



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**Departamento de Parasitología Agrícola
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**

**MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA
(*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO,
OAXACA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

Presenta:

FLORENTINA HERNÁNDEZ GREGORIO

Chapingo, Estado de México. Diciembre 2017





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Parasitología Agrícola
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA
(*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO,
OAXACA

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

Presenta:

FLORENTINA HERNÁNDEZ GREGORIO

Chapingo, Estado de México. Diciembre 2017

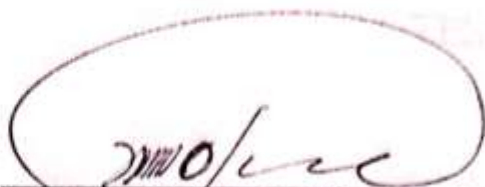


**MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA
(*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO,
OAXACA**

Tesis realizada por **FLORENTINA HERNANDEZ GREGORIO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

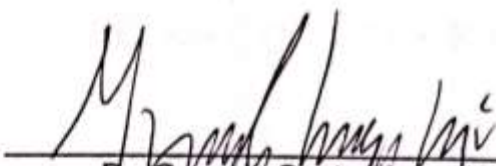
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



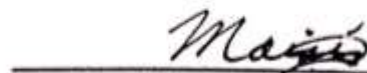
Dr. Nahum Marbán Mendoza

ASESOR:



Dr. Gerardo Santos Leyva Mir

ASESOR:



Dr. Moisés Camacho Tapia

RESUMEN GENERAL

MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) es uno de los patógenos de plantas más importante que afecta al cultivo de café en México. Se considera económicamente importante, ya que es la enfermedad más destructiva del café, dañando a los árboles, provocando la caída prematura de sus hojas infectadas, causando así la disminución de la producción. Ante la necesidad de proteger al cultivo se ha buscado alternativas, para el control de dicho patógeno. En este estudio se evaluaron seis tratamientos, en donde se realizaron dos aplicaciones y 16 evaluaciones, durante el periodo de diciembre 2015 – enero 2016 y noviembre - diciembre de 2016. La evaluación de la severidad de roya se realizó conforme a la escala establecida por SENASICA en el 2013. Los tratamientos fueron a base de estrobilurina, triazol, cobre y un extracto vegetal. Los tratamientos que presentaron una menor severidad para el periodo de diciembre 2015 – enero 2016, fueron los triazoles (57-59%), estrobilurina (59%), cobre (64%) y *Malaleuca alternifolia* (64%). Mientras que para el periodo de noviembre – diciembre 2016, los tratamientos que presentaron una menor severidad fue la estrobilurina (52%), triazoles (55-58%), *Malaleuca alternifolia* (64%) y cobre (68%)

Los resultados demuestran que tanto la estrobilurina y los triazoles, son una alternativa buena para el control de *H. vastatrix*. El cobre y el extracto pueden aplicarse de manera preventiva.

Palabras clave: *Hemileia vastatrix*, estrobilurina, triazol, Cobre, *Malaleuca alternifolia*

Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Florentina Hernández Gregorio

Director de Tesis: Nahum Marbán Mendoza

GENERAL ABSTRACT

CHEMICAL HANDLING IN COFFEE TREE FOR THE CONTROL OF RUST(*Hemileia vastatrix* Berk & Br) IN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) is one of the most important plant pathogens that affects coffee cultivation in Mexico. It is considered economically important since it is the most destructive coffee disease, damaging the trees, causing the premature fall of their infected leaves and thus causing a decrease in production. In view of the need to protect the crop, alternatives have been sought for the control of said pathogen. In this study six treatments were evaluated, where two applications and 16 evaluations were carried out, during the period of December 2015 - January 2016 and November - December 2016. The evaluation of the rust severity was carried out according to the scale established by SENASICA in 2013. The treatments were based on strobilurin, triazole, copper and a plant extract. The treatments that had lower severity for the period of December 2015 - January 2016, were the triazoles (57-59%), strobilurin (59%), copper (64%) and *Malaleuca alternifolia* (64%). While for the period of November - December 2016, the treatments that had lower severity were strobilurin (52%), triazoles (55-58%), *Malaleuca alternifolia* (64%) and copper (68%). The results show that both strobilurin and triazoles are a good alternative for the control of *H. vastatrix*. Copper and extract can be applied preventively.

Keywords: *Hemileia vastatrix*, strobilurin, triazole, Copper, *Malaleuca alternifolia*.

Thesis of Master of Sciences in Plant Protection, Department of Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Florentina Hernández Gregorio

Thesis director: Nahum Marbán Mendoza

DEDICATORIA

A mi madre, por su enorme apoyo incondicional y cariño,
para seguir adelante.

A mis hermanas, por brindarme la confianza, y siempre
mostrarme su apoyo.

A mis amigos, quienes compartieron su tiempo y conocimiento
durante mi estancia en la Maestría.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)
por el apoyo brindado durante mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de
Parasitología Agrícola, al Programa de Posgrado en Protección Vegetal,
por permitirme continuar con mi preparación académica.

Al Sr. Apolonio Fercano propietario del cafetal donde se llevó a cabo la
investigación.

A mis profesores y asesores que contribuyeron para la
realización de este trabajo.

DATOS BIOGRAFICOS



Florentina Hernández Gregorio, es originaria de la Comunidad de Cerro Armadillo Chico, perteneciente al municipio de San Juan Bautista Valle Nacional, Estado de Oaxaca. Nació el 28 de diciembre del año 1988. Realizó sus estudios a nivel primaria en Ing. Víctor Bravo, ubicada en la comunidad de Cerro Armadillo Chico y el nivel secundaria en la Escuela Telesecundaria, ubicada en la Comunidad de Cerro Armadillo Grande. Posteriormente, en el año 2006 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, en donde curso la Preparatoria Agrícola, para incorporarse en el año 2009 al Departamento de Fitotecnia en donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Desde el 2013 ha laborado en diversas áreas relacionadas al área de agronomía, dentro de la iniciativa privada, posteriormente en el año 2015 ingresó a la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal en el Departamento de Parasitología Agrícola.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCION GENERAL	1
1. OBJETIVOS.....	3
CAPITULO I	3
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Importancia económica del cultivo	3
2.2 Producción Nacional	4
2.3 Cultivo del café.....	6
2.3.1 Descripción botánica.....	6
2.3.2 Clasificación de Coffea arábica y canephora.....	6
2.3.4 Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de café	7
2.4 PRINCIPALES ENFERMEDADES FÚNGICAS DEL CAFETO.....	10
2.4.1. Mancha de Hierro (<i>Mycosphaerella coffeicola</i> Cooke).....	10
2.4.2. Ojo de Gallo (<i>Mycena citricolor</i> Berkeley y Curtis).....	11
2.4.3. Quema del Cafeto (<i>Phoma costarricensis</i> Echandi)	13
2.4.4. Mal de Hilachas (<i>Corticium koleroga</i> Cook Von. Hoehnee)	14
2.4.5 Roya del Cafeto (<i>Hemileia vastatrix</i> Berkeley & Broome).....	14
3. LITERATURA CITADA	23
CAPITULO II. MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA.	29
4. INTRODUCCION.....	31
5. MATERIALES Y METODOS.....	31
Descripción del área de estudio	31
Localización	31
Establecimiento de los ensayos experimentales	33
Diseño experimental	33
Realización del croquis del experimento.....	34

Establecimiento del ensayo experimental.....	34
Descripción del experimento.....	34
Variables a evaluar	37
Análisis estadístico de los datos	38
6. RESULTADOS	38
Evaluación diagnóstico o previa 2015.....	38
Primera evaluación 2015	38
Segunda evaluación 2015.....	39
Tercera evaluación 2015.....	40
Cuarta evaluación 2015	41
Séptima evaluación 2015.....	42
Evaluación diagnóstico o previa 2016.....	42
Primera evaluación 2016	43
Segunda evaluación 2016.....	44
Tercera evaluación 2016.....	44
Cuarta evaluación 2016	45
Sexta evaluación 2016.....	46
Séptima evaluación 2016.....	47
7. DISCUSIÓN.....	49
8. CONCLUSIONES	50
9. LITERATURA CITADA	51

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Condiciones climáticas para el cultivo.	10
Cuadro 2 Distribución de tratamientos mediante aleatorización.....	34
Cuadro 3 Tratamientos evaluados para el control de <i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br, en cafeto.....	35
Cuadro 4 Información técnica de los productos	35
Cuadro 5 Escala para evaluación del daño de <i>Hemileia vastatrix</i> Berk y Br (SINAVEF, 2013).	36
Cuadro 6 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la primera evaluación.	39
Cuadro 7 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la segunda evaluación.	39
Cuadro 8 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la tercera evaluación.	40
Cuadro 9 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la cuarta evaluación.....	41
Cuadro 10 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la séptima evaluación.....	42
Cuadro 11 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la primera evaluación.	43
Cuadro 12 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la segunda evaluación.	44
Cuadro 13 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la tercera evaluación.	45
Cuadro 14 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la cuarta evaluación.....	46
Cuadro 15 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la sexta evaluación.	47
Cuadro 16 Comparación de medias del porcentaje de infección de <i>H. vastatrix</i> en hojas de cafeto en la séptima evaluación.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Superficie cosechada y producción nacional de café en México, durante el periodo 2000 – 2017 (SIAP, 2017).	5
Figura 2 Producción anual de los principales estados cafetaleros de México, en la figura se muestra un descenso de producción a partir del 2006 (SIAP, 2017).	6
Figura 3 Síntomas y patógeno. A) Planta con roya, B) Lesión de <i>Hemileia vastatrix</i> (LANREF, 2013).	17
Figura 4 A) Medida de una espora visto desde un microscopio de barrido (19.37µm de largo x 16.97µm de ancho B) Caracterización de una espora de <i>Hemileia vastatrix</i> (LANREF, 2013).	17
Figura 5 Periodos de patogénesis de Roya del Cafeto (<i>Hemileia vastatrix</i>) (SENASICA, 2016).	19
Figura 6 Fases de desarrollo de una epidemia causada por <i>H. vastatrix</i> en su hospedante (Cenicafé, 2014).	22
Figura 7 Ubicación del municipio de San Juan Bautista Valle Nacional, Oaxaca (Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, 2017).	32
Figura 8 Ubicación del área de estudio (Google, maps,2017)	33
Figura 9 Guía para la evaluación del nivel de daño de <i>H. vastatrix</i> en campo. (SENASICA,2013)	37

MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA

INTRODUCCION GENERAL

El cultivo de café o cafeto es originario de Etiopia. Desde 1530 el consumo de café se extendió primeramente en Medio Oriente. En 1560 pasó a Constantinopla y luego a Europa, donde Francia fue el primer país europeo que lo importó. De Francia pasó a Inglaterra siendo que para el año 1600 del siglo XVII el café ya había sido introducido en toda Europa. En 1680 los holandeses lograron aclimatar la planta en Java y Batavia, de donde pasó a Ceilán (actualmente Sri Lanka) y se convirtió en el cultivo principal (Durán, 2009).

Durán (2009) menciona que hacia el siglo XVIII, el café comenzó a cultivarse en centro y Sudamérica primeramente en Martinica y las Guayanas; para 1727, se cultivaba en Brasil y más tarde en Colombia sustituyendo así las zonas productoras tradicionales de Indonesia, Ceilán y Java.

El café llegó a México en 1795; Veracruz, Morelos, Michoacán y Oaxaca, fueron los primeros estados en cultivarlo (Mogel y Toledo, 1996). Hoy en día el café se cultiva en las zonas montañosas de alrededor de 15 estados de la república mexicana y se estima que cerca de un 60 % de los pequeños productores son indígenas (Gómez *et al.*, 2010).

El café es el segundo producto más importante en el comercio mundial después del petróleo, en México cobra importancia por cultivarse en zonas pertenecientes a pueblos originarios, de difícil acceso, con rezagos en infraestructura y tecnología, y de pobreza extrema (Schwentesius *et al.*, 2014). Según datos de la SIAP en el 2015 se produjo un total de 231, 596 t de café verde, donde los principales países productores son Brasil, Vietnam, Indonesia y Colombia, México ocupó el décimo lugar en producción.

Desde el 2011 el precio internacional del café comenzó a descender paulatinamente, como resultado de la abundante oferta mundial y la menor demanda en los centros consumidores debido a los efectos de la crisis financiera internacional, lo que no tardó en reflejarse en el país. A enero 2014 el precio nacional mostró una caída de 40% respecto a enero 2011. Se espera que esta situación se revierta en los próximos meses, de presentarse condiciones climáticas desfavorables en los principales países productores, como Brasil, y debido a las afectaciones de la roya en México y Centroamérica (SHCP, 2014).

En la comunidad de Cerro Armadillo, sitio en el cual se llevó a cabo el presente trabajo, se localiza en el municipio de San Juan Bautista Valle Nacional, en el estado de Oaxaca, lugar en donde hace un par de años el principal ingreso que tenían era por el cultivo de café. Debido a la gran problemática ocasionada en primer lugar por el bajo precio del grano de café y por la disminución en la producción debido a problemas fitosanitarios como la roya del cafeto.

Para reducir y en su caso prevenir estas pérdidas se han efectuado estudios sobre epidemiología, evaluación de fungicidas, nematicidas, su dosificación, época, intervalos y formas de aplicación (Regalado y Villanueva, 1990).

Las enfermedades más importantes por su distribución y daño que causan son: Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk y Br). Mal de hilachas (*Corticium koleroga* Cooke), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk y Curtis), requemo o derrite (*Phoma costarricensis* Ech), mancha de hierro o cercospora (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke), pudrición radicular del cafeto (*Rosellinia* sp.), mal rosado (*Corticium salmonicolor* Berk y Br) (Regalado y Villanueva, 1990).

La enfermedad más destructiva en este cultivo, es la roya del cafeto, la cual daña a los árboles y disminuye su producción al ocasionar la caída prematura de sus hojas infectadas. La roya del cafeto ha ocasionado pérdidas devastadoras en todos los países productores de café de Asia y África. Ataca a todas las especies de café,

pero es más severa en *Coffea arábica*. En 1970, esta enfermedad apareció por primera vez en el hemisferio occidental, en Brasil, y rápidamente se ha extendido a los países de centro y Sudamérica productores de café más importantes del mundo, donde todos los cafetos comerciales son susceptibles a la roya. Los síntomas de la enfermedad aparecen en forma de manchas polvorientas de color amarillo naranja sobre el envés de las hojas. Al principio, las manchas son redondas y pequeñas y tienen un diámetro de casi 5 mm, pero con frecuencia coalescen (Agrios, 1986).

1. OBJETIVOS

- Evaluar el efecto de las aplicaciones de fungicidas sistémicos y de contacto para el control de la roya *Hemileia vastatrix* en cafeto.
- Determinar la mejor alternativa para el control de *H. vastatrix* en cafeto.

HIPOTESIS

- Existen alternativas que son útiles para el control de *H. vastatrix* en cafeto.
- Al menos uno de los tratamientos tiene mejor control sobre *H. vastatrix* en el cultivo de café

CAPITULO I

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Importancia económica del cultivo

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por país.

En el mundo los principales países productores de café verde son: Brasil, Vietnam, Indonesia y Colombia (FAO, 2017). La superficie cafetalera cosechada en el 2015 a nivel mundial abarcó diez millones ciento cuarenta y dos mil ochocientas treinta y seis hectáreas (10, 142, 836 ha) en cuyo caso se obtuvo una producción de ocho

millones novecientos veinte mil ochocientos treinta y nueve toneladas de café verde (8, 920, 839 t). Brasil se colocó como el principal país productor de café verde con 2, 964, 538 t (33 % de la producción mundial), seguido de Vietnam con 1, 461, 000 t (15 %), Indonesia con 698, 900 t (8 %) y Colombia con 653, 160 t (6 %). México destacó por su producción en el décimo lugar con 231, 596 t de café verde (3 %) por detrás de países como India, Honduras, Etiopía, Perú y Guatemala.

2.2 Producción Nacional

La producción nacional ha venido en descenso, como se observa en la Figura 1, en el 2000 la superficie cosechada era de 701,325.64 has con una producción de 1,836,882.5 toneladas. En 2007 la superficie cosechada registró un aumento del 10% pero un descenso en producción del 20.5%. En el ciclo 2016/17 la superficie cosechada y producción registró un descenso de 10% y 54% respectivamente en comparación al registrado en 2000 (SIAP, 2017).

A nivel estado Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla principales estados cafetaleros muestra descensos significativos en su producción desde 2006 generando una línea de tendencia de disminución a nivel nacional. Esto se puede deber al envejecimiento de los cafetales con promedios superior a los 25 años y a la baja investigación sobre variedades, sanidad y tecnología productiva a partir de la desaparición del INMECAFE en 1989 (www.royacafe.lanref.org.mx).

Los estados altamente avocados a la cafeticultura generan ingresos de hasta un 78%, como es el caso del estado de Oaxaca mientras que otros estados como Colima, Nayarit y Jalisco, cuya vocación agrícola no es la cafeticultura, los ingresos generados oscilan alrededor del 50% (SAGARPA, 2017).

A diferencia de lo que sucede en los principales países productores de café como Brasil y Colombia, en México la mayor parte de cafetales es producida por familias campesinas a pequeña escala y se caracteriza por ser predominantemente minifundista. Particularmente en Oaxaca, aproximadamente el 70% de los

productores son indígenas con superficies de cultivo no mayores a 5 hectáreas que han hecho del café su forma de vida y su medio de subsistencia, en tanto que el porcentaje restante son propietarios privados con más de 10 hectáreas (CAFESCA, 2015; Moguel y Toledo, 1996). De 1962 a 1989 el café en México tuvo el periodo de expansión más importante de su historia, debido al incremento de los precios en el Mercado Internacional (Moguel y Toledo, 1996). Actualmente México, a pesar de su hectareaje, ocupa el décimo lugar por abajo de países con menos superficie como Guatemala (243,146 ha) y Honduras (301,424 ha) con datos promedio de 2013 y 2014 (FAO STAT, 2017).

El SIAP 2015 se registró en el cierre agrícola 2015 una superficie cosechada de café cereza de 699,307.33 ha, ocupando los estados de Chiapas, Veracruz y Puebla los tres primeros lugares con: 254,020.78 ha, 138,512.81 ha y 138,422.62 ha respectivamente. En cuanto a la producción de café cereza en el 2014, el SIAP 2015 registró que los cinco primeros estados productores son: Chiapas que representa el 36 % de la producción de café cereza en México con 402,099.78 t, seguido de Veracruz con 353,697.22 t (32 %), Puebla con 148,900.46 t (13 %), Oaxaca con 129,781.19 t (13 %) y el resto de los estados productores representa el 7 % de la producción nacional con 82,625.29 t.

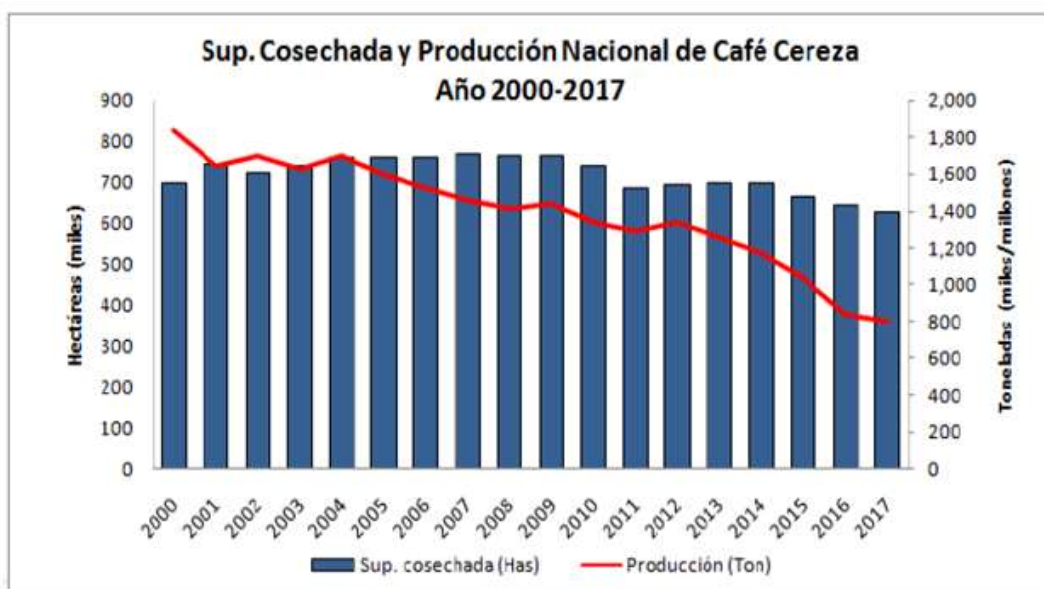


Figura 1 Superficie cosechada y producción nacional de café en México, durante el periodo 2000 – 2017 (SIAP, 2017).

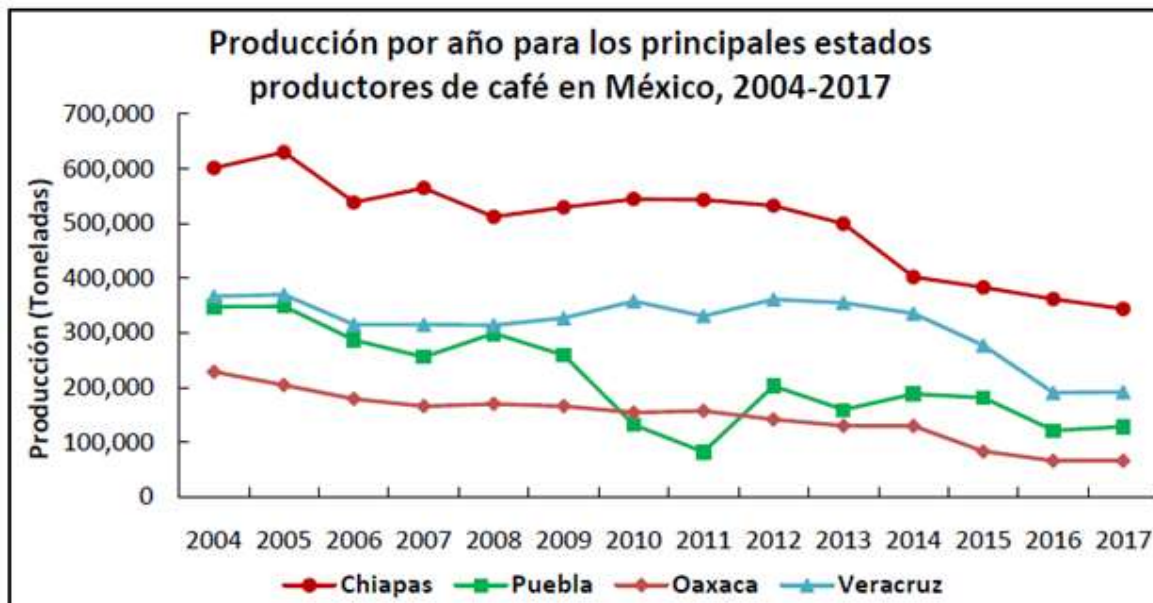


Figura 2 Producción anual de los principales estados cafetaleros de México, en la figura se muestra un descenso de producción a partir del 2006 (SIAP, 2017).

2.3 Cultivo del café

El café es considerado el primer producto agrícola y el segundo commodity de peso mundial después del petróleo. La importancia global del cultivo se deriva del hecho que involucra tanto países productores ubicados en la zona intertropical húmeda, como países consumidores los cuales, a excepción de Brasil, se localizan preferencialmente en las zonas templadas del norte (Romero, 2013).

2.3.1 Descripción botánica

El café pertenece a la familia de las Rubiáceas. El género *Coffea* incluye por lo menos 70 especies, de las que sólo resaltan por su valor comercial en grano para bebida estimulante: *Coffea arábica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre (Coste, 1986).

Esta planta produce frutos, conocido como cereza, que son de color verde en estado inmaduro y rojo-amarillento cuando madura (Castillo *et al.*, 1998)

2.3.2 Clasificación de *Coffea arábica* y *canephora*

Reino: Vegetal

División: Antofita

Clase: Dicotiledonia

Subclase: Simpetala

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Tribu: Cofeales

Género: Coffea

Especie: *C. arábica*, *C.canephora*

2.3.4 Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de café

El conocimiento de las interacciones entre los factores ambientales y la calidad es clave para mejorar la calidad del café en una finca. Clasificar los factores en diferentes grupos puede ayudar a identificar a los que pueden controlarse (prácticas agrícolas y procesos de postcosecha) y a los que no son controlables directamente, como los ambientales (Läderach *et al.*, 2006).

Clima

El clima es el resultado de numerosos factores y elementos que actúan conjuntamente en una determinada región. La calidad del café está relacionada con los factores y elementos del clima; entre los factores que más influyen en la calidad están la altitud y la latitud, y los elementos más importantes son temperatura, humedad, precipitación, heladas y vientos (Wintgens, 2004; citado por Escamilla, 2007).

Altitud y latitud

Sin embargo, Santoyo *et al.* (1996) mencionan que estas altitudes deben ajustarse y corregirse según las latitudes y las condiciones ambientales específicas. Mientras en México los mejores cafés se ubican entre 900 y 1500 m, en países como Colombia la proximidad a la franja ecuatorial modifica esta situación, y en sus condiciones los cafés de mejor calidad se ubican a mayores altitudes. En efecto, la

altitud es un factor determinante en la calidad, ya que la mayor altura sobre el nivel del mar incrementa la densidad y dureza de los granos, así como el grado de acidez, aroma, sabor, fineza y cuerpo por lo que los granos y la bebida son más apreciados. En altitudes menores, con temperaturas y humedad más elevadas la maduración es más rápida, lo que ocasiona efectos negativos en el sabor y en las características físicas del grano. Sin embargo, en granos producidos a alturas muy elevadas la acidez tiende a bajar (Regalado, 2006).

Vertientes

Avelino (2006) reporta el efecto de las vertientes sobre la calidad de la bebida en dos regiones de Costa Rica, Dota hacia el Pacífico y Orosi hacia el Caribe. Las vertientes orientadas hacia el este presentaron generalmente características sensoriales superiores, posiblemente por su mejor exposición al sol matutino. Esta situación debe tener un efecto muy importante sobre la calidad del café en las regiones productoras de México, sobre todo las grandes diferencias ambientales que caracterizan a la vertiente del Golfo (más húmeda) y la del Pacífico (más seca).

Temperatura.

Descroix y Snoeck (2004) mencionan que las especies del género *Coffea* son de naturaleza tropical y subtropical, debido a que no tienen la capacidad de sobrevivir en temperaturas bajo cero. La sensibilidad al frío o al calor varía entre especies: en *C. arabica* la temperatura óptima media oscila de 18 °C en la noche a 22 °C en el día, y las extremas son 15°C por la noche y 25 a 30 °C por el día.

Humedad

La humedad relativa y la lluvia influyen sobre el crecimiento de los cafetos y la incidencia de plagas. El café requiere de lluvias suficientes y con una distribución adecuada durante el año. Los periodos de sequía disminuyen la actividad fisiológica de la planta, y si se presenta en forma severa entre la 6ª y 16ª semana después de la fecundación ocasiona una gran cantidad de granos vanos y los frutos que se desarrollen serán de tamaño más pequeño, por lo que la calidad de la cosecha y su

valor en el mercado también disminuirán (Santoyo *et al.*, 1996; Wintgens, 2004, citado por Escamilla, 2007).

Vientos

Los vientos fuertes como los ciclones o tornados no son convenientes para el cultivo de café, ya que causan defoliaciones o ruptura de las ramas, pero un viento ligero mantiene un buen intercambio gaseoso en el follaje. Este factor debe tenerse muy en cuenta al establecer una plantación, para tomar las precauciones debidas como el uso de protección topográfica, crear barreras rompe viento, y seleccionar plantas de café resistentes a las quebraduras. También es necesario tomar en cuenta a los vientos alisios, brisas de mar o de tierra, pues pueden causar daños por evapotranspiración excesiva, manchas en las flores y en frutos cercanos a la madurez, para lo cual es conveniente el uso de árboles de sombra y barreras rompevientos (Descroix y Snoeck, 2004). Avelino (2006) menciona que el clima puede variar de un año para otro, y para el café no se sabe que tanto pueden afectar la calidad las variaciones interanuales de clima.

Suelos

Los estudios sobre la influencia del suelo en la calidad del café son escasos, aunque se considera que las características de textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo están relacionadas con la cantidad producida y las restricciones en estos aspectos se pueden reflejar en la calidad. A nivel mundial se acepta que los cafés de mayor acidez crecen sobre fértiles suelos volcánicos (Harding *et al.*, 1987, citado por Leroy *et al.*, 2006).

En cuanto al pH el cafeto prefiere una reacción ligeramente ácida (pH 6-6.5), sin embargo, en la mayoría de los suelos de cafetal el pH es menor a 5.5. De aquí que algunos autores señalan que el rango de pH en suelos cafetaleros es de 4.5-5.5 (Carvajal, 1972). Desde el punto de vista físico los suelos deben ser profundos (1 metro de preferencia), permeables, con buena aireación, friables y textura migajón arcilloso (Carvajal, 1972 y Nolasco, 1985).

Según lo menciona Uribe (1993), el valor de materia orgánica en suelos de cafetaleros debe rebasar el 7 %. La materia orgánica acumula grandes reservas de macronutrientes, hace disponible algunos micronutrientes para las plantas, (Ruíz, 1999). En síntesis, la materia orgánica favorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como la estructura, aireación, infiltración, capacidad de retención, capacidad de intercambio catiónico, amortiguamiento del pH, alimento microbiano y una fuente importante de nutrientes para la agricultura; por lo que en suelos con alto contenido de materia orgánica se logran máximos rendimientos (Guzmán, 2004).

Cuadro 1 Condiciones climáticas para el cultivo (Marín, 2012).

Requerimientos del cultivo	
Altitud (m.s.n.m.)	1,000 – 1,600
Precipitación pluvial (mm)	1,000 – 2,500
Temperatura (°C)	18 – 22
Humedad relativa (%)	70 – 95
Luminosidad (horas de brillo solar)	1,500 – 2,500

2.4 PRINCIPALES ENFERMEDADES FÚNGICAS DEL CAFETO

Las enfermedades más importantes por su distribución y daño que causan son:

2.4.1. Mancha de Hierro (*Mycosphaerella coffeicola* Cooke)

Phylum: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes

Orden: Capnodiales

Familia: Mycosphaerellaceae

Género: *Mycosphaerella*

Especie: *Mycosphaerella coffeicola* (EPPO, 2015).

Mycosphaerella coffeicola ataca 134 variedades de café pertenecientes a las especies: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea eugenioides*, *Coffea liberica* y *Coffea racemosa* (Echandi, 1959).

El patógeno ataca hojas, ramas, tallos y frutos. Las manchas presentan un halo clorótico o amarillento que contrasta con el tejido normal de la hoja (INIAP, 1993), en ramas y tallos presenta lesiones alargadas, mientras que, en frutos, las lesiones son redondas, hundidas y de diferente tamaño (Alvarado, 1994).

A medida que la enfermedad continúa su desarrollo las lesiones coalescen, aumentando el tamaño del área afectada en el fruto. El daño principal ocasionado por la mancha de hierro es la defoliación, provocando que disminuya notablemente el área fotosintética de la planta reduciendo el crecimiento de la misma (Alvarado, 1994).

Se presentan generalmente en plantas de semilleros y almácigos con poca sombra y en sustratos preparados sin la adición de materia orgánica (Castaño, 1956). Las infecciones pueden ocurrir en cualquier etapa de desarrollo de los frutos (Nelson, 2008).

En México desde el 2014, *Mycosphaerella coffeicola* se encuentra bajo monitoreo dentro del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, como plaga de importancia económica en café (SENASICA, 2014). Los periodos de mayor ocurrencia en 2015 van de los meses agosto-diciembre mostrando una tendencia constante durante los 5 meses. Para el periodo enero-julio se observa una tendencia de menor ocurrencia.

2.4..2. Ojo de Gallo (*Mycena citricolor* Berkeley y Curtis)

Phylum: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Mycenaceae

Género: *Mycena*

Especie: *Mycena citricolor* (EPPO,2015)

El hongo *Mycena citricolor*, afecta a plantaciones de café *arabica* como Caturra, Bourbon, Typica, Garnica, entre otros. También se ha visto en algunos Catimores e inclusive variedades recientemente utilizadas en México como Costa rica 95, según experiencias en campo. En algunos materiales resistentes la severidad de la enfermedad puede ser incluso mayor que en variedades de *C. arabica*. Ojo de gallo afecta hojas maduras y jóvenes, brotes nuevos y frutos en diferentes estados de desarrollo.

La enfermedad se manifiesta siempre por el haz de la hoja y se caracteriza por la formación de pequeñas manchas de color rojo oscuro eventualmente se puede observar que los signos del patógeno consisten en el basidiocarpo. Estas lesiones, por lo general, son circulares y a veces pueden ser ovaladas, debido a la delimitación de las nervaduras de las hojas, o algo irregulares cuando dos o más manchas se fusionan. Las lesiones jóvenes son oscuras, mientras que las lesiones viejas son de color más claro. En estados avanzados, la parte afectada presenta un agujero en las hojas (Cenicafé, 2011).

En ramas y tallos, presenta lesiones alargadas; en frutos, las lesiones son redondas, hundidas y de diferente tamaño (Cenicafé, 2011). El daño principal ocasionado por esta enfermedad en las plantas de café es una intensa y rápida defoliación, lo cual hace que disminuya notablemente el área fotosintética de la planta y se reduzca el crecimiento de la misma y su producción.

Mycena citricolor causa una enfermedad importante en plantaciones localizadas por arriba de los 700 msnm, en plantaciones muy sombreadas, con alto grado de humedad en el ambiente y temperaturas frescas comprendidas entre los 19 y 23°C (Villaseñor, 1987).

Los síntomas y/o fructificaciones del hongo pueden apreciarse mayormente en épocas lluviosas, por experiencia en campo durante la investigación. En México desde 2014, *Mycena citricolor* se encuentra bajo monitoreo dentro del Programa de

Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, como plaga de importancia económica en café (SENASICA, 2014).

2.4.3. Quema del Cafeto (*Phoma costarricensis* Echandi)

Phylum: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Leptosphaeriaceae

Género: *Phoma*

Especie: *Phoma costarricensis* (EPPO, 2015)

El hongo denominado *Phoma costarricensis* ataca hojas, tallos y frutos de diferentes especies del género *Coffea spp.* (CATIE, 2000). Las manchas en las hojas jóvenes son grandes y en muchos casos se extienden a toda la hoja, son de color café oscuro casi negro, con numerosos picnidios en el haz y envés. En hojas viejas las manchas son menos frecuentes. La quema progresa rápidamente en los tejidos tiernos de los tallos y bandolas, produciendo una “muerte descendente”. En fruto ataca el pedúnculo o la base de los frutos jóvenes, dando por resultado manchas semejantes en color a las que aparecen en los tallos y las hojas (Echandi, 1957).

El daño principal de esta enfermedad consiste en la muerte de brotes o ramas jóvenes y defoliación de las hojas enfermas. También, ocasiona desequilibrio nutricional y capacidad productiva de los cafetos (Anacafé, 2014). La aparición de la “quema” o “derrite” (*Phoma costarricensis*) está directamente relacionada con la estación lluviosa, época de mayor prevalencia (Alvarado y Rojas, 1994).

En México desde el 2014, *Phoma costarricensis* se encuentra bajo monitoreo dentro del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, como plaga de importancia económica en café (SENASICA, 2014). Su ocurrencia ha sido inferior al 1% por lo que no es frecuente en México.

2.4.4. Mal de Hilachas (*Corticium koleroga* Cook Von. Hoehnee)

Phylum: Basidiomycota

Clase: Agaricomycotina

Orden: Agaricomycetes

Familia: Corticiales

Género: *Corticium*

Especie: *Corticium koleroga* (EPPO, 2015)

Corticium koleroga se puede presentar en cafetales con alta humedad y sombreado excesivo, afecta hojas, tallos y frutos (SENASICA, 2014).

Las hojas de las plantas afectadas empiezan a secarse desde la base hacia el ápice, cubriéndose el envés de un crecimiento blanquecino que constituye el micelio del patógeno. En estados avanzados, las hojas afectadas se secan tornándose de un color café oscuro para luego desprenderse de las ramas y quedar suspendidas o colgadas por medio del micelio dando el aspecto de hilachas de donde deriva su nombre (INIAP, 1993).

En los primeros estados de desarrollo del hongo, el micelio es blanquecino, obscureciéndose con el transcurso del tiempo hasta llegar a ser casi negro. De esta manera, permanece dentro de la corteza de las ramas de una época lluviosa a otra (INIAP, 1993). La infección se favorece por condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas, es mayormente visible durante y después de lluvias en cafetales con considerable sombra.

En México desde el 2014, *Corticium koleroga* se encuentra bajo monitoreo dentro del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, como plaga de importancia económica en café (SENASICA, 2014).

2.4.5. Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome)

Phylum: Basidiomycota

Clase: Pucciniomycotina

Orden: Pucciniales

Familia: Chaconiaceae

Género: *Hemileia*

Especie: *Hemileia vastatrix* (EPPO, 2015)

La Roya del Cafeto ataca a las hojas de los cafetos de todas las variedades comerciales de café pertenecientes a *Coffea arabica* L, tales como: Typica, Bourbon, Mundo novo, Caturra, Garnica, Maragogipe, Catuaí, Pluma hidalgo; entre otras, mismas que se cultivan en la mayor parte de las regiones cafetaleras de México (SENASICA, 2013). Recientemente se han encontrado variedades de *Coffea canephora* con lesiones de *Hemileia vastatrix* en estado esporulante. En la actualidad en México y en otras partes del mundo la roya es el principal problema patológico en el cultivo del café. Esta enfermedad está muy ligada al desarrollo fisiológico del cultivo, al nivel de producción de la planta y la distribución y cantidad de lluvia, temperaturas y fenología (www.royacafe.lanref.org.mx, CENICAFE, 2011).

El hongo existe principalmente como soros y uredosporas en hojas infectadas a partir de las cuales infectan a las hojas en forma continua y con sucesivas reinfecciones. Las esporas germinan sólo en presencia de agua libre y entran a la hoja a través de los estomas de la superficie inferior, el micelio crece entre las células de las hojas y envían haustorios hacia las células que tiene como función la absorción de alimentos (Agrios, 1997). Estudios realizados por LANREF, 2014, la apertura estomática analizada con Leaf Porometer® mostró que entre las 6pm a 7am ocurre la mayor apertura en plantas de variedad Typica, lo cual sugiere que la penetración se presenta durante la noche coincidiendo con la mayor humedad de rocío.

Recientemente en Centroamérica se reportó en el cultivo de café (*Coffea* spp) un brote de roya, la cual durante los últimos dos años (2010-2012) presentó incrementos en intensidad de daño. Lo anterior implicó daños en la producción de hasta de un 30%, con defoliación severa de plantas. El incremento aparente de las tasas epidémicas ha sido de mayor intensidad que años previos en los cuales la

incidencia de la roya es recurrente y endémica, pero de baja intensidad desde los 80's (Mora-Aguilera *et al.*, 2014).

2.6 Agente etiológico de la Roya del Cafeto

Hemileia vastatrix es un parásito obligado, afectando las hojas activas de la planta. El micelio de este hongo se encuentra completamente dentro del mesófilo y está principalmente confinado a las áreas de la hoja donde los tejidos están descoloridos y cloróticos. Consiste en hifas hialinas en abundancia, de aspecto toruloso y frecuentemente ramificadas en forma muy irregular; el diámetro de las hifas es bastante uniforme y oscila entre 5 y 6 μ (Chevaugeron, 1956).

La principal forma de multiplicación es la uredospora, caracterizándose por su forma reniforme y equinulada sobre su mitad superior y lisa ventralmente, rasgo distintivo que le dio su nombre al género, el cual significa; hemi= medio, y leios= liso (Fernandes, *et al.*, 2009). Las esporas son de tamaño microscópico (30 μ de largo x 20 μ de ancho), la parte más redondeada de la uredosporas está densamente ornamentada con una especie de espinas cortas y erectas, 3 a 4 mm de largo, que tienden a ser más cortas y escasas hacia la parte lisa de la espora (Rayner *et al.*, 1972; Castro *et al.*, 2009).

En México de acuerdo a las referencias de LANREF, 2013 encontró esporas con tamaño de 19.37 μ m de largo x 16.97 μ m de ancho similares a los referidos en el párrafo anterior pero con las mismas características morfológicas mencionados.

Acercamiento de una lesión visto desde un microscopio estereoscópico, D) Uredosporas E) Conglomerado de uredosporas visto desde un microscopio de barrido (LANREF, 2013) (Figura 3)

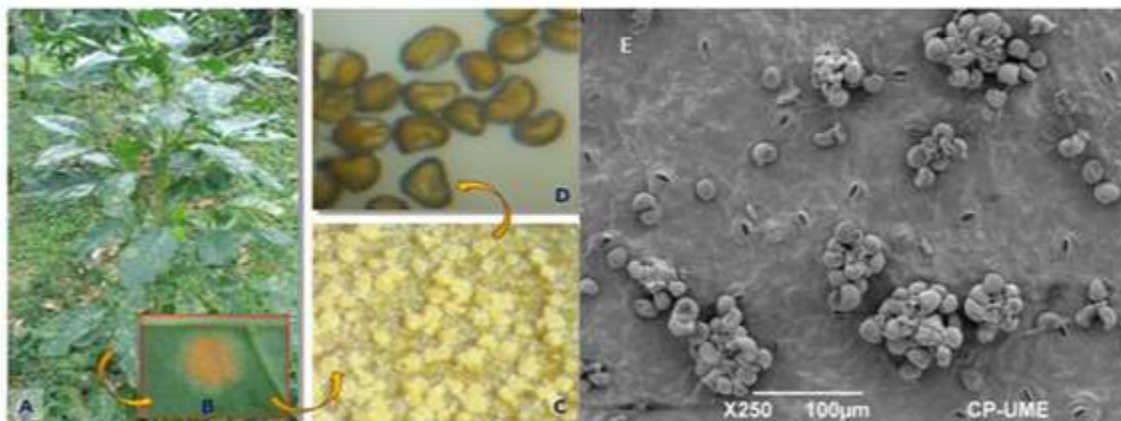


Figura 3 Síntomas y patógeno. A) Planta con roya, B) Lesión de *Hemileia vastatrix* (LANREF, 2013).

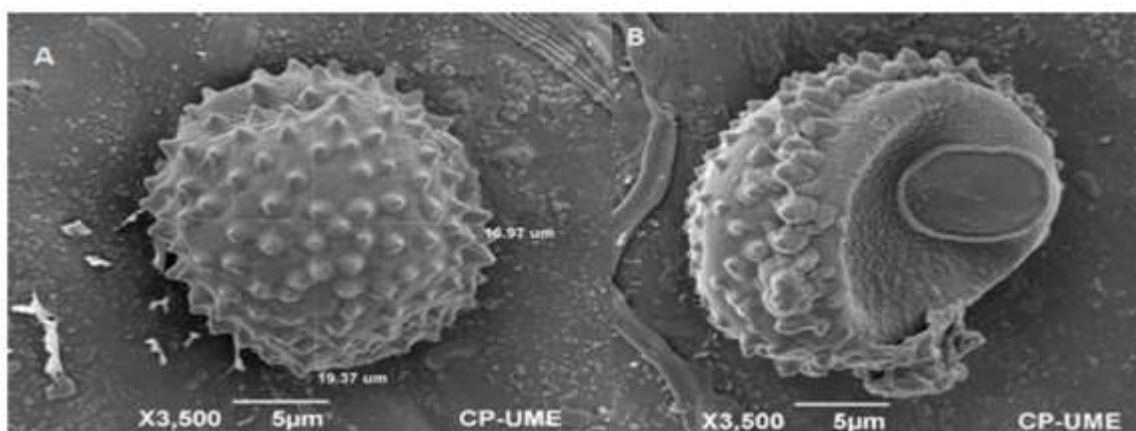


Figura 4 A) Medida de una espore visto desde un microscopio de barrido (19.37µm de largo x 16.97µm de ancho B) Caracterización de una espore de *Hemileia vastatrix* (LANREF, 2013).

2.7. Biología y patogénesis de *Hemileia vastatrix*.

La roya anaranjada del cafeto es causada por el hongo *H. vastatrix*, perteneciente a la familia de las Chaconiaceae, anteriormente se clasificaba dentro de las Pucciniaceae. Esta clasificación, basada en características morfológicas, ha sido confirmada por estudios moleculares (Cummins, Hiratsuka, 2003). El ciclo de la de la roya, se ha propuesto que inicia a partir de la diseminación (Avelino *et al.*, 2014).

- A) Fase I liberación; en la que la uredospora se despegga del soro,
- B) Fase II dispersión; en la cual la espora abandona la lesión
- C) Fase III deposición; cuando la espora llega a la hoja.
- D) La germinación constituye la siguiente etapa. Este origina el inicio del proceso infeccioso o periodo de patogénesis:
- La **penetración** del hongo ocurre por los estomas de la hoja estableciendo relaciones trópicas entre el hongo y el hospedero, dando así comienzo a la infección (Avelino *et al.*, 2014).
 - La **germinación de una uredospora** en el envés de una hoja mojada de cafeto puede comenzar en tan solo una hora formando poros germinales el cual da origen a tubos germinativos y el que dará origen a los apresorios que posteriormente pueden llegar a ramificarse (Rayner,1972). El periodo comprendido entre el inicio de la germinación y la expresión de los primeros síntomas (puntos cloróticos) constituye el periodo de **incubación** (SENASICA, 2016, Jiménez-González *et al.*, 2014, Rayner,1961).
 - La **colonización** de la hoja por las hifas lleva a la formación de los primeros síntomas visuales (SENASICA, 2016, Jiménez-González *et al.*,2014).
 - La emergencia posterior del esporóforo y la producción de nuevas esporas infecciosas constituye la etapa de la **multiplicación o esporulación** (SENASICA, 2016, Jiménez-González *et al.*, 2014).

El tiempo transcurrido entre el inicio de la germinación y la esporulación, o periodo de **latencia**, representa por lo mismo la variable de mayor importancia: cuanto más corto sea éste, más rápido podrá repetirse el ciclo y más grave será la epidemia (Mora-Aguilera *et al.*, 2014).

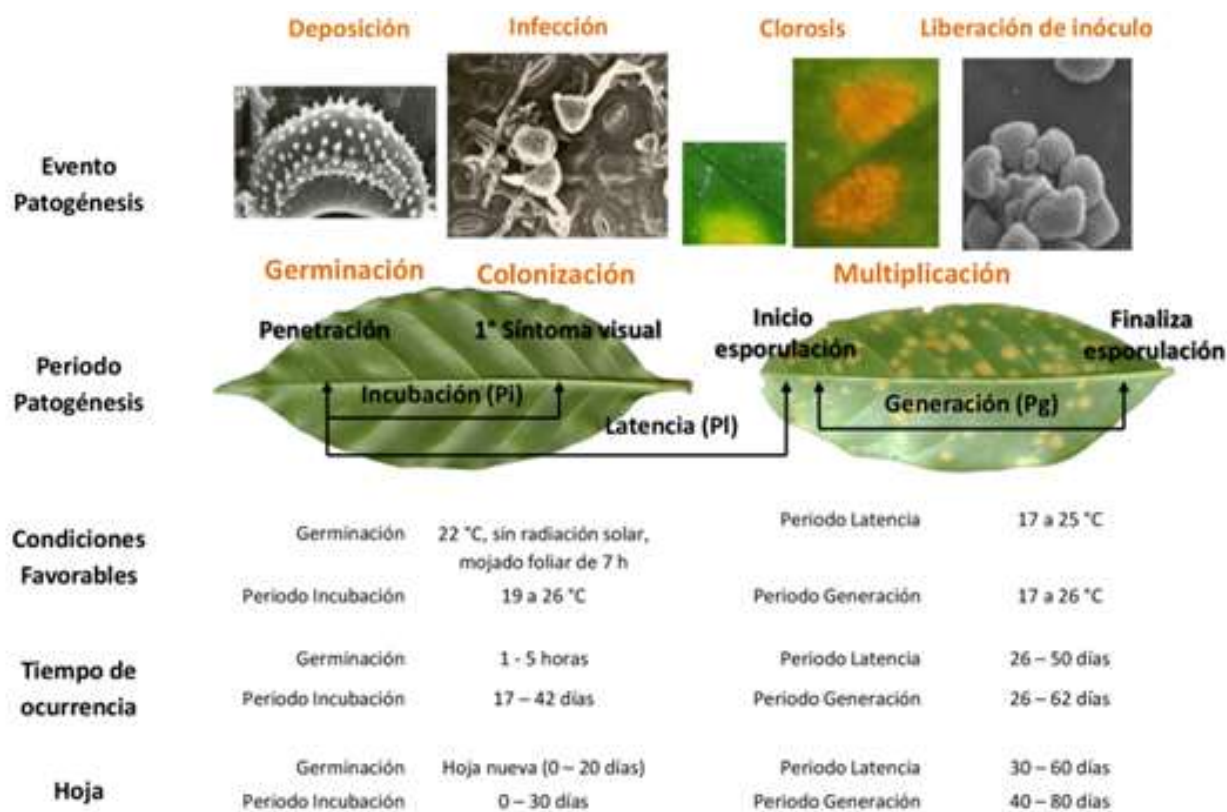


Figura 5 Periodos de patogénesis de Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix*) (SENASICA, 2016).

2.7.1 Germinación y Penetración

La germinación es la etapa de la patogénesis más estudiada. Puede lograrse en menos de 5 horas (Rayner, 1961), con menos de 6 horas en agua líquida la penetración no ocurre. Una duración en agua líquida de entre 24 y 48 horas es la condición óptima para que dicha penetración se logre (Kushalappa, 1989). La germinación ocurre con mayor frecuencia en la noche (Rayner, 1961). Las condiciones óptimas de Temperatura son de 22°C a 23°C (Nutman y Robert, 1963; Kushalappa, 1989). En México los recientes trabajos de vigilancia emplean los datos climáticos *in situ* en predios bajo el sistema, temperaturas entre 20-22°C, humedad

relativa >90% como determinantes para la estimación de horas favorables para la germinación del hongo acumulados entre las 12 de la noche y 8:30 de la mañana por la apertura estomática y la humedad de saturación (SENASICA, 2014).

En trabajos realizados por Capucho *et al.*, 2013, menciona que la temperatura ideal para la germinación *in vitro* de *H. vastatrix* en la variedad *Canephora* va de 22 a 24°C, con temperaturas para la infección de 21.6 a 23.6°C.

2.7.2 Infección

La penetración del hongo se efectúa por las estomas bien formados de la hoja. Lo anterior permite explicar que las hojas muy jóvenes cuya maduración de los estomas es incompleta son menos receptivas que las hojas adultas (Rivillas, 2013).

Ward (1881) logró la primera infección experimental. No se llevaron a cabo experimentos exactos para determinar el periodo mínimo en el que puede tener lugar la infección. En observaciones hechas en campo Rayner encontró que la germinación podría ocurrir hasta en 2 horas y 20 minutos (Rayner *et al.*, 1972).

2.7.3. Periodo de incubación

Ward (1881) llevó a cabo inoculaciones en plantas de café de diferentes orígenes y en hojas de diferentes edades. Con una temperatura de alrededor de 25.5°C, las infecciones podían detectarse primeramente como áreas amarillentas, pálidas, después de 10 a 16 días de la fecha de inoculación, pero más frecuentemente a los 14 días. En hojas jóvenes los primeros síntomas de infección podían apreciarse por término de los 10 a 11 días, mientras que se requerían 15 días para las hojas más viejas. Sin embargo, las hojas jóvenes pertenecían a plantas de diferente origen, en las cuales se inoculaban las hojas viejas, razón por la cual las diferencias podrían deberse también a otros factores además de la edad de la hoja.

2.7.4 Periodo de latencia

Aunque Rayner (1961) sugirió que el periodo de incubación se refiere al tiempo que comprende la penetración y una nueva esporulación, en realidad, el autor estimó el

periodo de latencia definido en los términos de este autor. Este periodo corresponde desde la infección hasta el inicio de la germinación. Nutman y Robert (1962) realizaron un experimento minucioso donde obtuvieron que el periodo comprende 21 días. Uno de los principales factores que lo afectan es la temperatura, a 25°C éste se acorta a 17.6 días con respecto a los 21.6 días que se requieren a 21°C (Leguizamón, 1983). Temperaturas arriba de los 40°C son letales (Ribeiro *et al.*, 1978).

Mayne (1932) estudió en el laboratorio el periodo de incubación en hojas separadas. Manchas amarillentas podían notar después de 7 a 12 días en café de la variedad Coorg (*arabica*) y después de 20 días en café Robusta, mientras que la formación de esporas comenzaba de 15 a 24 días y de 29 a 35 días respectivamente.

2.7.5 Sintomatología de la Roya del Cafeto

Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en el envés de las hojas, por donde penetra el hongo, consistiendo en pequeñas lesiones amarillas que con el tiempo producirán uredosporas de color anaranjado característico. Mientras que en el haz se distinguen manchas cloróticas. Cuando las pústulas envejecen, su centro muere, se torna color marrón oscuro y se seca. Antes de que el tejido foliar se torne marrón, las esporas pueden aparecer más pálidas en la masa central de la lesión, aunque esto no se debe necesariamente al envejecimiento de las esporas. La pérdida del color amarillento-anaranjado típico de las esporas puede acelerarse con la presencia de hongos parásitos de la roya del café, entre los que se han reportado para México: *Lecanicillium* sp. *Calcarisporium* spp., *Sporothrix* spp y *Simplicillium* spp, (Gómez- De la Cruz *et al.*, 2017). En etapas avanzadas del ataque, la mayor parte del área afectada de la lesión muere y solamente entre 5-10% generan áreas amarillas cerca del margen de la lesión portadoras de esporas, las cuales consisten en el inóculo primario del hongo (Rayner *et al.*, 1972.). La longevidad de una lesión esporulante puede alcanzar de 4 a 5 meses. Estas dependen de la duración de vida de las hojas. Se considera que una hoja puede vivir de unas cuantas semanas hasta más de un año dependiendo de la época del

año en la que emergió (Vasudeva y Gopal, 1975). La muerte de una hoja se acelera por la presencia de la roya anaranjada.

La curva de progreso de la enfermedad, avanza progresivamente tanto en el tiempo como en el espacio, con tres fases claramente reconocibles en procesos policíclicos, como el de la roya del cafeto (Jong *et al.*, 1987), que se representan en una curva de progreso en las dos dimensiones (Figura 6).

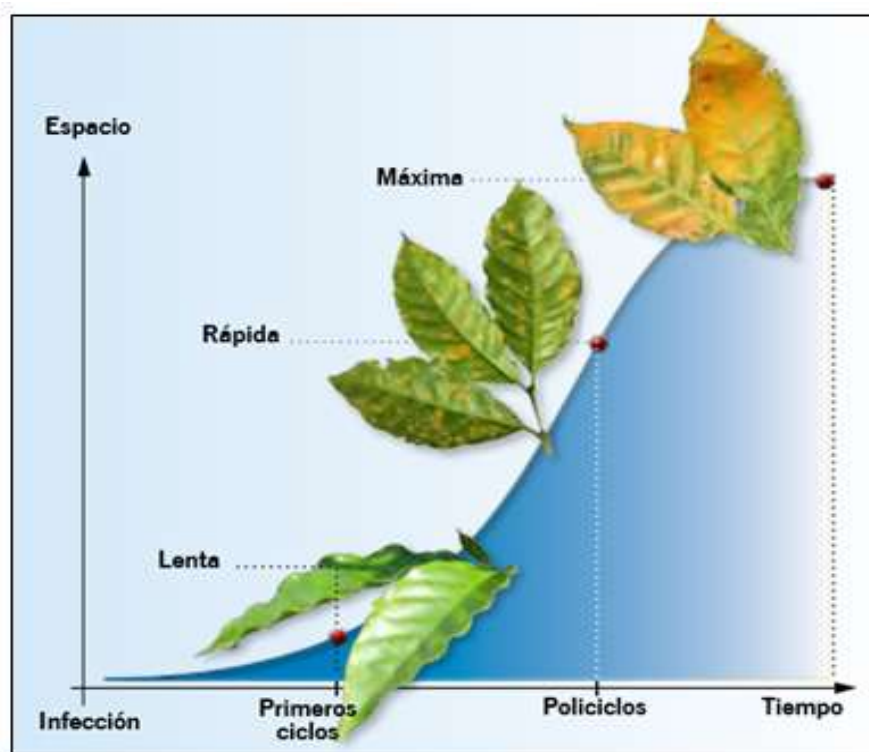


Figura 6 Fases de desarrollo de una epidemia causada por *H. vastatrix* en su hospedante (Cenicafé, 2014).

2.7.6 Diseminación de *Hemileia vastatrix*.

Durante la época de lluvias, es cuando se presenta la etapa de crecimiento vegetativo del cafeto. La probabilidad para que una espora alcance una hoja es elevada. Las lluvias intervienen de nuevo transportando las esporas hacia la cara inferior de las hojas, aunque si las lluvias son muy violentas, estas pueden eliminar las esporas por lavado (Kushalappa, 1989).

Las uredosporas se liberan en forma pasiva. Los principales agentes responsables son los factores ambientales físicos y biológicos, tales como el viento, la lluvia, animales e insectos. Los mismos agentes también influyen en la dispersión y deposición de esporas (Kushalappa, 1989). Las personas también se consideran como agentes de dispersión, considerando que la mayor cantidad de esporas se encuentra durante la época de cosecha (Becker, 1977).

En México, debido al reciente incremento epidémico de la roya del cafeto se realizó un estudio comparando y validando trampas pasivas, activas y volumétricas. Las trampas pasivas superaron a las trampas activas y volumétricas en la captura de esporas, por tanto, la mayor pérdida de esporas reportada fue por deposición lo que demuestra que la dispersión del hongo es multifactorial en comparación con otros mecanismos como impacto por viento y escurrimiento de agua de lluvia. (Mora-Aguilera *et al.*, 2014a). Lo que demuestra que la dispersión del hongo es multifactorial.

3. LITERATURA CITADA

Agrios G. N. 1986. Plant Pathology, Second edition. p. 484-486.

Alvarado, S.M., y G. Rojas. 1994. El cultivo y beneficiado del café. Editorial Universidad a Distancia San José Costa Rica. 85 p.

Asociación nacional del café (ANACAFÉ). 2015. Enfermedades y su control. Consultado 20 de noviembre de 2017: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_ControlEnfermedades.

Avelino J. 2006. Denominaciones de origen e indicaciones geográficas: Fundamentos y metodologías con ejemplos de Costa Rica, pp. 119-139. *In*: El cafetal del futuro: realidades y visiones. Costa Rica.

- Barquero M., M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* berk et br.). Instituto del café de Costa Rica. Centro de investigaciones en café (CICAPE) recomendaciones. 63p.
- Capucho A.S., Zambolim L., Cabral P. G. C., Maciel-Zambolim E. and Caixeta E.T. 2012. Climate favourability to leaf rust in Conilon coffee. Australasian Plant Pathology Society Inc.42:511-514 p.
- Castro F., R.; Harry C., E.; R. W., Barreto. 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. Tropical Plant Pathology, vol. 34, 2, 108-113 p.
- CENICAFE. 2008. Historia de la cafecultura en América. Consultado el 12 abril de 2017: <http://www.cenicafe.org/index.php?menuid=3>
- Durán R., F. 2009. Cultivo de café. Grupo Latino. Colombia. 512 p
- EPPO. 2014. EPPO Plant Protection Thesaurus, *Mycena citricolor*. EPPO Code System (formerly Bayer Code System) Available at <http://eppt.eppo.org/view.php?bcode=MYCECI> (Consulta: Diciembre de 2014).
- Escamilla P., E.; Díaz C., S. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo / Fundación produce de Veracruz, A. C. Huatusco, Veracruz, México. 64 p.

Estado de Oaxaca. 2017. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.

Consultado 12 abril de 2017:

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/index.html>

Fernandes, R.C., Evans, H.C., and Barreto, R.W., 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. *Tropical Plant Pathology* 34 (2): 108-113 p.

Gomez G., J. L. 2010. Evaluación del impacto provocado por la roya del café (*Hemileia vastatrix*), en los municipios de Zacapa y Gualan, departamento de Zacapa, 2013. 76 p.

Jong, E. J. De; Eskes, A. B.; Hoogstraten, J. G. J.; Zadoks, J. C. 1987. Temperature requirements for germination, germ tube growth and appressorium formation of urediospores of *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. 93p.

Kushalappa, A.C., 1989. Biology and epidemiology, in: Coffee rust: epidemiology, resistance and management. CRC Press: Florida. 16-80 P.

Marín C., G. 2012. Producción de cafés especiales. Manual Técnico. Lima: Equipo técnico del proyecto fondo empleo, programa selva central. 2012. 50p.

Mayne W. W., 1932. Physiological specialization of *Hemileia vastatrix* B. and Br. *Nature* 129(3257): 510 p.

Moguel, P.; V. M. Toledo. 1996. El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*. 1(43): 40-51

- Mora, A. G; Santana, P. B.; Acevedo, S.G.; Coria, J.J.; 2015. Calcula-HF v.1.0: estimación de horas favorables de inductividad epidémica debido a la germinación de uredosporas de *Hemileia vastatrix*. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Sup. 33 p.
- Nutman, F.J. y Roberts, F.M. 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. Kenya Coffee. 27: 273-279 P.
- Nutman, F.J., Roberts, F.M. and Clarke, R.T., 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. Transactions of the British Mycological Society. 46(1): 27-44 p.
- Rayner RW, 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). Annals of Applied Biology 49, 497-505 p.
- Rayner, R.W. y Hons, B.A. 1972. Micología, historia y biología de la roya del cafeto. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Regalado O. A. y Villanueva M. A. Enfermedades del cafeto. Publicado en El Cultivo del Cafeto en México. INMECAFE. p. 179-180.
- Rivillas, O. C., Serna, G. C., Cristancho, A. M. Y Gaitán, B. A. 2011. La Roya del Cafeto en Colombia (Impacto, manejos y costos del control, resultados de investigación). Centro Nacional de Investigación del Café (Cenicafé). Chinchiná, Caldas, Colombia. 53 p.

- Romero G., G. 2013. Desarrollos de marcadores funcionales ligados a la resistencia genética contra la roya del café. Universidad nacional de Colombia. 138p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Ficha técnica No. 40. Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. Dirección general de sanidad vegetal. Programa nacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria. México, D.F. 25 p.
- SENASICA, 2013. Desarrollo de un prototipo de trampa para uredosporas de roya del cafeto bajo los principios de impacto, deposición y escurrimiento. SAGARPADGSV CNRF.12p.
- Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria (SENASICA). 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome). Dirección general de sanidad vegetal-Sistema nacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria. México, D.F. Ficha técnica No. 40. 27 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2017. Cierre de producción de café cereza por estado 2015. en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado el 26 de abril del 2017.
- Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SNAVEF). 2015. Situación epidemiológica de la roya del cafeto y otros riesgos fitosanitarios asociados al cultivo del café en Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero. 16 p.

Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SNAVEF). 2013. Ficha técnica de la roya del cafeto. Dirección general de sanidad vegetal. 28 p.

CAPITULO II. MANEJO QUÍMICO EN CAFETO PARA EL CONTROL DE ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) EN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA.

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) es uno de los patógenos de plantas más importante, ya que es la enfermedad más destructiva del café, dañando a los árboles, provocando la caída prematura de sus hojas infectadas, causando así la disminución de la producción. Ante la necesidad de proteger al cultivo se ha buscado alternativas, para el control de dicho patógeno. En este estudio se evaluaron seis tratamientos, en donde se realizaron dos aplicaciones y 16 evaluaciones, durante el periodo de diciembre 2015 – enero 2016 y noviembre - diciembre de 2016. La evaluación de la severidad de roya se realizó conforme a la escala establecida por SENASICA en el 2013. Los tratamientos fueron a base de estrobilurina, triazol, cobre y un extracto vegetal. Los tratamientos que presentaron una menor severidad para el periodo de diciembre 2015 – enero 2016, fueron los triazoles (57-59%), estrobilurina (59%), cobre (64%) y *Melaleuca alternifolia* (64%). Mientras que para el periodo de noviembre – diciembre 2016, los tratamientos que presentaron una menor severidad fue la estrobilurina (52%), triazoles (55-58%), *Melaleuca alternifolia* (64%) y cobre (68%).

Los resultados demuestran que tanto la estrobilurina y los triazoles, son una alternativa buena para el control de *H. vastatrix*. El cobre y el extracto pueden aplicarse de manera preventiva.

Palabras clave: *Hemileia vastatrix*, estrobilurina, triazol, Cobre, *Melaleuca alternifolia*

Tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Florentina Hernández Gregorio

Director de Tesis: Nahum Marbán Mendoza

CHEMICAL HANDLING IN COFFEE TREE FOR THE CONTROL OF RUST(*Hemileia vastatrix* Berk & Br) IN CERRO ARMADILLO CHICO, OAXACA

ABSTRACT

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) is one of the most important plant pathogens that affects coffee cultivation in Mexico. It is considered economically important since it is the most destructive coffee disease, damaging the trees, causing the premature fall of their infected leaves and thus causing a decrease in production. In view of the need to protect the crop, alternatives have been sought for the control of said pathogen. In this study six treatments were evaluated, where two applications and 16 evaluations were carried out, during the period of December 2015 - January 2016 and November - December 2016. The evaluation of the rust severity was carried out according to the scale established by SENASICA in 2013. The treatments were based on strobilurin, triazole, copper and a plant extract. The treatments that had lower severity for the period of December 2015 - January 2016, were the triazoles (57-59%), strobilurin (59%), copper (64%) and *Melaleuca alternifolia* (64%). While for the period of November - December 2016, the treatments that had lower severity were strobilurin (52%), triazoles (55-58%), *Melaleuca alternifolia* (64%) and copper (68%). The results show that both strobilurin and triazoles are a good alternative for the control of *H. vastatrix*. Copper and extract can be applied preventively.

Keywords: *Hemileia vastatrix*, strobilurin, triazole, Copper, *Melaleuca alternifolia*.

Thesis of Master of Sciences in Plant Protection, Department of Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Florentina Hernández Gregorio

Thesis director: Nahum Marbán Mendoza

4. INTRODUCCION

El cafeto es originario de las montañas de Abisinia, África, en donde el clima imperante reporta una temperatura media anual de 17 a 20° C, de comportamiento isotermal y con precipitaciones anuales del orden de 1,500 a 2,000 mm. (Barrientos, 1990), el mismo autor señala que en México, el cafeto se cultiva desde la frontera con Guatemala hasta el estado de Nayarit.

Para nuestro país, el cultivo del café representa una actividad estratégica; emplea a más de 500 mil productores, en cerca de 690 mil hectáreas de 12 entidades federativas y 391 municipios; involucra exportaciones por 897 millones de dólares/año y es el principal productor de café orgánico del mundo, destinando a esta el 10% de la superficie; además, vincula directa e indirectamente a cerca de 3 millones de personas y genera un valor en el mercado de 20 mil millones de pesos por año.

En los últimos 4 años se dispone en campo de inventarios renovados por 450 millones de plantas, cuyos incrementos en producción se verán reflejados en 4 a 5 años (SAGARPA, 2013).

La producción predominantemente corresponde a la especie arábica y esta ha disminuido en los últimos diez años, debido entre otros motivos, a la disminución en el precio internacional, a la caída en su rendimiento por el agotamiento de los cafetos y a plagas como la roya, que actualmente afecta al cultivo.

5. MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

Localización

El municipio de San Juan Bautista Valle Nacional se localiza en las coordenadas 17° 46' latitud norte y 96° 18' longitud oeste, a una altura de 60 msnm. Limita al

norte con el municipio de San Lucas Ojitlán, y Santa María Jacatepec; al sur con Ixtlán de Juárez, Ayotzintepec; al este con Santa María Jacatepec; al oeste con San Felipe Jalapa de Usila (Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, 2017).

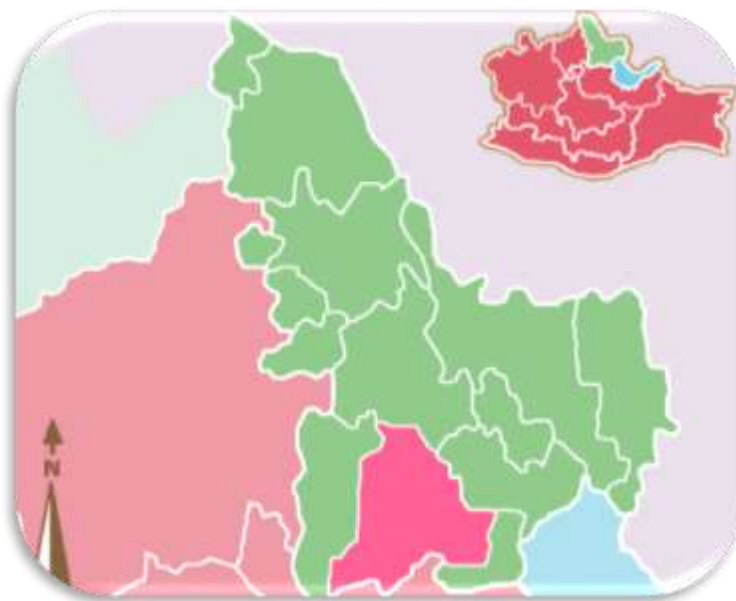


Figura 7 Ubicación del municipio de San Juan Bautista Valle Nacional, Oaxaca (Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, 2017).

El sitio del experimento se llevó acabo en la comunidad de Cerro Armadillo Chico del Municipio de San Juan Bautista Valle Nacional, Oaxaca (Figura 9), entre las coordenadas 17° 84' latitud norte y -96° 31' longitud oeste, a una altura de 680 msnm. Su clima es templado-húmedo con una temperatura promedio de 26.2 °C, su precipitación pluvial media anual es de 4 245.5 mm. (Google, Maps, 2017).

Dicho experimento se llevó a cabo en una parcela con cafeto de la variedad Caturra en etapa de fructificación y cosecha.



Figura 8 Ubicación del área de estudio (Google, maps,2017)

Establecimiento de los ensayos experimentales

El experimento se estableció el día 13 de diciembre de 2015. Se realizó una evaluación previa. Posteriormente se realizó la aplicación de los tratamientos el día 14 de diciembre de 2015, realizando evaluaciones cada cinco días, teniendo así siete evaluaciones, concluyendo las evaluaciones el 18 de enero de 2016.

Fue el mismo procedimiento para la segunda aplicación, iniciando esta en cinco de noviembre de 2016 y concluyendo las evaluaciones el 10 de diciembre del mismo año. Para este último, se cambió las fechas dados que las condiciones eran favorables para la aplicación.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para este trabajo fue de bloques completos al azar (DBCA), constituido por seis tratamientos y cuatro bloques.

Realización del croquis del experimento

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles, la aleatorización de los tratamientos se realizó conforme al cuadro 2

Cuadro 2 Distribución de tratamientos mediante aleatorización

BLOQUE	TRATAMIENTOS					
I	6	1	3	4	2	5
II	2	6	4	1	5	3
III	1	4	2	3	6	5
IV	4	2	5	6	3	1

Establecimiento del ensayo experimental

Las actividades durante el periodo de evaluación 2015 fueron realizadas en la en las últimas semanas de diciembre, lo cual consistió en realizar una división de las unidades experimentales y proceder al etiquetado de cada una de ellas, delimitando las cuatro plantas que conformarían a dicha unidad. Fue el mismo procedimiento para la segunda aplicación de los tratamientos en noviembre de 2016.

Descripción del experimento

Los tratamientos en estudio consistieron en la aplicación de los seis tratamientos (Cuadro 3), utilizando la plantación de café variedad Caturra, para el control de *Hemileia vastatrix*, bajo condiciones de campo en la comunidad de Cerro Armadillo Chico.

Se realizaron aplicaciones de fungicidas en cada una de las unidades experimentales el 14 de diciembre de 2015 y se utilizó equipo de aplicación de

mochila manual de la marca SOLO con capacidad de 25 L, realizando previa calibración del equipo de aplicación antes de cada aplicación.

Cuadro 3 Tratamientos evaluados para el control de *Hemileia vastatrix* Berk & Br, en cafeto.

N°	Ingrediente Activo	DOSIS DE APLICACIÓN L Ha ⁻¹	Volumen de aplicación
1	<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	600 L ha ⁻¹
2	Tebuconazol	0.6	600 L ha ⁻¹
3	Propiconazol	1.0	600 L ha ⁻¹
4	Oxicloruro de Cu	0.2	600 L ha ⁻¹
5	Azoxystrobin	0.5	600 L ha ⁻¹
6	Testigo	sin aplicar	sin aplicar

Cuadro 4 Información técnica de los productos

	Ingrediente Activo	Nombre Químico	Grupo Químico	Formulación	Concentración
TIMOREX GOLD®	Aceite del Árbol de Té. (<i>Melaleuca alternifolia</i>)	No listado	Fungicida biológico	Concentrado emulsionable	23.8 % equivalent e a 222.5 g de I.A./L.
Oxicloruro de cobre*	Oxicloruro de cobre	Oxicloruro de cobre	Oxicloruro de cobre	concentrado soluble	No menos del 85%, equivalent e a 500 g de I.A./kg.
FOLICUR ®	Tebuconazol	Propiconazol:2 -(4-cloro-fenil)- 3-ciclopropil-1	Triazol	Concentrado soluble	9.9%, equivalent e a 100 g de I.A. / L. e Propiconazol

TILT ®	Propiconazol	Propiconazol:2-(4-cloro-fenil)-3-ciclopropil-1-[1,2,4] triazol 1-il butano-2-ol	Triazol	Concentrado soluble	8.9%, equivalente a 100 g de I.A. / L. Propiconaz
AMISTAR ®	Azoxystrobin	(E)-2-{2-[6-(2-cianofenoxi)pirimidin-4-iloxi]fenil}-3-metoxiacrilato de metilo	Estrobilurina	Suspensión concentrada	95%, equivalente a 100 g de I.A./kg.

Método de evaluación de *Hemileia vastatrix* Berk & Br, en cafeto.

Se llevó a cabo una evaluación de diagnóstico antes de realizar la primera aplicación de los tratamientos en 2015, registrándose una infección promedio de 74.53% para el agente causal *H. vastatrix*, posteriormente se realizaron siete evaluaciones después de cada aplicación. Así mismo, para la segunda aplicación de tratamientos en 2016, la infección promedio en cafeto por el agente causal *H. vastatrix* fue de 81.82%, en evaluación diagnóstico.

Las evaluaciones, se realizaron con el uso de la escala establecida por SENASICA en 2013 (cuadro 5 y la figura 10) Para cada evaluación se tomaron hojas de cada unidad experimental, tomando cuatro hojas ya marcadas, en cada uno de los puntos cardinales de cada unidad para evaluar los daños en los folíolos.

Cuadro 5 Escala para evaluación del daño de *Hemileia vastatrix* Berk y Br (SINAVEF, 2013).

Índice	Hojas (% de daño)
0	Hoja sana sin síntomas visibles
1	1-5 % de área afectada
2	6-20 % de área afectada
3	21-50 % de área afectada
4	> 50% de área afectada

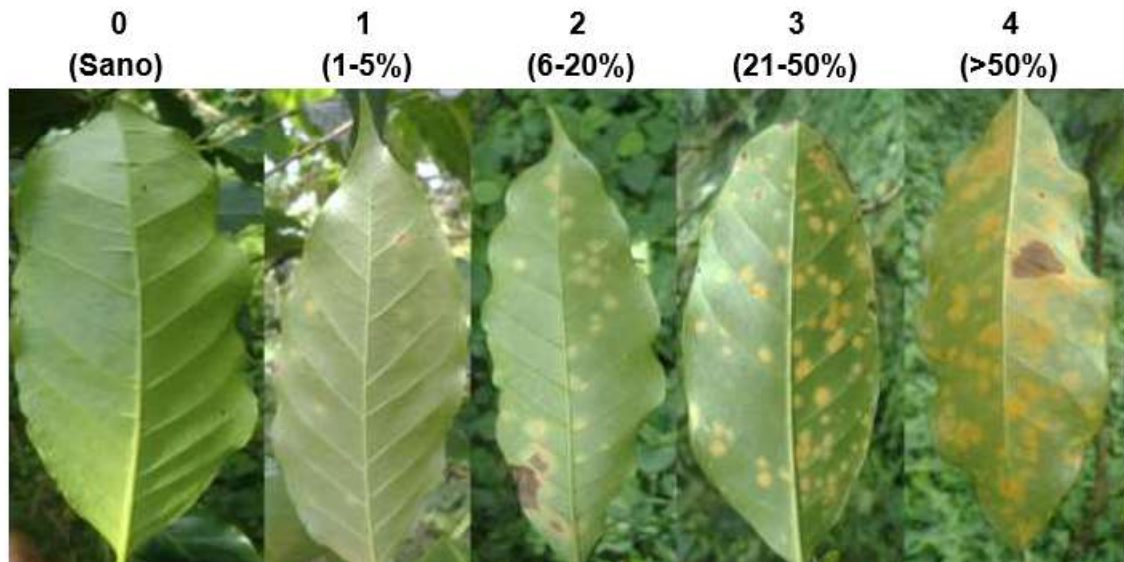


Figura 9 Guía para la evaluación del nivel de daño de *H. vastatrix* en campo. (SENASICA,2013)

Variables a evaluar

Los datos del nivel de infección obtenidos en campo por unidad experimental se transformaron a porcentaje de infección empleando la fórmula de Townsend y Heuberger (1943), para determinar la media ponderada de la severidad.

$$\% I = \sum \frac{n * V}{CM * N} * 100$$

Dónde:

% I = Porcentaje de infección

n = Numero de hojas por cada clase en la escala

V = Valor numérico de cada clase

CM = Categoría mayor de la escala

N = Número total de hojas en la muestra

Análisis estadístico de los datos

Una vez obtenidos los datos se aplicó un análisis, con la ayuda del programa de computación SAS (Statistical Analysis System), donde se realizaron análisis de varianza ($\alpha = 0.05$), al mismo tiempo se realizó la comparación de medias de LSD ($\alpha = 0.05$). Con el fin de poder identificar si estadísticamente existe algún tratamiento sobresaliente con respecto a las demás. Los análisis de varianza realizados, se elaboraron siguiendo el modelo estadístico correspondiente al diseño de bloques completos al azar.

6. RESULTADOS

Evaluación diagnóstico o previa 2015

Para la aplicación de los tratamientos en diciembre 2015, se llevó a cabo una evaluación de diagnóstico antes de realizar la aplicación de los tratamientos, registrándose una infección promedio de 74.53% del agente causal *H. vastatrix* Berk & Br.

Primera evaluación 2015

Con los datos obtenidos en esta evaluación (cuadro 6) se encontró que existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados, por lo que en la prueba de LSD se muestra que el ingrediente activo de Azoxystrobin y *Melaleuca alternifolia* se encuentran dentro del mismo grupo "AB", a diferencia del tratamiento (testigo) el cual quedó dentro del grupo "A" por poseer la media de infección más alta, misma que tiene una diferencia significativa con el resto de los tratamientos.

Mientras que el grupo de triazoles (Tebuconazol y Propiconazol) y el Oxiclورو de cobre, fueron los que mejor resultaron en esta primera evaluación.

Cuadro 6 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la primera evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	81.25	A
Azoxystrobin	0.5	76.87	AB
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	73.75	AB
Propiconazol	1.0	71.25	B
Oxicloruro de cobre	0.2	69.37	B
Tebuconazol	0.6	68.43	B

Segunda evaluación 2015

En esta evaluación (Cuadro 7), comparando los valores del porcentaje de severidad de cada uno de los tratamientos, se observó que aún no existen diferencias significativas entre los tratamientos, dentro de las primeras evaluaciones. Aunque sí existen diferencias en el porcentaje de infección, pero no es suficiente para una agrupación como tal. Aunque las mejores se encuentran los triazoles (Tebuconazol y Propiconazol) por ser sistémicos.

Cuadro 7 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la segunda evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	81.87	A

Azoxystrobin	0.5	78.75	AB
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	74.06	AB
Propiconazol	1.0	71.87	B
Oxicloruro de cobre	0.2	71.25	B
Tebuconazol	0.6	69.68	B

Tercera evaluación 2015

En la tercera evaluación, al considerar cada uno de los valores del porcentaje de severidad en la comparación de medias (LSD $\alpha = 0.05$) de cada uno de los tratamientos (Cuadro 8) estos indican que existe una diferencia numérica y estadística en el porcentaje de severidad para el tratamiento con *Melaleuca alternifolia*, fue el que presentó mayor porcentaje de severidad, mientras que Tebuconazol, Propiconazol y Azoxystrobin, están en la misma agrupación “B”.

Cuadro 8 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la tercera evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	82.81	A
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	73.12	AB
Tebuconazol	0.6	67.81	B
Propiconazol	1.0	67.50	B

Azoxystrobin	0.5	66.87	B
Oxicloruro de cobre	0.2	66.56	B

Cuarta evaluación 2015

En esta evaluación, comparando los valores del porcentaje de severidad de cada tratamiento (Cuadro 9), se apreció que no existe diferencias significativas dentro de los tratamientos evaluados. Tal indica que el efecto de los productos, son muy similares, por ello no hay una diferencia notable entre los tratamientos. Al igual que dentro de las siguientes dos evaluaciones, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 9 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la cuarta evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	84.37	A
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	66.56	B
Oxicloruro de cobre	0.2	65.62	B
Tebuconazol	0.6	65.62	B
Azoxystrobin	0.5	65.31	B
Propiconazol	1.0	64.68	B

Séptima evaluación 2015

En esta última evaluación, comparando los valores de medias de cada uno de los tratamientos (Cuadro 10), se apreció que estadísticamente los tratamientos que presentaron un mejor control sobre *H. vastatrix*, fueron los que tienen como ingrediente activo triazol y estrobilurina, por el contrario, se observó que el tratamiento a base de cobre y a base de extracto fueron los que presentaron un mayor porcentaje de severidad y por consiguiente una menor eficacia. En esta comparación de medias, se aprecia las diferencias que existe entre solamente entre el testigo y los tratamientos.

Cuadro 10 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la séptima evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	87.18	A
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	64.68	B
Oxicloruro de cobre	0.2	64.68	B
Azoxystrobin	0.5	59.68	BC
Tebuconazol	0.6	59.37	BC
Propiconazol	1.0	57.18	C

Evaluación diagnóstico o previa 2016

Los tratamientos aplicados de noviembre a diciembre 2016, se llevó a cabo una evaluación de diagnóstico antes de realizar la aplicación de los tratamientos,

registrándose una infección promedio de 81.82 % para el agente causal *H. vastatrix* Berk & Br.

Primera evaluación 2016

Con los datos obtenidos en esta evaluación (Cuadro 11), se encontró que existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados, por lo que en la prueba de LSD se muestra que el producto el testigo “A”, a diferencia de Azoxystrobin, *Melaleuca alternifolia*, Propiconazol y oxiclورو de cobre, las cuales quedaron dentro del grupo “AB” por poseer la media de infección intermedia, mientras que Tebuconazol (Triazol) es el que mejor resultó, para control de *H. vastatrix*, presentó un menor porcentaje de severidad, por lo que claramente se observó ese comportamiento.

Los resultados de la eficacia de control pueden considerarse bueno, puesto que la incidencia inicial de la enfermedad se encontraba muy alta.

Cuadro 11 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la primera evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	82.18	A
Azoxystrobin	0.5	80.31	AB
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	78.75	AB
Propiconazol	1.0	77.18	AB
Oxicloruro de cobre	0.2	74.37	AB
Tebuconazol	0.6	73.12	B

Segunda evaluación 2016

Con los datos obtenidos en esta segunda evaluación, se observa una diferencia significativa dentro de los tratamientos (Cuadro 12), quedando el extracto de *Melaleuca alternifolia*, igual que el Oxicloruro de Cobre, y Tebuconazol en una agrupación de LSD con la letra “AB”, mientras que el Propiconazol (triazol) y Azoxystrobin (Estrobilurina), son los que presentaron menor infección por lo tanto mayor eficacia de producto.

Cuadro 12 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la segunda evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	84.37	A
Tebuconazol	0.6	73.75	AB
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	73.43	AB
Oxicloruro de cobre	0.2	73.43	AB
Propiconazol	1.0	71.56	B
Azoxystrobin	0.5	68.75	B

Tercera evaluación 2016

En esta comparación de medias, se aprecia las diferencias que existe entre los tratamientos (Cuadro 13), se observa que la infección del testigo sigue en aumento. En los tratamientos el oxicloruro es el que presenta mayor infección por la enfermedad, seguido del Tebuconazol.

Mientras que *Melaleuca alternifolia* y Propiconazol queda en el mismo grupo “BC”, dejando al ingrediente activo de Azoxystrobin como la mejor en esta evaluación, por su acción curativa (Avelino *et al*, 2013).

Cuadro 13 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la tercera evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	86.25	A
Oxicloruro de cobre	0.2	71.25	B
Tebuconazol	0.6	70.00	B
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	69.06	BC
Propiconazol	1.0	65.62	BC
Azoxystrobin	0.5	62.81	C

Cuarta evaluación 2016

Con los datos obtenidos en esta cuarta evaluación se encontró que existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (Cuadro 14), por lo que en la prueba de LSD se muestra que el producto a base de extracto vegetal (*Melaleuca alternifolia*) tuvo una ligera diferencia. Propiconazol y Tebuconazol, las cuales quedaron dentro del grupo “BC”, estos ingredientes presentaron un menor porcentaje de severidad.

Los resultados de la eficacia de control pueden considerarse bueno, puesto que la incidencia inicial de la enfermedad se encontraba muy alta. Nuevamente dejando al

ingrediente activo de Azoxystrobin como la mejor, esto por su acción curativa (Avelino *et al*, 2013). Al igual en la quinta evaluación.

Cuadro 14 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la cuarta evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	86.87	A
Oxicloruro de cobre	0.2	70.00	B
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	66.87	BC
Tebuconazol	0.6	65.00	BC
Propiconazol	1.0	63.43	BC
Azoxystrobin	0.5	59.06	C

Sexta evaluación 2016

En esta sexta evaluación se encontró que existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (Cuadro 15), se muestra que el producto Oxicloruro de cobre fue que mayor infección presentó.

Y el extracto vegetal (*Melaleuca alternifolia*) quedando como el segundo con infección por la enfermedad. Propiconazol y Tebuconazol, las cuales quedaron dentro del grupo “CD”, estos triazoles presentaron menor porcentaje de severidad. Los resultados de la eficacia de control pueden considerarse buenas. Por su acción curativa el Azoxystrobin queda como el mejor tratamiento.

Cuadro 15 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la sexta evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	89.37	A
Oxicloruro de cobre	0.2	68.43	B
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	62.81	C
Tebuconazol	0.6	60.00	CD
Propiconazol	1.0	57.50	CD
Azoxystrobin	0.5	55.00	D

Séptima evaluación 2016

En la séptima evaluación al considerar cada uno de los valores del porcentaje de infección de los tratamientos (Cuadro 16) estos indicaron que existe una diferencia numérica y estadística en el porcentaje de medias. Se observa que el tratamiento de oxicloruro de cobre, es el que presentó un mayor porcentaje de severidad y por consiguiente una menor eficacia.

Quedando como el segundo tratamiento con importante infección es el extracto vegetal (*Melaleuca alternifolia*). Dentro de los triazoles el mejor fue el Propiconazol. Dentro de estas evaluaciones desde la segunda hasta la séptima evaluación el Azoxystrobin, quedó como el mejor tratamiento, con menor porcentaje de infección de roya.

Cuadro 16 Comparación de medias del porcentaje de infección de *H. vastatrix* en hojas de cafeto en la séptima evaluación.

Tratamientos	Dosis ha ⁻¹	% de infección (media)	Agrupación LSD ($\alpha=0.05$)
Testigo	----	71.25	A
Oxicloruro de cobre	0.2	68.75	AB
<i>Melaleuca alternifolia</i>	1.5	64.06	BC
Tebuconazol	0.6	58.43	CD
Propiconazol	1.0	55.31	DE
Azoxystrobin	0.5	52.50	E

7. DISCUSIÓN

Durante el transcurso del experimento, la infección en el testigo en los dos años, fue en aumento, dado que al inicio del presente trabajo la infección era del 73.45% y 81.82% respectivamente, mientras que, al término del trabajo de los dos años, el porcentaje de infección se elevó a 88.28% y a 94.37%, respectivamente. Por lo que se dieron las condiciones idóneas para un buen desarrollo de los patógenos antes mencionado.

Se pudo observar que tanto los triazoles como la estrobilurina, fueron de los tratamientos que presentaron un menor porcentaje de severidad y por lo tanto una mayor eficacia, en los dos años evaluados, tal como lo han demostrado ensayos realizados anteriormente por Avelino *et al.* (2013) y Campos *et al.* (2013).

Melaleuca alternifolia, a una dosis de 1.5 L ha⁻¹ tuvo un nivel de eficacia bueno, dentro de las primeras evaluaciones, se debe a que, por tratarse de un producto a base de un extracto vegetal, este puede aplicarse de manera preventiva para el control de *Hemileia vastatrix*, mostró un control de la enfermedad aun en condiciones de infección alta.

Los productos a base de cobre tienen propiedades protectoras en contra de las agresiones de los patógenos por sus efectos sobre la germinación. Estos han sido y siguen siendo utilizados para el control de la roya anaranjada (Muthappa y Bakre, 1976), en la evaluación del oxiclورو de cobre, tuvo buenos efectos, pero en las primeras evaluaciones, posteriormente fue disminuyendo el efecto, estos productos se lavan fácilmente cuando llueve intensamente (Rivillas *et al.*, 2011)

8. CONCLUSIONES

Después de los análisis realizados con base a la información colectada se concluye lo siguiente:

Tomando de referencia los porcentajes de infección inicial y final de los tratamientos, se puede concluir que los fungicidas evaluados tienen buen control sobre el patógeno, dado que en las unidades experimentales que se aplicaron los tratamientos, no hubo incremento de la enfermedad.

El control para *H. vastatrix*, es más necesario a medida que la planta tiene un potencial productivo más alto. Este debe hacerse en forma preventiva. Esto es esencial para los fungicidas protectores, pero también para los fungicidas curativos.

La aplicación individual de un producto sistémico y uno de contacto, hubo un comportamiento estadísticamente diferente a partir de la cuarta evaluación, bajo las condiciones en las que se desarrolló este estudio.

No debe perderse de vista que, para un control efectivo de la roya, no basta con usar un buen fungicida, sino se requiere de otros aspectos importantes como el uso de las dosis técnicamente recomendadas, muestreo, época de aplicación, personal capacitado, calibración de equipo y buena cobertura de aplicación.

Además de las acciones propias del control químico de la roya, debe considerarse un plan apropiado de manejo de las plantaciones evitando altas densidades para favorecer su control, todo esto acompañado de un adecuado programa de nutrición de las plantaciones basado en análisis de suelos.

Los fungicidas de contacto no son curativos, razón por la que su función es de carácter preventivo. Esta situación demanda un monitoreo estricto de la calidad de las aspersiones y de la frecuencia de las mismas.

9. LITERATURA CITADA

Agrios G. N. 1986. Plant Pathology, Second edition. p. 484-486.

Alvarado, S.M., y G. Rojas. 1994. El cultivo y beneficiado del café. Editorial Universidad a Distancia San José Costa Rica. 85 p.

Asociación nacional del café (ANACAFÉ). 2015. Enfermedades y su control. Consultado 20 de noviembre de 2017: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_ControlEnfermedades.

Avelino J. 2006. Denominaciones de origen e indicaciones geográficas: Fundamentos y metodologías con ejemplos de Costa Rica, pp. 119-139. *In*: El cafetal del futuro: realidades y visiones. Costa Rica.

Barquero M., M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* berk et br.). Instituto del café de Costa Rica. Centro de investigaciones en café (CICAFE) recomendaciones. 63p.

Capucho A.S., Zambolim L., Cabral P. G. C., Maciel-Zambolim E. and Caixeta E.T. 2012. Climate favourability to leaf rust in Conilon coffee. *Sustralasian Plant Pathology Society Inc.* 42:511-514 p.

- Castro F., R.; Harry C., E.; R. W., Barreto. 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. *Tropical Plant Pathology*, vol. 34, 2, 108-113 p.
- CENICAFE. 2008. Historia de la cafecultura en América. Consultado el 12 abril de 2017: <http://www.cenicafe.org/index.php?menuid=3>
- Durán R., F. 2009. Cultivo de café. Grupo Latino. Colombia. 512 p
- EPPO. 2014. EPPO Plant Protection Thesaurus, *Mycena citricolor*. EPPO Code System (formerly Bayer Code System) Available at <http://eppt.eppo.org/view.php?bcode=MYCECI> (Consulta: Diciembre de 2014).
- Escamilla P., E.; Díaz C., S. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo / Fundación produce de Veracruz, A. C. Huatusco, Veracruz, México. 64 p.
- Estado de Oaxaca. 2017. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Consultado 12 abril de 2017: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/index.html>
- Fernandes, R.C., Evans, H.C., and Barreto, R.W., 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. *Tropical Plant Pathology* 34 (2): 108-113 p.

- Gomez G., J. L. 2010. Evaluación del impacto provocado por la roya del café (*Hemileia vastatrix*), en los municipios de Zacapa y Gualan, departamento de Zacapa, 2013. 76 p.
- Jong, E. J. De; Eskes, A. B.; Hoogstraten, J. G. J.; Zadoks, J. C. 1987. Temperature requirements for germination, germ tube growth and appressorium formation of urediospores of *Hemileia vastatrix*. Netherlands Journal of Plant Pathology. 93p.
- Kushalappa, A.C., 1989. Biology and epidemiology, in: Coffee rust: epidemiology, resistance and management. CRC Press: Florida. 16-80 P.
- Marín C., G. 2012. Producción de cafés especiales. Manual Técnico. Lima: Equipo técnico del proyecto fondo empleo, programa selva central. 2012. 50p.
- Mayne W. W., 1932. Physiological specialization of *Hemileia vastatrix* B. and Br. Nature 129(3257): 510 p.
- Moguel, P.; V. M. Toledo. 1996. El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias. 1(43): 40-51
- Mora, A. G; Santana, P. B.; Acevedo, S.G.; Coria, J.J.; 2015. Calcula-HF v.1.0: estimación de horas favorables de inductividad epidémica debido a la germinación de uredosporas de *Hemileia vastatrix*. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Sup. 33 p.
- Muthappa, B.N. y Bakre, S.G., 1976. Efficacy of Bordeaux mixture of varying pH on coffee leaf rust control. Indian Coffee. XL(10-11): 301-304 .

- Narayana, M.R., 2013. Do coffee varieties and shade trees matter for management of leaf rust disease in India. Evidence for household farmers. *Forests, Trees and Livelihoods*. 22(4): 275-288.
- Nutman, F.J. y Roberts, F.M. 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. *Kenya Coffee*. 27: 273-279 P.
- Nutman, F.J., Roberts, F.M. and Clarke, R.T., 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Transactions of the British Mycological Society*. 46(1): 27-44 p.
- Rayner RW, 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). *Annals of Applied Biology* 49, 497-505 p.
- Rayner, R.W. y Hons, B.A. 1972. *Micología, historia y biología de la roya del cafeto*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Regalado O. A. y Villanueva M. A. Enfermedades del cafeto. Publicado en *El Cultivo del Cafeto en México*. INMECAFE. p. 179-180.
- Rivillas Osorio, C.A., Serna Giraldo, C.A., Cristancho Ardila, M.A., y Gaitan Bustamante, A.L., 2011. *La roya del cafeto en Colombia - Impacto, manejo y costos del control*, Chinchiná, Caldas, Colombia: CENICAFE. 51 p.
- Rivillas, O. C., Serna, G. C., Cristancho, A. M. Y Gaitán, B. A. 2011. *La Roya del Cafeto en Colombia (Impacto, manejos y costos del control, resultados de*

- investigación). Centro Nacional de Investigación del Café (Cenicafé). Chinchiná, Caldas, Colombia. 53 p.
- Romero G., G. 2013. Desarrollos de marcadores funcionales ligados a la resistencia genética contra la roya del café. Universidad nacional de Colombia. 138p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Ficha técnica No. 40. Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. Dirección general de sanidad vegetal. Programa nacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria. México, D.F. 25 p.
- SENASICA, 2013. Desarrollo de un prototipo de trampa para uredosporas de roya del cafeto bajo los principios de impacto, deposición y escurrimiento. SAGARPADGSV CNRF.12p.
- Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria (SENASICA). 2013. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome). Dirección general de sanidad vegetal-Sistema nacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria. México, D.F. Ficha técnica No. 40. 27 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2017. Cierre de producción de café cereza por estado 2015. en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado el 26 de abril del 2017.
- Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SNAVEF). 2015. Situación epidemiológica de la roya del cafeto y otros riesgos fitosanitarios

asociados al cultivo del café en Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero. 16 p.

Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SNAVEF). 2013. Ficha técnica de la roya del cafeto. Dirección general de sanidad vegetal. 28 p.