fue el que presentó la tasa de crecimiento de la enfermedad más alta, que fue de (0.239).

La eficacia de control final presentada por los tratamientos evaluados durante los noventa días de la investigación, sabiendo que los cuatro presentan un modo de acción sistémico, podemos ver que según los resultados el tratamiento más eficiente fue el T1 (Ciproconazole) el cual presentó un porcentaje de eficacia del 30.09 %, seguido por el T3 (Epoconazole + Carbendazim) y el T4 (Flutolanil) que presentaron el mismo porcentaje de eficacia (22.08), y que por último el T2 (Azoxystrobin) presentó la menor eficacia de control de los cuatro tratamientos.

8. CONCLUSIONES

Los cuatro tratamientos químicos evaluados presentaron eficacia de control sobre el hongo, siendo el T1 (Ciproconazole) el que mejor eficacia presento 30.09, a una dosis de 364 cc/ha.

Según resultado de la prueba de tukey, todos los tratamientos evaluados presentan menos porcentaje de severidad en comparación con testigo absoluto sin aplicación de fungicida, siendo el flutolanil igual estadísticamente a Azoxistrobin y Epoxiconazole + Carbendazim que son productos utilizados actualmente.

Los cuatro tratamientos químicos evaluados presentaron un área bajo la curva del progreso de la enfermedad y tasa aparente de infección menor que el T5 (testigo absoluto).

El flutolanil tuvo un porcentaje de eficacia de 22.08% en el control de la roya, al mismo o mejor nivel que los demás tratamientos químicos y que por su mecanismo de acción podría ser una alternativa para utilizarse con otros ingredientes activos que se utilizan actualmente, dejando la responsabilidad de recomendaciones de uso en el cultivo a consideración de la empresa distribuidora.

9. BIBLIOGRAFÍA

Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology. 5 ed. USA, Elsevier Academic Press. p 578.

Agrios, G.N. (2008). Fitopatología. 2 ed. México, LIMUSA. p 281-487.

Aguirre, M. (2011). La Caficultura Guatemalteca, estado actual y perspectivas. Gerente Técnico - ANACAFE. Santa Rosa, Guatemala. 32 diapositivas.

Agrosiembra, (2012). Duett 25SC. Disponible en http://www.agrosiembra.com/nc=DUETT_25_SC-61.

Anzueto, F. 2015. La Roya del Café en Guatemala (en línea), Revista EntreMundos. Consultado 3 ene 2017. Disponible en <http://www.entremundos.org/revista/economia/la-roya-del-cafe-en-guatemala>.

Amaya, R. 2009. Importancia del café (en línea), El Café. Consultado 12 de ene 2017. Disponible en <http://www.ecocafesal.blogspot.com/2009/10/importancia-del-café.html>.

Asociación Nacional del Café, ANACAFÉ, 2013. La Revista del Caficultor. El Cafetal. Edición No. 35. Pag 3.

Asociación Nacional del Café, ANACAFE. 2016. Exportaciones por destino (en línea) Cosecha 2015-2016. Consultado 15 enero 2017. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/index.php/02EYP:Registro_expodestinos.

Asociación Nacional del Café, ANACAFE. 2015. Ingreso de Divisas (en línea) Cosecha 2014-2015. Consultado 15 enero 2017. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/index.php/02EYP:Registro_expodivisas.

Asociación Nacional de Café, ANACAFE. 2011. Especies y Variedades del Cafeto (en línea). Consultado 15 enero 2017. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_VariedadesCafeto.

Banco de Guatemala, BANGUAT. 2016. Principales Estadísticas de Comercio Exterior (informe resumido) (en línea) Comercio General. Consultado 15 enero 2017. Disponible en https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2016/nota_comercio_mensual.htm&e=126707.

Banco de Guatemala, Banguat. 2012. Exportaciones e Importaciones del 2012 (en línea). Disponible en http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2012/nota_comercio_mensual.htm&e=98959.

Bayer. (2008). Roya del café (en línea). Guatemala. Consultado 8 ene. 2017. Disponible en www.bayercropscience.com.pe/web/index.aspx?articulo=573.

Centro de Investigación en Café, CICAFFÉ. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto. Pag. 6.

Clay, J. (2004). *Coffee in World Agriculture and the Environment*. Washington, DC: Island Press. p. 69-91.

Delgado, L. (2012). Avance e Infestación severa de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) en Café. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/roya-en-cafe-t3914/078-p0.htm>.

Dirección General de Sanidad Vegetal, DGSV. (2013). Manual técnico para el manejo preventivo de la roya del cafeto. México. Consultado 21 enero, 2014. Pag. 8: 1-26.

Donald, PF. (2004). Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1):17-38.

Ecos del café. (2012). Descripción Morfológica del Cafeto, Morfología de órganos (en línea). Consultado el 18 de Septiembre del 2012. Disponible en <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>.

El Cafetal, (2011). Manejo integrado de la roya de cafeto. Asociación Nacional de Café en Guatemala (ANACAFE), Edición Número 28. Guatemala. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/95142279/Roya-Del-Cafe-Revista-El-Cafetal>.

El Cafeto Fresco. (09/05/2010). Taxonomía del café. Consultado el 18 de Septiembre del 2012. Disponible en <http://elcafetofresco.blogspot.com/2010/05/taxonomia-del-cafe.html>.

El Vegetal de Occidente S.A. (2012). Moncut 50WP. Disponible en <http://www.agrovergel.com/fichas/moncut.pdf>.

Guerra, B. (2004). Clasificación de Hongos, (Roya del Cafeto). Archivo PDF.

ICO (International Coffee Organization). 2007. The history of coffee (en línea). London, GB. Consultado 2 jun. 2007. Disponible en http://www.ico.org/coffee_story.asp.

Jeffrey, P. (2003). Depressed coffee prices yield suffering in poor countries. *National Catholic Reporter* 39:12-14.

Jones. (1987), Sánchez. (1987). Sistemática vegetal. 2 ed. México, McGraw Hill. 527 p.

León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. aum. y rev. San José, CR, IICA. p. 350-364.

Mora, G; Acevedo, G; Flores, J; Dominguez, S; Calderón, G. 2013. Epidemiología de la Roya del Café y su Aplicación en el Pronóstico (en línea), Laboratorio Nacional Referencia Epidemiológica Fitosanitaria, LANREF. Oaxaca, M. Consultado 5 ene. 2017. Disponible en http://es.slideshare.net/SINAVEF_LAB/epidemiologa-de-la-roya-del-caf-y-su-aplicacin-en-el-pronstico.

Mora, G; Flores, J; Domínguez, S; Acevedo, G. 2013. Plantamiento del Problema Estudio de caso: Roya del Cafeto (en línea) Epidemiología Agrícola. Consultado el 8 ene. 2017. Disponible en http://es.slideshare.net/SINAVEF_LAB/planteamiento-problema-roya-caf-28-ay13.

Onzima, JR; Coulibaly, N; Montagnon, C. (2002). The role of the African Coffee Research Network in developing sustainable coffee production and quality. *In* CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ed. Recherche et caféiculture. Montpellier Cedex, FR. p. 75-83.

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, OIRSA. Guatemala. (2013). Guía de Campo para la Identificación de Síntomas de la Roya del Café (*Hemileia vastatrix*). Consultado 20 enero, 2014. Disponible en www.oirsa.org-royacafeoirsa@oirsa.org.

PROCAFE. (2004). La roya del cafeto (en línea). El Salvador. Consultado 10 ene. 2017. Disponible en <http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Roya.htm>

Rayner, R. (1972). Micología, historia y biología de la roya del cafeto. Costa Rica, IICA / CATIE. p. 68. (Publicación Miscelánea 94).

Red de Consumidores de Café (Redcafe). El Cultivo (en línea). Consultado el 18 de Septiembre del 2012. Disponible en <http://www.redcafe.org/cultivo.htm>.

Roya del Cafeto. (2012). Perjuicios y Beneficios para la Caficultura. Archivo PDF.

Rutherford, MA. (2006). Current knowledge fo coffee wild disease, a major constraint to coffee production in África. *Phytopathology* 96(6):663-666.

Sánchez Castillo, J.C. (1998). Caficultura Moderna. 5 ed. Guatemala, Impresos Industriales, S.A. p 215-219.

Sánchez Castillo, J.C. (1984). Caficultura Moderna y Control Roya. 2 ed. Guatemala: 140.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SANASICA. (2016). Roya del Cafeto, *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Ficha Técnica No.40. Pag. 3.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA (2013). Ficha técnica No.40, Roya del cafeto. Pag. 4.

Silva, MC, Nicole, M; Rijo, L; Geiger, JP; Rodrigues, CJ Jr. (1999). Cytochemical aspects of the plant-rust fungus interface during the compatible interaction *Coffea arabica* (cv. Caturra)-*Hemileia vastatrix* (Race III). *International Journal of Plant Sciences* 60(1), Pag. 79-91.

Sistema Integrado de Información Taxonómica, ITIS. (2011). Rubiaceae of North America Actualización, base de datos (versión 2011) (en línea). Consultado 4 de Septiembre de 2017. Disponible en https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=35190#null.

Syngenta. (1999). Ficha de Datos de Seguridad, Amistar 500WG. Archivo PDF. Disponible en http://cms.fideck.com/userfiles/duwest.com/webmaster/file/descargas_esp/agricola/Amistar+50+WG.pdf.

Syngenta, (2003). Hoja de Información de Seguridad, Alto 100SL. Archivo PDF. Disponible en http://cms.fideck.com/userfiles/duwest.com/webmaster/file/descargas_esp/agricola/Alto+10+SL.pdf.

Wagner, R. (2012). Historia del café en Guatemala (en línea). Asociación Nacional de Café en Guatemala, Guatemala. Disponible en <http://www.amazon.fr/Historia-Cafe-Guatemala-History-Coffee/dp/958969828X>.

10. ANEXOS



Figura 9. Presencia de la enfermedad en la plantación.

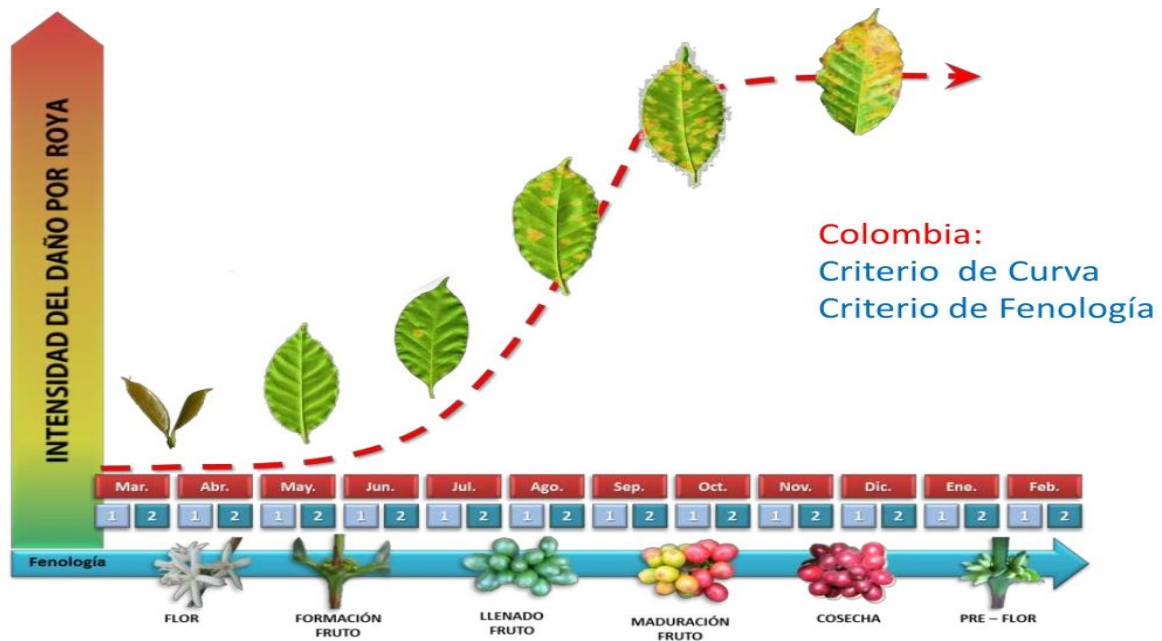


Figura 10. Curva de daño en relación a fenología, (Mora, Acevedo, Flores, Dominguez y Calderón, 2013).

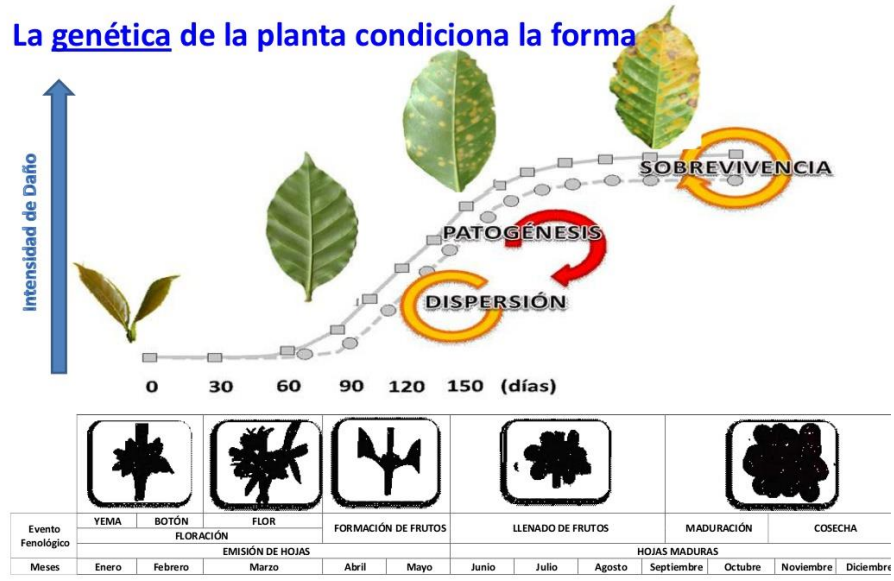


Figura 11. Aspectos biológicos de implicación epidémica, (Mora et al, 2013).

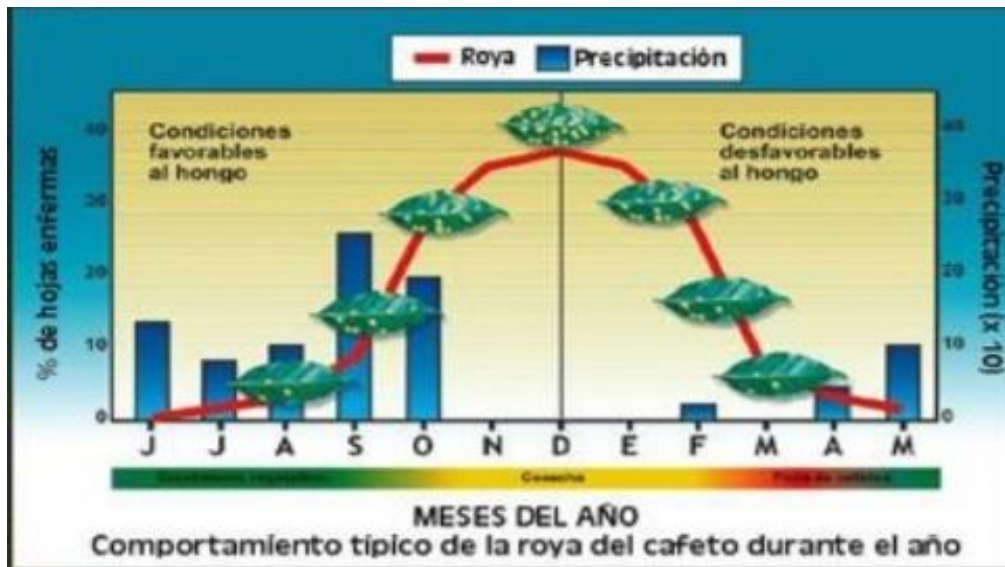


Figura 12. Comportamiento típico de la roya del cafeto durante el año, (PROCAFE, 2004).