

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



**EPIDEMIOLOGÍA DE LA ROYA DEL CAFÉ CAUSADA POR
Hemileia vastatrix Berk. & Br., EN LAS REGIONES CENTRAL Y
SUR OCCIDENTAL DE GUATEMALA, C.A.**

GABRIELA DEL CARMEN CALDERÓN ESTRADA

Guatemala, julio 2012

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

**EPIDEMIOLOGÍA DE LA ROYA DEL CAFÉ CAUSADA POR
Hemileia vastatrix Berk. & Br., EN LAS REGIONES CENTRAL Y
SUR OCCIDENTAL DE GUATEMALA, C.A.**

TESIS

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

POR

GABRIELA DEL CARMEN CALDERÓN ESTRADA

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL AGRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Dr. LAURIANO FIGUEROA QUIÑONEZ
VOCAL PRIMERO:	Dr. ARIEL ABDERRAMÁN ORTÍZ
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. MSc. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. MSc. OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL CUARTO:	Br. ANA ISABEL FION RUIZ
VOCAL QUINTO:	Br. LUIS ROBERTO ORELLANA LÓPEZ
SECRETARIO:	Ing. Agr. CARLOS ROBERTO ECHEVERRÍA ESCOBEDO

Guatemala, julio 2012.

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

Distinguidos Señores:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someterme a consideración de ustedes, el trabajo de tesis titulado:

**“EPIDEMIOLOGÍA DE LA ROYA DEL CAFÉ CAUSADA POR *Hemileia vastatrix* Berk. & Br.,
EN LAS REGIONES CENTRAL Y SUR OCCIDENTAL DE GUATEMALA, C.A.”**

Presentándolo como requisito previo a optar por el título profesional de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación merezca su aprobación, me es grato presentarles las muestras de mi más alta consideración.

Respetuosamente,

Gabriela del Carmen Calderón Estrada

TESIS QUE DEDICO

- DIOS** Ser supremo que guió mis pasos, me dio fuerza y sabiduría para luchar contra las adversidades y alcanzar mis objetivos.
- MIS PADRES** Lidia Irene Estrada de Calderón por tu abnegado amor, enseñanzas y regaños que me hicieron una mejor persona.
Juan Alberto Calderón García por llenar mi vida de sabios consejos y enseñanzas que han formado mi carácter. Los amo por ser incondicionales con migo, gracias por todo.
- MIS HERMANOS** Oscar Benjamín Calderón, gracias hermano por permitirme aprender que en las adversidades se demuestra el amor incondicional. María Isabel Calderón, por su cariño y valentía para afrontar las dificultades. A los dos por su apoyo incondicional por llenar mi vida de buenos recuerdos, cariño y enseñanzas los quiero mucho.
- A MI SOBRINO** José Benjamín Calderón por ser el niño de mis alegrías, tu cariño incondicional y sincero ha sido motivo para ser ejemplo en tu vida.
- MIS TIOS** Benjamín F. Calderón, porque tu vida y tus triunfos han sido un ejemplo para mí, José A. Calderón, por sus consejos positivos para mi vida y Ana Isabel Calderón, por el cariño que has brindando a mi vida.
- MIS PRIMOS** Pablo Calderón, Rony Calderón, por su cariño y afecto brindado en cada momento. Fernando Calderón por tu amor incondicional y en especial a Gabriel Calderón (Q.E.P.D.), porque me ensañaste que todo es posible con esfuerzo y perseverancia porque para mí tu vida es ejemplo te amo y sé que cuidas de mí todos los días.
- MIS AMIGOS** La promoción 46 del I.A.V.H.C., de la universidad y los de trabajo, todos forman parte de mi vida, me llenan de afecto, sonrisas, enseñanzas y amistad incondicional lo que ha forjado mi carácter, gracias porque con ustedes sé que la amistad perdura a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

DIOS

Por todas las bendiciones que has derramado en mi vida y por permitirme llegar a esta meta tan importante.

MI FAMILIA

Base fundamental de mi vida, por llenarme de seguridad, darme apoyo incondicional y enseñanzas que han formado mi carácter.

MI PATRIA

País por el que lucharé para ayudar con el desarrollo agrícola con profesionalismo y ética.

UNIVERSIDAD

San Carlos de Guatemala, centro de educación superior que me brindó la oportunidad de formar mi carrera profesional.

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por formarme profesionalmente en el campo agrícola.

ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ

Que con su aporte favorecen el desarrollo de la caficultura nacional. En especial al Dr. Francisco Anzueto por su amistad, apoyo y valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Dr. EDIN OROZCO

Por su apoyo, guía y comprensión para el desarrollo de esta investigación.

Dr. GUSTAVO MORA

Por su amistad y valiosa colaboración en esta investigación.

A LAS FINCAS

Rosario, Sabana Grande, El Faro, La Candelaria, El Parraxe, Las Casas y Los Andes, por su valiosa colaboración brindada en el desarrollo de esta investigación, su aporte es para el desarrollo de la caficultura.

CONTENIDO		PÁGINA
CONTENIDO		vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....		ix
ÍNDICE DE CUADROS		xi
1 INTRODUCCIÓN		1
2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA		3
3 JUSTIFICACIÓN.....		4
4 MARCO TEÓRICO		5
4.1 Marco conceptual		5
4.1.1 Resumen histórico del cultivo del café.....		5
4.1.2 Importancia económica.....		5
4.1.3 Morfología del cafeto		6
4.1.3.1 Caracteres botánicos del café		6
4.1.3.2 Floración.....		6
4.1.3.3 Raíz.....		7
4.1.3.4 Tallo y hojas		7
4.1.3.5 Fruto.....		8
4.1.3.6 Semilla y germinación		8
4.1.3.7 Propagación		8
4.1.4 Especies y variedades del cafeto		10
4.1.5 Agroecosistema cafetalero		12
4.1.6 Enfermedades del café.....		13
4.1.7 La roya del cafeto		13
4.1.7.1 Agente etiológico.....		13
4.1.7.2 Biología de la roya del cafeto		14
4.1.7.3 Germinación de la roya del cafeto.....		15
4.1.7.4 Penetración de la roya del cafeto		15
4.1.7.5 Periodo de incubación.....		16
4.1.7.6 Esporulación de la roya del cafeto.....		16
4.1.7.7 Sintomatología de la roya del cafeto		17
4.1.7.8 Epidemiología de la roya del cafeto.....		18
4.1.7.8.1 Diseminación de la roya del cafeto a través del viento.....		18
4.1.7.8.2 Diseminación de la roya del cafeto a través del agua.....		18
4.1.7.8.3 Los insectos y la diseminación de la roya.....		19
4.1.7.8.4 Otros medios de diseminación de la roya.....		19

4.1.7.9	Factores que afectan el desarrollo de la roya del cafeto	19
4.1.7.9.1	Factores bióticos.....	20
4.1.7.9.2	Edad de la Hoja	20
4.1.7.9.3	Control genético.....	21
4.1.7.9.4	Factores abióticos.....	21
4.1.7.9.5	Efecto de la temperatura	22
4.1.7.9.6	Efecto de la luz	22
4.1.7.9.7	Efecto de la humedad	23
4.1.8	Cuantificación de una epidemia.....	23
4.1.8.1	Incidencia.	24
4.1.8.2	Severidad	24
4.1.9	Sistemas visuales de medición de severidad	25
4.1.10	Sistemas automatizados de medición de severidad.....	25
4.1.11	Análisis temporal de una epidemia	25
4.1.12	Análisis espacial de una epidemia.....	26
4.1.13	Manejo del cultivo de café	27
4.1.13.1	La sombra del cafetal	27
4.1.13.2	Funciones de la sombra	27
4.1.13.3	Características deseables de los árboles de sombra	27
4.1.13.4	Tipos de árboles de sombra	28
4.1.13.5	Épocas de manejo de sombra.....	28
4.1.13.6	Densidades de sombra.....	29
4.1.13.7	Especies de árboles de sombra utilizados en Guatemala	29
4.1.13.8	Clima	30
4.1.13.9	Límites térmicos para el cultivo de Coffea arabica	30
4.1.13.10	Límites Hídricos para el cultivo de Coffea arabica	30
4.1.13.11	Fases Fenológicas del cultivo de Coffea arabica	30
4.1.13.12	Manejo del suelo	31
4.1.14	Fertilización	31
4.1.15	Poda del café.....	32
4.1.15.1	Manejo del tejido productivo.....	33
4.1.16	Malezas	33
4.1.16.1	Manejo de malezas	34
4.1.16.2	Clasificación de los herbicidas	34

4.1.17	Manejo de enfermedades	35
4.1.17.1	Control Biológico	35
4.1.17.2	Control Cultural.....	35
4.1.17.3	Control químico	35
4.1.17.4	Tratamiento Preventivo	35
4.1.17.5	Tratamiento curativo.....	36
4.1.17.6	Vía suelo	36
4.1.18	Manejo de Plagas.....	36
4.1.18.1	Gusano minador (<i>Leucoptera coffella</i>)	36
4.1.18.2	Áfido	36
4.1.18.3	Escamas.....	37
4.1.18.4	Broca (<i>Hypothenemus hampei</i> (Ferr)).....	37
4.1.19	Cosecha del café	37
4.2	Marco referencial	39
4.2.1	Área de Estudio	39
4.2.2	Condiciones climáticas	39
5	OBJETIVOS.....	40
5.1	General.....	40
5.2	Específicos	40
6	HIPÓTESIS.....	41
7	METODOLOGÍA	42
7.1	Cuantificación de la roya del cafeto	42
7.2	Describir aspectos relacionados a la biología de <i>H. vastatrix</i>	43
7.3	Listar las variedades de café y su relación con la roya del cafeto	43
7.4	Manejo del cultivo de café y su relación con la roya del cafeto	43
7.5	Análisis de la información	43
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
8.1	Cuantificación de la roya del cafeto	45
8.1.1	Cuantificación de la roya en el estrato alto	47
8.1.2	Cuantificación de la roya en el estrato medio	50
8.1.3	Cuantificación de la roya del café en el estrato bajo.....	55
8.1.4	Análisis de área bajo la curva de la roya del café.....	59
8.1.5	Determinación del modelo para datos de curvas de progreso de la roya del café.	60
8.2	Aspectos relacionados a la biología de <i>Hemileia vastatrix</i>	62
8.2.1	Análisis del comportamiento del inoculo primario y secundario de <i>Hemileia vastatrix</i> en hojas en laboratorio	62
8.2.2	Análisis del comportamiento de <i>Hemileia vastatrix</i> en ramas de café en campo.	71

PÁGINA

8.2.3	Relación de la roya respecto a la fenología del cafeto	78
8.2.4	Variedades de café y su relación con la roya del cafeto	82
8.3	Manejo del cultivo de café y su relación con la roya del cafeto	84
9	CONCLUSIONES	88
10	RECOMENDACIONES.....	89
11	BIBLIOGRAFÍA.....	90
12	ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Exportación de café de Guatemala cosechas 1996/1997–2010/2011.....	6
Figura 2	Agroecosistema del Café con sombra para Guatemala	12
Figura 3	Arreglo espacial de la parcela de muestreo para cuantificación de la enfermedad roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> , para cada localidad de muestreo. 2009 - 2010.....	42
Figura 4	Curvas del progreso de la roya del café, en los métodos de muestreo para cuantificación de incidencia de roya: en plantas, línea naranja (INCIDENCIA) y en hojas de ramas del estrato medio y bajo de la planta de café, línea roja (# T.H. ROYA). Se observa relación entre curvas cuando hay uniformidad de la enfermedad. Ej. Unidad de muestreo El Palmar, Quetzaltenango (c.), en unidades restantes la dispersión es agregada.....	46
Figura 5	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 1185 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 02/10/2009 al 18/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Palmar, Quetzaltenango, 2009 – 2010.	48
Figura 6	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 1200 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 20/03/2009 al 27/02/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, San Juan Alotenango, Sacatepéquez. 2009 - 2010.....	49
Figura 7	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 800 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 01/05/2009 al 20/08/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Samayac, Suchitepéquez. 2009 – 2010.....	51
Figura 8	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 935 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 28/08/2009 a 18/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Palmar, Quetzaltenango. 2009 – 2010.	52
Figura 9	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 536 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 20/08/2009 a 21/08/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Coatepeque, Quetzaltenango. 2009 – 2010.	56

Figura 10	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 654 m. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 31/03/2009 a 27/02/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. 2009 – 2010.....	57
Figura 11	Estudio de epidemiología de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> a 770 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 06/06/2009 a 19/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Tumbador, San Marcos.	58
Figura 12	Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café. Estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> , en las regiones central y suroccidental de Guatemala. 2009 – 2010.	60
Figura 13	a. Síntomas de roya en el haz de hojas. b. Hoja de café con pústulas de roya unidas. c. defoliación ocasionada por roya.	62
Figura 14	Relación del diámetro de pústulas de <i>H. vastatrix</i> (línea) versus pústulas totales, según estrato altitudinal. Estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> . 2009-2010.	63
Figura 15	Curvas del progreso de la formación de pústulas según tipo de inóculo; pústulas con lesión/inóculo primario (PÚSTULAS 1°) y pústulas nuevas/inóculo secundario (PÚSTULAS 2°), en unidades de muestreo según altitud: a. ubicada a 536 m en Coatepeque, Quetzaltenango, b. ubicada a 654 m en El Rodeo, Escuintla, c. ubicada a 770 m en El Tumbador, San Marcos, d. ubicada a 800 m en Samayac, Suchitepéquez y e. ubicada a 935 m en El Palmar, Quetzaltenango, 2009-2010.	69
Figura 16	Comparación de curvas del progreso de formación de pústulas según tipo de inóculo: a. curva de pústulas viejas/primario, b. curva de pústulas nuevas/secundario y c. curva del periodo de incubación, en estratos altitudinales bajo, medio y alto, 2009 – 2010.....	70
Figura 17	Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en Coatepeque, Quetzaltenango a 536 msnm. 2009 – 2010.....	72
Figura 18	Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en El Rodeo, Escuintla a 654 m. 2009 – 2010.	73
Figura 19	Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en El Tumbador, San Marcos a 770 m. 2009 – 2010.....	74
Figura 20	Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de	

	hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en Samayac, Suchitepéquez a 800 m. 2009 – 2010.....	75
Figura 21	Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo en El Palmar, Quetzaltenango a 935 m. 2009 – 2010.	76
Figura 22	Curva del progreso de la roya del café ocasionada por <i>Hemileia vastatrix</i> (línea naranja) versus fenología de la planta de café (<i>Coffea arabica</i>) y precipitación bajo las condiciones de El Palmar, Quetzaltenango a 1182 m.....	79
Figura 23	Curva del progreso de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> (línea naranja) versus fenología de la planta de café (<i>Coffea arabica</i>) y precipitación bajo las condiciones de Samayac, Suchitepéquez a 800 m.	80
Figura 24	Uso de variedades de café en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011.	83
Figura 25	Distanciamientos de siembra de café utilizados por productores de San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió. ..	84
Figura 26	a. Sistema de poda y b. número de ejes por planta, en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió. ..	85
Figura 27	Uso de fungicidas para el control de la roya del café, a. Fungicidas según modo de acción, b. fungicidas de tipo sistémicos y c. fungicidas de contacto, utilizados por caficultores en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió.	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Datos de geo referencia y altitud de las unidades de muestreo para el estudio epidemiológico de la roya del café causada por <i>H. vastatrix</i> . 2009 – 2010.	39
Cuadro 2	Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato alto, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> . 2009 – 2010.....	47
Cuadro 3	Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato medio, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> . 2009 – 2010.	50
Cuadro 4	Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato bajo, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> . 2009 – 2010.....	55
Cuadro 5	Curvas del progreso de tipo Monomolecular causadas por <i>Hemileia vastatrix</i> en café (<i>Coffea arabica</i>) en localidades de muestreo: a. Coatepeque, Quetzaltenango a 536 m, b. El Rodeo, Escuintla a 654 m, c. El Tumbador, San Marcos a 770 m, d. Samayac, Suchitepéquez a 800 m, e. El Palmar, Quetzaltenango a 1182 m y f. San Juan Alotenango, Sacatepéquez. 2009 - 2010.....	61

Cuadro 6	Datos de pasaporte de las localidades de muestreo para el estudio del inóculo primario y secundario producido por <i>H. vastatrix</i> , en el estudio epidemiológico de la roya del café. 2009 – 2010.	64
Cuadro 7	Datos de pasaporte de las localidades de muestreo para el estudio de la biología de la roya, 2009 – 2010.	71
Cuadro 8	Principales etapas fenológicas del café observadas en las localidades en el estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por <i>H. vastatrix</i> . 2009 – 2010.	78
Cuadro 9	Variedades de café empleadas en cada localidad de muestreo e incidencia máxima de roya del café ocasionado por <i>H. vastatrix</i> , en el estudio de la epidemiología de la enfermedad, 2009 – 2010.	82

EPIDEMIOLOGÍA DE LA ROYA DEL CAFÉ OCASIONADA POR *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., EN LAS REGIONES CENTRAL Y SUR OCCIDENTAL DE GUATEMALA.

EPIDEMIOLOGY OF COFFEE RUST CAUSED BY *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., IN THE CENTRAL AND SOUTH WESTERN REGIONS OF GUATEMALA.

RESUMEN

La roya del cafeto causada por *Hemileia vastatrix*, se citó por primera vez en Guatemala en 1980 en plantaciones de café (*Coffea arabica*). Durante los años 2005 al 2010, se consideró como limitante en la producción de café en varias regiones del país y ha tenido rápida expansión hacia las zonas altas de producción. El hongo, produce soros en donde se localizan las uredinosporas, las cuales son de color naranja y se localizan en el envés de las hojas. Es parásito obligado y el inóculo primario del hongo sobrevive en lesiones de hojas adultas. Cuando el ataque es severo, provoca defoliación y pérdidas. Son escasos los estudios relacionados al problema y se desconoce mucho de la epidemiología de la enfermedad.

En estudios realizados en ANACAFE, se relata que la roya del cafeto afecta en los meses de octubre a mayo. La enfermedad es importante en plantaciones ubicadas en altitudes de 500 a 1000 m. Sin embargo, esto ha cambiado a la fecha y es problema en altitudes mayores. Factores como sombra, mojado foliar, luz, precipitación, temperatura, variedad y manejo del cultivo, entre otros, interactúan entre sí y evitan o favorecen el desarrollo del hongo y apareamiento de la enfermedad en las plantaciones de café. El ambiente donde se produce el cultivo, primordialmente es bajo sombra, en zonas altas en varios microclimas y diferentes sistemas de manejo. En Guatemala, no se realiza fitomejoramiento pero existen variedades con resistencia a roya.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar los principales factores epidemiológicos que favorecen la aparición de *H. vastatrix*, en plantaciones de café en distintas altitudes en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla en plantaciones de café de agricultores. La investigación constituyó un estudio exploratorio y descriptivo del patosistema, lo cual es importante para generar líneas de investigación así como para brindar recomendaciones de manejo que permitan superar el problema. Para la cuantificación de la enfermedad se emplearon dos métodos, a través lectura 192 plantas de una parcela delimitada y

fija para todo el estudio y el conteo de hojas enfermas en dos ramas plagiotrópicas de la parte media y baja de la planta, en donde se determinó incidencia y severidad de la roya del café. Las lecturas se efectuaron a cada 30 días, en algunas ocasiones en épocas críticas, el tiempo fue menor. Se recolectaron hojas con roya en campo para el estudio del tipo de inóculo, presencia de hiperparásitos y cuantificación de lesiones en el laboratorio. Con la información obtenida, se hizo análisis espacial y temporal de la enfermedad. A partir de la encuesta realizada a agricultores, se obtuvo información del manejo del cultivo de café y de registro climático.

Se concluyó que la roya del café afecta plantaciones ubicadas entre los 500 – 1200 m de altitud. Sin embargo, el estrato de producción de café ubicado entre 700 a 1200 m con variedades susceptibles, ambiente favorable y alto inóculo primario del ciclo anterior, es el más importante y afectado. El patrón temporal y espacial de la enfermedad fue diferente entre las localidades estudiadas. Las máximas tasas de incremento e intensidad de roya fueron durante las etapas fenológicas de llenado, maduración y cosecha de frutos. La máxima tasa de incremento de roya registrada fue de 1.8 plantas por día con incidencia de 89% de roya bajo las condiciones de Coatepeque, Quetzaltenango a 536 m de altitud en plantas de la variedad caturra y la menor fue 0.13 plantas por día con incidencia de 15% de roya bajo las condiciones de El Palmar, Quetzaltenango a 1182 m de altitud en plantas de la variedad catimor que es resistente. Se observó que la roya varía en intensidad según la altitud y los daños o épocas críticas fue durante los meses de maduración y cosecha de frutos. El patrón temporal y espacial de la enfermedad fue diferente entre localidades. En la biología del hongo, los principales síntomas asociados a la enfermedad en café constituyen: la esporulación del hongo a partir de lesiones en hojas maduras o inóculo primario, luego el apareamiento de manchas de 1 a 3 mm, producción de soros, esporulación abundante, lesiones nuevas y defoliación. En relación a las variedades de café, la mayoría de las que son cultivadas por los agricultores son susceptibles, se emplean principalmente las variedades caturra y catuaí. Para el manejo del cultivo de café, los agricultores usan fungicidas sistémicos y algunas veces alternados con fungicidas de contacto. Se recomendó utilizar las curvas del progreso de la enfermedad generadas para identificar épocas oportunas de aplicación de fungicidas para el control de roya. Evaluar daños ocasionados por la roya del café y su relación con la fenología de la planta de café. Validar los métodos de muestreo de roya generados en esta investigación con intervalos de lectura más cortos.

1 INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el café desempeña un papel importante en la economía del país por la cantidad de divisas y empleo que genera. De acuerdo al INE, el café brinda beneficios económicos a cerca de 1,7 millones de personas. El cultivo de café se desarrolló en Guatemala desde la segunda mitad del siglo XIX y se constituyó como un producto de exportación tradicional desde 1859, a través del tiempo esto ha permitido que exista intensificación en la producción, considerando al país como el mayor productor de café en Centro América.

El café representa alrededor del 30% a 35% del valor total de las exportaciones de Guatemala y el 12% del PIB. Durante los últimos años (2006-2012) ha venido participando en el Mercado Mundial del Café con café tipo semiduro al estrictamente duro considerado dentro de los de más alta calidad.

La producción cafetalera se encuentra ampliamente distribuida en el país, siendo las mayores áreas productoras los departamentos de San Marcos, Santa Rosa, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Guatemala, Huehuetenango y Chimaltenango, en los que además se concentra el mayor porcentaje de producción de tipos de café de altura.

Debido a los cambios de temperatura, la humedad relativa y la región en la que se encuentra el café, este se ve afectado por distintas enfermedades entre las cuales la roya del cafeto está considerada como una enfermedad grave que afecta al café. Esta enfermedad inició en la década del 80 en Guatemala y durante el periodo de 1982 – 2005, su incidencia no fue problema para los caficultores. Sin embargo, actualmente se observó epidemias severas en los rangos altitudinales de 800 – 1200 m, esto influenciado por los cambios climáticos, siendo este el principal factor de alteración en el agroecosistema de café.

La enfermedad conocida como “roya del cafeto” (*H. vastatrix*), se presenta en altitudes de 500 – 1200 m áreas con precipitaciones frecuentes, alta humedad relativa y temperatura favorable al patógeno. El hongo afecta el área foliar, en el envés de las hojas; se observa lesiones de color anaranjado – amarillos circulares, ovalados o de otro tipo en el envés de las hojas que posteriormente, en la etapa final crea lesiones de color oscuro que constituye el inoculo primario

del hongo. El daño principal en el cafeto es la defoliación que disminuye la productividad además de acentuar el fenómeno de bianualidad del café.

La presente investigación surgió de la necesidad de describir el motivo del incremento de la roya del café en las plantaciones de café principalmente en partes medias y altas de la zona del sur occidente de Guatemala. Se trató de un estudio epidemiológico exploratorio de carácter descriptivo, en el que se observó que la roya del café afecta principalmente en los meses de agosto a febrero, en los diferentes estratos estudiados con variaciones en la intensidad de daño. La máxima tasa de incremento e intensidad de roya es durante la etapa fenológica de formación, maduración y cosecha de frutos. El uso de variedades susceptibles predomina en las áreas con café, lo que bajo condiciones de alto inóculo, ambiente favorable y manejo ineficiente favorece el desarrollo de epidemias severas en corto tiempo.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La roya del cafeto apareció en Guatemala por primera vez en 1982, hasta el año 2005 esta enfermedad no fue importante en las zonas productoras, a partir del año 2005-2008, según caficultores y registros de la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), se considera como una limitante en la producción para café arábica (*Coffea arabica*).

Es una enfermedad producida por el hongo *Hemileia vastatrix* y está considerada como importante enfermedad en los países productores de café en el mundo y ocasiona pérdidas económicas. Para Guatemala no se conoce el grado de pérdidas económicas que ocasiona en Brasil es del 30% las pérdidas reportadas. Ocasiona caída prematura de hojas afectando la fotosíntesis, se considera un factor de estrés que debilita los cafetos llegando a ocasionar muerte descendente severa de las ramas. Esto da como resultado escasa floración y frutos pequeños, lo que provoca pérdidas de producción.

El hongo vive principalmente en forma de micelio, uredias y uredosporas en las hojas que permanecen de un año para otro. Las esporas son fácilmente diseminadas por viento, lluvia, trabajadores al momento de cosecha, entre otros y requiere alta humedad para poder germinar e infectar el cafeto.

La presente investigación plantea determinar los factores epidemiológicos que inducen la aparición de *H. vastatrix*, durante el periodo cafetalero 2009 - 2010. Se realizará en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla. Se espera obtener información relacionada a cuantificación de la enfermedad, análisis espacial y temporal, aspectos de la biología del hongo, listar variedades cultivadas susceptibles o resistentes, síntomas de la enfermedad en café, incidencia, severidad, relacionar los sistemas de producción de café de los agricultores y factores climáticos con la roya del café.

3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, no se cuenta con información epidemiológica de la roya para las condiciones de las áreas en las que se produce café en Guatemala. Según relatos de agricultores y de la Asociación nacional del Café (ANACAFÉ), la incidencia y severidad de la enfermedad cada vez es mayor en los cafetales, además se ha observado la presencia de la enfermedad en zonas altitudinales en las que no se encontraba antes.

Para brindar prácticas de manejo dirigidas a dicha enfermedad es necesario realizar investigaciones tendientes a describir los principales aspectos epidemiológicos que propician la enfermedad. Se sabe que el desarrollo de la enfermedad es influenciada por factores como la temperatura y precipitación, sin embargo, aunado a ello existen otros que interactúan en el sistema y que tienen la capacidad de modificar la manifestación de la epidemia. Aunado a los factores agrícolas se incluyen los sociales como fluctuación de precios del café en el mercado, el incremento de precio de pesticidas entre otros, sin embargo, este factor puede ser manejado a través del empleo de tecnología oportuna y de bajo costo para reducir enfermedades como la roya que ocasionan pérdidas y afectan las plantas de manera prolongada.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Marco conceptual

4.1.1 Resumen histórico del cultivo del café

El cafeto (*Coffea arabica*) es originario de Etiopía de la región que circunda el lago Tana, África. En Guatemala los padres Jesuitas introdujeron el cafeto en 1760, quienes lo trajeron como planta ornamental para sus jardines en Antigua Guatemala. El primer registro del cafeto en plantación data de 1800 como un cultivo en las orillas de la Ciudad de Guatemala sembrado por Don Juan Rubio y Gemir. En 1835 se da el decreto de octubre; “Se darán doscientos pesos al primer agricultor que coseche cien quintales de café así como al segundo tercero y cuarto”.

A partir de 1860 surgen las fincas más grandes dedicadas al cultivo del cafeto en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, Suchitepéquez, Retalhuleu, Escuintla, Alta Verapaz, Jutiapa y Quetzaltenango, donde cobra particular renombre el café de Costa Cuca. En 1865 el café de Guatemala se hace presentar en la Exhibición Internacional de París. A partir de 1871 el cultivo del café era un negocio lucrativo, se constituyó en el principal renglón de la economía de la nación y pasó a ocupar el primer lugar entre los artículos de exportación (ANACAFE, 1988).

4.1.2 Importancia económica

Las exportaciones del país durante la temporada 2006/2007 aumentaron en un 12%, en comparación a la temporada 2005/2006. En total, se vendieron en el mercado internacional 4.8 millones de quintales de café oro.

El ingreso de divisas por concepto de exportaciones de café registró su nivel más alto en siete años. Durante la temporada 2006/2007 se captaron \$ 94 millones adicionales ó 20 % arriba de los ingresos percibidos la temporada anterior.

Durante el período 2005/2007, ANACAFE continuó fortaleciendo la caficultura, con el propósito de que cada uno de los productores guatemaltecos contará con las herramientas para producir más y mejor. La especie económicamente más importante de café es *Coffea arabica* la cual constituye

aproximadamente el 80-90% de la producción mundial, dentro de esto Guatemala tiene el quinto lugar (ANACAFE, 2009).

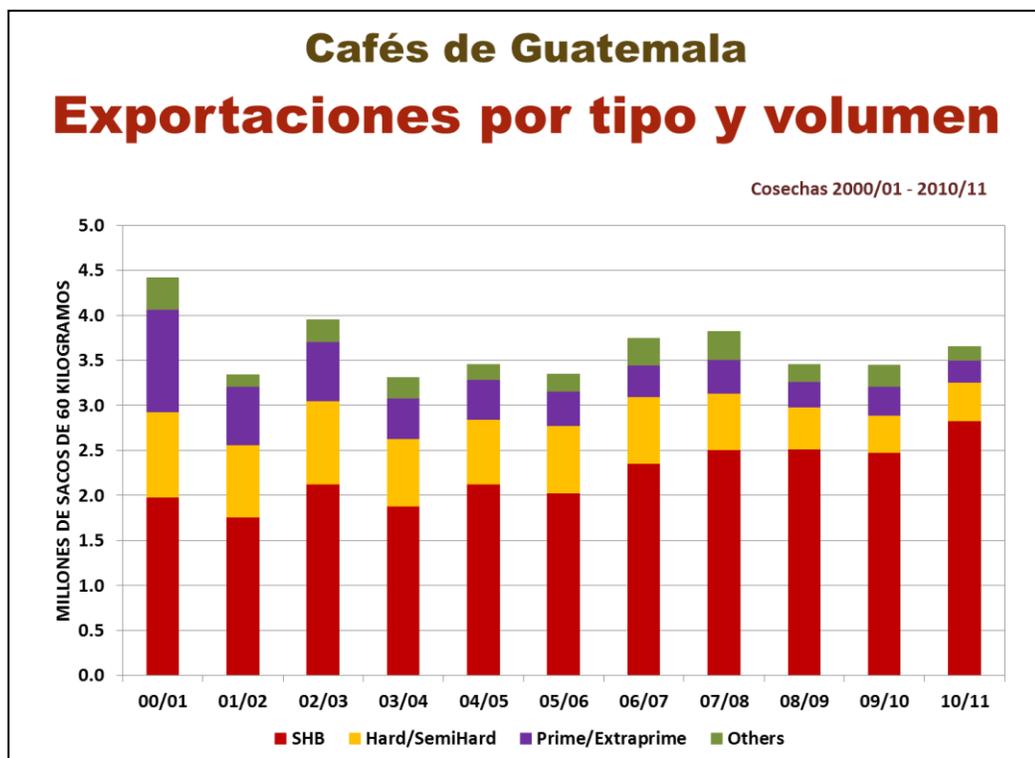


Figura 1 Exportación de café de Guatemala cosechas 1996/1997–2010/2011
Fuente: ANACAFE, 2011.

4.1.3 Morfología del cafeto

4.1.3.1 Caracteres botánicos del café

La planta de café pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Gentianales, familia Rubiaceae, subfamilia Ixoroideae, género *Coffea* L. Se menciona que actualmente existen más de 100 especies del género de *Coffea* en el mundo; entre ellas *Coffea arabica* que constituye el 75% del café de exportación y se produce en 61 países la mayor parte en Sur y Centro América (Jones, 1987, Sánchez, 1990).

4.1.3.2 Floración

La floración del café arábigo (*C. arabica*) es marcadamente estacional, acontece después de un periodo de estrés o se efectúa generalmente con la presencia de precipitación, la periodicidad puede variar donde las condiciones climáticas son relativamente estables en todo el año. La

cantidad de flores producidas y su tamaño dependen de la relación de agua presente. Las condiciones extremadamente húmedas, pueden ocasionar la formación de distintas flores estériles de color verdoso, las llamadas "flores-estrella" (Jones, 1987, Sánchez, 1990).

Las yemas que dan origen a las inflorescencias están distribuidas en forma axilar en las ramas laterales en la base de las hojas de cada nudo y en variedades altamente productivas pueden encontrarse 40 a 45 flores por nudo, quedando al final de 15 a 20 frutos por nudo. Los botones crecen lentamente unos meses hasta alcanzar el tamaño de 5 a 8 mm y detienen su crecimiento iniciando un periodo de reposo. Las flores son hermafroditas y auto fértiles, los cafetos de todas la variedades de *Coffea* tienen un alto porcentaje de autofecundación con una polinización cruzada baja (ANACAFE, 2006).

4.1.3.3 Raíz

La raíz desempeña las funciones de anclaje de la planta y la de explorar el suelo obteniendo el agua y nutrientes minerales y algunos orgánicos del suelo. Al igual que el tallo, puede almacenar reservas en forma de almidón y azúcares solubles. Las raíces dependen de las hojas para obtener alimentos derivados de proceso de la fotosíntesis y de hormonas para poder crecer y desarrollarse. En cambio los órganos aéreos dependen de las raíces para obtener el agua, algunos aminosácidos y los elementos minerales contenidos en el suelo naturalmente o proveídos a través de fertilizantes. El sistema radicular está formado por una raíz principal, llamada pivotante, que puede profundizar más de 50 cm en el suelo; raíces axilares o de sostén; raíces laterales y raíces absorbentes o raicillas, las cuales son responsables de la absorción de agua y nutrientes estas se encuentran en los primeros 30 cm de el suelo (ANACAFE, 2006).

4.1.3.4 Tallo y hojas

Entre las estructuras morfológicas importantes del tallo y las ramas se encuentran las yemas que contienen los meristemos que dan origen en el cafeto al tallo, ramas, "chupones" y a las inflorescencias. La planta de café tiene un solo eje, en cuyo extremo hay una zona de crecimiento activo que alarga el tallo, formando nudos y entrenudos. Las ramas laterales se alargan y la parte superior del eje vertical continúa creciendo, así se producen nuevas ramas en diversos ángulos y la planta adquiere forma cónica Inicialmente las yemas estas indiferenciadas pero conforme la

planta de café crece éstas cambian de forma al diferenciarse en ramas o inflorescencias según la clase de estímulos externos a la planta (ANACAFE, 2006).

El eje central o rama ortotrópica crece verticalmente, sólo produce yemas vegetativas. Las ramas laterales o plagiotrópicas, llamadas “bandolas” son las ramas primarias y dan origen a ramas secundarias o de segundo orden, de las que a su vez pueden salir ramillas terciarias. Las ramas secundarias y terciarias, constituyen lo que se conoce como palmilla de café. Las hojas sirven de vehículo para absorber el anhídrido carbónico atmosférico y la energía radiante del sol así como la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas (ANACAFE, 2006).

4.1.3.5 Fruto

Al tercer y medio mes de la floración en el fruto se forma el pergamino y se lignifica definiéndose el tamaño que tendrá el grano. Un déficit hídrico en este periodo puede provocar el secamiento y caída en los frutos tiernos. Según estudios en ANACAFE el fruto consume nitrógeno (80%) fósforo (85%) y potasio (71%). Inicia el llenado del grano y formación de la semilla, el grano se endurece se forma el mucílago y el fruto alcanza su madurez fisiológica como fruto sazón, finalmente el fruto llega a su madurez de corte caracterizado por su color de la cáscara, esto después de 8 a 9 meses de la floración (ANACAFE, 2006).

4.1.3.6 Semilla y germinación

La mayor parte de la semilla la forma el endospermo que es de consistencia dura y color verdoso. El embrión que formará la futura planta se localiza dentro de la semilla a nivel de la base con la apariencia de una pequeña paleta, alrededor de la semilla se encuentra la película plateada que es visible cuando se seca y luego el pergamino. Para el desarrollo del embrión es necesaria la madurez de la semilla y condiciones favorables de humedad y temperatura (ANACAFE, 2006).

4.1.3.7 Propagación

El café se propaga en gran escala por medio de plantas obtenidas de semilla, o vegetativamente, por medio de injertos o estacas. Para el caso de la utilización de semillas, para *C. arabica* el

almacenamiento debe ser bajo aire seco de a temperaturas de 10°C con un contenido de humedad del 10-11% (ANACAFE, 2006).

El vivero se sitúa en el mejor terreno disponible. Si es posible se utiliza tierra de buena calidad para minimizar las enfermedades. Los almácigos deben estar bajo una ligera sombra de hojas de palma o tira de bambú. Dentro del vivero se disponen hileras espaciadas 15 cm, a lo largo de los surcos. El material de siembra se selecciona cuidadosamente en cuanto a su adaptabilidad a las condiciones locales, su capacidad de alto rendimiento, resistencia a las enfermedades y demás criterios. Cuando las plantas alcanzan una altura de 15 a 20 cm, o sea aproximadamente de seis a ocho meses después de la siembra, las plántulas están listas para su trasplante (ANACAFE, 2006).

4.1.4 Especies y variedades del cafeto

En Guatemala se cultivan básicamente variedades de la especie *Coffea arabica*, que es la más difundida en el mundo con un aporte del 70%-75% de la producción mundial. Otra especie es *C. canephora* y Robusta es la variedad más importante. En general Robusta ha mostrado tolerancia a plagas y enfermedades (nematodos, roya, otras), para Guatemala esta variedad representa únicamente el 1% del café exportado.

Según observaciones de campo, en San Marcos y Santa Rosa en algunas fincas, se está utilizando *Coffea liberica* como patrón de *C. arabica*.

Entre las principales variedades comerciales en Guatemala están las siguientes:

Typica: tiene importancia histórica de ser base del desarrollo de la caficultura en Guatemala. En el campo se le conoce como Arábigo o café Arábigo. Es un arbusto de porte alto 3.5 – 4 m de alto, ramas laterales abundantes dispuestas en un ángulo de 50-70 grados dándoles forma ligeramente inclinada. Los brotes son de color bronceado. *Typica* es de baja producción y tiene un acentuado comportamiento bianual en su producción (ANACAFE, 2002).

C. robusta: arbusto grande y vigoroso rebasando los 4 m de altura. Ramas laterales largas y entrenudos largos. Fruto pequeño casi esférico agrupándose en nudos apretados de 15-25 frutos, la pulpa es bastante delgada. Se adapta en altitudes entre 457 – 762 msnm (ANACAFE, 2002).

Bourbón: comparado con *Typica*, presenta ligera forma cónica, ramas con ángulo más cerrado y mayor número de axilas florales. Los brotes son de color verde. Es una variedad precoz en su maduración con riesgos de caída de frutos en zonas donde la cosecha coincide con la caída de frutos. Tiene producciones de 20%-30% superior a *Typica*. *Bourbón* es cultivado a altitudes que van de 1,100 – 2,000 msnm (ANACAFE, 2002).

Caturra: es una planta de porte bajo, eje principal grueso poco ramificado, ramas secundarias abundantes y entrenudos cortos, tiene forma ligeramente angular con buen vigor vegetativo. Se cultiva en la Costa Sur en altitudes de 457 – 1,100 msnm con precipitación de 2,500-3,500 mm; y en la región central de 914 – 1,700 msnm; en las Verapaces de 762 – 1,100 msnm (ANACAFE,

2002). La variedad *Caturra* es una variación de un solo gen de bourbon y que comparte su susceptibilidad a roya.

Catuaí: resultado del cruzamiento entre Mundo Novo y Caturra en Brasil. Es variedad de porte bajo, las ramas forman un ángulo de porte cerrado y entrenudos cortos. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, lo cual es muy importante para las zonas donde la maduración coincide con la época de lluvia. Se adapta bien en altitudes que van de 600 – 1,300 msnm en la Boca Costa, de 1,100 – 1,700 msnm en la zona central oriental y norte del país (ANACAFE, 2002).

Mundo Novo: cafeto de porte alto, con gran vigor vegetativo y mucha producción. Su maduración es un poco tardía comparada con el Bourbon. Se adapta bien a las regiones del Centro y Oriente del país en altitudes de 1,100 – 1,700 msnm y con precipitaciones de 1,200-1,800 mm anuales (ANACAFE, 2002).

Maragogype: es una mutación de *Typica* descubierta en Brasil. Variedad de porte alto hojas lanceoladas generalmente dobladas hacia abajo. Frutos y semillas de gran tamaño lo caracterizan. Producción baja. Se adapta en altitudes que van de 609 - 762 msnm en Cobán (ANACAFE, 2002).

Pache colis: es originaria de Mataquescuintla, Jalapa (Guatemala), y fue encontrado dentro de plantaciones de Caturra y Pache Comen. Posee frutos rojos y de tamaño grande, hojas elípticas onduladas de consistencia áspera. Presenta cierta tolerancia a *Phoma*. Planta de porte bajo con entrenudos cortos, con altura de 0.80 – 1.25 m. Se adapta muy bien en rangos de altitud de 914 – 1800 msnm con temperaturas frescas oscilantes entre 20-21°C (ANACAFE, 2002).

El híbrido de Timor e Icatu, catimor y sachimor son resistentes a roya (Chalfoun 1997). Estos materiales son evaluados en la actualidad en el departamento de Santa Rosa.

4.1.5 Agroecosistema cafetalero

El agroecosistema, se caracteriza como ecosistema que es sometido por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos. Estas modificaciones, afectan prácticamente todos los procesos estudiados por la ecología, abarcan desde el comportamiento de los individuos de la flora, fauna y la dinámica de las poblaciones hasta la composición de las comunidades y los flujos de materia y energía, Figura 2 (Medina, 2001).

El sistema agroforestal café con frutales (CN) fue establecido en el año 1990; las plantas de café tiene un distanciamiento de 1.50 m entre plantas y de 1.80 m entre hileras, alcanzan una altura de 2.50 m. Los árboles frutales tienen un distanciamiento entre plantas de 6 m, alcanzan una altura de 3,5 m, el diámetro de las copas es de 3m. El sistema se deshierba dos veces al año dejando los desechos en la superficie (Arellano, Paredes, Vásquez, 1997).

Sistema monocultivo de café sin sombra (CS) fue establecido en el año 1992, la plantación de café se hizo en terrazas individuales de 80 cm de diámetro, distribuidas al tresbolillo, con un distanciamiento entre plantas de 1.20 m y entre hileras de 1.60 m; alcanzan una altura de 2 m. La plantación se deshierba tres veces al año (Arellano, Paredes, Vasquez, 1997).

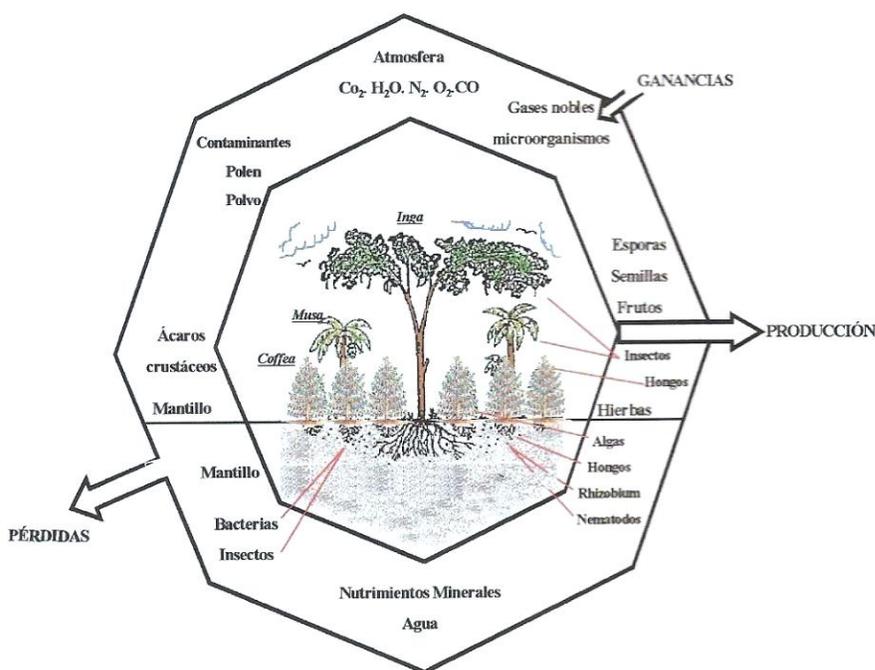


Figura 2 Agroecosistema del Café con sombra para Guatemala

Fuente: Medina, 2001

4.1.6 Enfermedades del café

Como cualquier planta, el cafeto es atacado por fitopatógenos que provocan enfermedades entre las cuales se puede citar la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk y Court. Sacc), phoma (*Phoma costarricensis*), mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*), mal rosado (*Corticium salmonicolor*), Bacteriosis del cafeto (*Xylella fastidiosa*). Este conjunto de enfermedades, son controladas en su mayoría por los agricultores por medio de productos químicos y manejo cultural (Rayner, 1972).

4.1.7 La roya del cafeto

En general todas las especies de café son atacadas en mayor o menor grado por *H. vastatrix*. La planta de café es susceptible al ataque de la roya durante todas las etapas de desarrollo, desde el estado cotiledonar hasta la etapa productiva en el campo (Rayner, 1972).

Económicamente la roya es la enfermedad más importante para la Caficultura en Brasil una vez instalada en un país debe ser tratada con fungicidas sistémicos (Chalfoun, 1997).

4.1.7.1 Agente etiológico

La roya del cafeto es causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br. El micelio de este hongo se encuentra dentro del mesófilo, consiste de hifas hialinas, de aspecto desigual y ramificado; el diámetro de las hifas es uniforme y oscila entre 5 y 6 μ m, penetran mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovals, de 7 a 8 x 4.5 μ m, que contienen citoplasma denso con uno a dos gránulos refringentes, formando los haustorios y sirven como órganos de absorción de alimentos (Rayner, 1972).

Existen más de 30 razas fisiológicas identificadas para el género *Hemilea*. La más generalizada a nivel mundial es la raza II. La esporulación de la roya es a través de los estomas en pedicelos reunidos en racimos, uredosporas unicelulares y binucleadas, reniformes equinuladas dorsalmente y lisas ventralmente, producidas en abundancia en las pústulas (Chalfoun, 1997).

La parte más redondeada de la uredospora 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. La naturaleza media ornamentada, media y lisa de la espora es el detalle característico que condujo al nombre del género, hemi = medio, y leios = liso (Rayner, 1972).

Algunas veces hacia el final de la vida de una pústula y en consecuencia cerca del centro de una lesión vieja, se producen esporas de un segundo tipo, las teliosporas, unicelulares globosas y napiformes lisas que germinan en el lugar *in situ* (Chalfoun, 1997).

El contenido de la teliospora es granular y de un fuerte color anaranjado-rojizo. Está unida a la pústula mediante un pedicelo corto. Miden de 15 a 18 mm de longitud incluyendo la protuberancia apical, y en su parte más ancha tienen un diámetro de 18 a 24 mm, las teliosporas se producen solamente en raras ocasiones y no se conocen las circunstancias que dan origen a su formación (Rayner, 1972).

La clasificación de la roya del café es (Kirk et al., 2008):

División:	Basidiomycota
Subdivisión:	Pucciniomycotina
Clase:	Pucciniomycetes
Orden:	Pucciniales
Familia:	Pucciniaceae
Género:	<i>Hemileia</i>
Especie:	<i>H. vastatrix</i> Berk. & Br.

4.1.7.2 Biología de la roya del café

La roya del café es provocada por el hongo *Hemileia vastatrix* que pertenece al orden Pucciniales, estos tienen la característica de ser parásitos obligados y pueden crecer solamente en los tejidos de la planta hospedera. Las royas son capaces de formar hasta cinco tipos de esporas, pero en el caso de *H. vastatrix*, por estar en una planta tropical o sub-tropical no necesita de tantos estadios y producen uredosporas y teliosporas (Harr, s.f.)

4.1.7.3 Germinación de la roya del cafeto

La germinación de las uredosporas en el envés de una hoja de cafeto mojada puede comenzar solamente en una hora. Una uredospora germinará normalmente a través de varios poros germinativos pero solamente uno tendrá éxito en su crecimiento, luego crece un tubo germinativo que permanece sin ramificarse por algún tiempo, pasándole el contenido anaranjado y granulado de la espora. Después puede formar ramificaciones; de crecimiento limitado. (Rayner, 1972, Harr, s.f.).

Los síntomas aparecen 14 días después de la inoculación y la esporulación comienza después de 2 a 4 días de haber aparecido los síntomas. Se ha determinado que se requiere agua para la germinación de las uredosporas, y que ésta ocurre entre 3 - 5 horas a 23 °C, la formación de apresorios toma de 7 - 9 horas (Rayner, 1972).

Una vez que el hongo ha penetrado exitosamente los tejidos del hospedero, se inicia la colonización y con el tiempo, dependiendo de la naturaleza genética del hospedante, de la agresividad del patógeno y de los factores ambientales que los rodeen, se manifiestan los síntomas visibles de la enfermedad (Rayner, 1972).

4.1.7.4 Penetración de la roya del cafeto

Cuando alguna parte del tubo germinal ramificado hace contacto con un estoma, se forma un haustorio. Este consiste de una vesícula ovoide o piriforme, en forma de saco. En el lado inferior del haustorio se forma una hifa penetrante la cual crece en el interior de la cavidad sub estomática a través del ostiolo, produce un ensanchamiento en forma de vesícula, formando la telia (Rayner, 1972, Harr, s.f.).

Cuando las células del hospedante son invadidas, los cloroplastos se tornan gradualmente amarillentos. El contenido de las células afectadas se contraen y coagula en forma de una masa, la cual gradualmente se decolora y se torna cada vez más marrón; esta decoloración también se extiende hasta cierto grado a las paredes celulares. A veces el citoplasma desaparece y es reemplazado primeramente por un líquido y posteriormente por aire (Rayner, 1972).

4.1.7.5 Período de incubación

El período de incubación se define como el tiempo que comprende la penetración y una nueva esporulación. Este período P_i , puede estar influenciado por la temperatura y puede calcularse con ayuda de la ecuación de Rayner (Rayner 1961):

$$P_i = 63.4740 - 0.7344 X_1 - 0.7920 X_2$$

donde, X_1 = temperatura promedio máxima

X_2 = temperatura promedio mínima

Temperaturas óptimas para el desarrollo de *H. vastatrix* se sitúan entre 21 y 25 °C; inferiores a 15 °C y superiores a 30 °C impiden cualquier desarrollo de este hongo. Variaciones lentas alrededor del desarrollo óptimo, favorecen el desarrollo de la roya (Harr, s.f.)

4.1.7.6 Esporulación de la roya del café

En el caso de *H. vastatrix* produce uredosporas y en raras ocasiones teliosporas de las cuales se desconoce su hospedero y papel en el ciclo biológico de la roya. *H. vastatrix* infecta su huésped únicamente a través del estoma por lo que no rompe la epidermis permitiendo observar el proceso de esporulación. Las estructuras esporulantes surgientes de un estoma son una estructura compleja que muestra la formación de esporas por debajo de una membrana envolvente, tan pronto empieza la diferenciación de las esporas esta membrana o matriz se rompe o puede ser reabsorbida (Harr, s.f.).

Dentro de una pústula en desarrollo, las esporas maduras se encuentran normalmente en la periferia y las jóvenes al centro, por debajo de las esporas maduras salen nuevas que empujan las esporas viejas hacia el envés de la hoja. Las esporas maduras se caracterizan por tener una diferencia marcada sin transición entre la parte dorsal prominentemente dentada y la parte ventral lisa y las esporas muestran un hilum largo, que es la cicatriz de la separación de la espора de la célula madre (Harr, s.f.)

4.1.7.7 Sintomatología de la roya del cafeto

La enfermedad se caracteriza por presentar pequeñas manchas redondeadas conocidas como pústulas, de color amarillo naranja y polvoriento en el envés de las hojas. Inicialmente, el área afectada por una sola infección tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm, pero gradualmente aumenta el tamaño hasta 2 cm o más y tiende a unirse con otras infecciones para formar una lesión más o menos irregular que a veces puede abarcar gran parte de la superficie foliar (Rayner, 1972).

En los estados muy tempranos se nota sólo una mancha pálida, amarillenta, en el envés de la hoja. Esta mancha es translúcida y si se examina contra la luz se observa la apariencia de una gota de aceite. Uno o dos días después de su aparición, la mancha toma un color anaranjado y la superficie se torna polvoriento (Rayner, 1972).

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 un hongo blancuzco, parasítico de la roya del café, *Verticillium hemileia* Bour. En etapas avanzadas del ataque, la mayor parte del área afectada muere y solamente de vez en cuando, cerca del margen, sobreviven áreas amarillento-anaranjadas portadoras de esporas las cuales consisten en el inóculo primario de la enfermedad (Rayner, 1972).

Cuando hay áreas grandes de la hoja infectada por la enfermedad, las áreas adyacentes, no infectadas, también pueden secarse y morir, afectando la hoja entera. Aún cuando sólo haya pocas lesiones, la hoja se reduce y puede caerse a temprana edad. Como consecuencia de la abscisión de hojas, un árbol afectado severamente puede perder su follaje, lo que puede conducir a una muerte descendente (“dieback”) de sus ramas. Este efecto depende del clima reinante en ese momento, de la cosecha que produce el árbol y de la reserva de carbohidratos (Rayner, 1972).

4.1.7.8 *Epidemiología de la roya del cafeto*

4.1.7.8.1 Diseminación de la roya del cafeto a través del viento

Las royas en general tienen como principal mecanismo de diseminación el viento. Según Investigadores del Departamento Nacional de Meteorología de Brasil han informado que corrientes de aire con velocidad de 20 Km/h pudieron haber traído las esporas de la roya desde África hasta las Costas de Brasil en 15 días. En 1970 se observó en Brasil que la dirección de las corrientes de aire en la región afectada por la roya era similar a la dirección en la cual la roya se estaba diseminando, especialmente en el Estado de Minas Gerais. También en pruebas realizadas con trampas para coleccionar esporas en la primera parte de 1971 por el Instituto Brasileño del Café, se coleccionaron esporas de *H. vastatrix* desde aviones volando a 50, 100, 250, 500 y 1000 metros de altura. Las uredosporas coleccionadas a 1000 metros estaban a 150 Km de un área afectada en Sao Paulo (Morales, 1975).

Se ha estimado que la tasa de caída de las esporas de roya en el aire es de 20 cm/seg, para grupos de esporas y para esporas individuales de 10 cm/seg, estas esporas liberadas no se desplazan muy lejos sino que tienden a precipitarse en las inmediaciones de su punto de origen (Rayner, 1972).

4.1.7.8.2 Diseminación de la roya del cafeto a través del agua

Se menciona que la dispersión de la roya por el agua es de poca o ninguna importancia y que las salpicaduras de la lluvia son el agente principal, no solamente para la dispersión, sino también para la liberación de esporas. Se ha determinado que la relación entre la intensidad de la lluvia y la dispersión de las uredosporas es lineal y bajo condiciones promedio, solamente las lluvias que excedían de 0.3 pulgadas dispersaron esporas cuando el nivel de inóculo era alto, o sea, 20 a 25 pústulas activas de la roya por hoja (Morales, 1975).

En experimentos realizados se observó que en los primeros estados de aparición de un foco de la enfermedad, las lesiones se producen con mayor abundancia cerca de los bordes inferiores de las hojas y que las esporas depositadas en la superficie superior eran lavadas por el agua alrededor de los bordes y depositadas en la superficie inferior, donde germinaban y producían infecciones (Morales, 1975).

4.1.7.8.3 Los insectos y la diseminación de la roya

En la India se encontraron insectos de especies *Euphysothrips subramanii* y *Scirtothrips bispinosus* que se alimentaban de pústulas de la roya y que llevaban un número elevado de esporas en su cuerpo. En Kenya se encontró que las larvas de dos especies de Dípteros (*Cecidomyiidae*) *Lestodiplosis* sp. y *Mycodiplosis* sp. se comían las esporas. Bajo condiciones de laboratorio, se encontró que tales insectos llevaban hasta 280 esporas, con un promedio de 37 (Johnson, 1971).

De acuerdo con estos señalamientos, los insectos tendrían un papel suplementario con la dispersión que podría llegar a ser importante a nivel de hojas, árboles e incluso plantaciones completas. En Brasil se han encontrado uredosporas de *H. vastatrix* adheridas al cuerpo de *Drosophila* sp.; este insecto es muy abundante cuando los frutos del café están maduros. También se ha indicado al minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) como posible vector de la roya (Johnson, 1971).

4.1.7.8.4 Otros medios de diseminación de la roya

La dispersión de la roya a través de material de propagación infectado, pero con síntomas poco visibles, puede provocar un avance acelerado de la roya en grandes áreas geográficas. También podría ser posible la propagación de la enfermedad a través de otras especies vegetales importadas de otros países (Johnson, 1971).

Un sólo contacto de ropa o brazos del personal que trabaja en cafetales basta para permitir que una gran cantidad de uredosporas queden adheridas en el envés de hojas sanas, lo que indica la posibilidad de dispersión de *H. vastatrix*, lo cual constituye peligro de extensión de la enfermedad (Johnson, 1971).

4.1.7.9 *Factores que afectan el desarrollo de la roya del cafeto*

La ocurrencia de una enfermedad de carácter epidémico, como es el caso de la roya del cafeto, está relacionada con factores bióticos (condiciones del hospedante y del patógeno) y factores abióticos (ambiente), los cuales se describen a continuación:

4.1.7.9.1 Factores bióticos

En las variedades que poseen genes específicos de resistencia, cuando son infectadas por la raza del hongo compatible, se crea una zona de tumefacción, que evita el avance del micelio. En estas variedades no se presenta esporulación y por lo tanto el proceso de reproducción se interrumpe, reduciendo el inoculo potencial. En variedades de café con resistencia incompleta (horizontal), el patógeno se establece, pero el número de lesiones es menor, el período de la latencia es más prolongado, o la cantidad de esporas producidas por lesión es menor que en una variedad susceptible (Chalfoun 1997).

Además de los factores genéticos, existen otros que inciden en la mayor o menor infección en poblaciones de plantas, tales como la cantidad de follaje, la producción y edad de la hoja.

La alta densidad de plantaciones de café constituido de la especie *Coffea arabica* favorece la epidemia de roya. Las condiciones de alta densidad de hojas debido al crecimiento vegetativo ocurrido después del inicio de las lluvias y la producción de los cafetos son algunos de los factores que predisponen a los cafetos a la incidencia a la enfermedad. En cuanto la relación de producción de café y el apareamiento de la enfermedad se menciona que cuando existe mayor producción hay mayor presencia de la enfermedad. Otra relación considerada sería el distanciamiento entre plantas e hileras (Chalfoun, 1997).

4.1.7.9.2 Edad de la Hoja

La edad fenológica de una hoja influye en los componentes de la resistencia como son: tasa de infección y en los períodos de incubación y latencia. La alta densidad de hojas favorece la roya dado que allí permanecen las hojas viejas donde sobrevive el inoculo y son mantenidas de un año a otro y la mayor cantidad de área foliar es salpicada por gotas de agua que contiene uredosporas que favorece la infección (Chalfoun, 1997).

En cuanto al ataque en relación de la edad, las plantas jóvenes en desarrollo o brotes provenientes de plantas recepadas son menos susceptibles a la enfermedad. Se recomienda para ello mantener siempre renovados los cafetos. En cuanto a la relación de la posición del cafeto en las plantas adultas se observa mayor concentración de pústulas en la posición inferior del cafeto

siendo esto atribuido a las mejores condiciones ambientales para la roya. El defoliamiento natural de los cafetos provocada por la roya y por la operación de la cosecha, forzará a los cafetos a que este sea repuesto durante la época lluviosa lo que conlleva al consumo de energía, que sería utilizada en la producción de frutos. Esto tiene mucha relación con la bianualidad que se presenta en la producción de café, estando la incidencia de la roya relacionada a ese ciclo. También se menciona que existe estrecha relación entre el área foliar y la infección por *H. vastatrix*. Se ha determinado que a mayor área foliar, mayor nivel de infección. Se ha constatado que para cafetos con baja y alta densidad foliar, se producen niveles máximos de 2 y 7 lesiones por hoja, respectivamente (Johnson, 1971).

4.1.7.9.3 Control genético

Comprende el uso de variedades resistentes o tolerantes a la roya del café. La resistencia es un fenómeno general de las plantas, un criterio de evaluación de resistencia consiste en la observación del tamaño de las lesiones ocasionadas por la roya, las interacciones café *H. vastatrix*, comúnmente observadas son manchas cloróticas y tumefacción reducidas que indican resistencia o manchas grandes que indican susceptibilidad. El fitomejoramiento en Brasil se inicia con la selección de materiales resistentes procedentes de la fuente de origen, la síntesis de híbridos interespecíficos con varias combinaciones de genotipos resistentes provenientes de *C. canephora* para introducirlos en *C. arabica*.

En algunas variedades de café que poseen resistencia horizontal y son infectadas, el patógeno se establece en ellas, pero, bien el número de lesiones es menor, el período de latencia es más prolongado o la cantidad de esporas producidas por pústula es menor que en una variedad susceptible. En este tipo de variedad con resistencia horizontal se reduce la tasa de infección y también algunas veces afecta el inoculo inicial indirectamente (Rayner, 1972, Chalfoun, 1997).

4.1.7.9.4 Factores abióticos

La incidencia y aparición de la roya del cafeto, se ve afectada por distintas condiciones ambientales, teniendo rangos óptimos y niveles ambientales de inhibición de la enfermedad.

4.1.7.9.5 Efecto de la temperatura

La temperatura afecta el desarrollo epidémico de la roya del cafeto debido a su acción directa sobre el proceso de germinación e infección del hongo, y una vez establecido éste sobre el período de incubación y latencia. Temperaturas por debajo del óptimo tienden a inhibir el crecimiento del hongo, prolongando el tiempo de germinación de las uredosporas, la formación de apresorios, la penetración y colonización del hospedante, haciendo más largo el ciclo epidémico de la roya. Temperatura por encima del óptimo, alteran el metabolismo y disminuyen el poder germinativo (Rayner, 1972).

En estudios del efecto de la temperatura sobre la germinación de las uredosporas de *H. vastatrix* se encontró que en PDA la temperatura óptima para la germinación fue de 22°C, con una mínima de 15°C y una máxima de 28°C. Sobre discos de hojas, se encontró un comportamiento bi-modal con dos picos: uno a los 21°C y otro a los 25°C, separados ambos por una marcada depresión de la germinación entre los 23 y 24°C. Se menciona que, cuando las uredosporas son sometidas a temperaturas bajas, seguidos por temperaturas más elevadas y humedad favorable, hay un sensible aumento en la capacidad de germinación comparada con las temperaturas constantes. Al contrario de la germinación, la elongación del tubo germinativo aumenta siempre con la temperatura (Rayner, 1972).

4.1.7.9.6 Efecto de la luz

De acuerdo con los estudios de la biología de *H. vastatrix*, la luz es un factor determinante para la germinación de las uredosporas, para el inicio del proceso infectivo y para la sobrevivencia o viabilidad de las esporas producidas.

La ausencia de luz estimula la germinación y el crecimiento del tubo germinativo. Intensidad lumínica superior a 2.5 bujías/pie reducen gradualmente el desarrollo de las lesiones y de la germinación, sin embargo, ésta aún se realiza bajo una intensidad de 10 bujías/pie. La duración del período de oscuridad para obtener un máximo de germinación es de cuatro horas, siendo en cambio necesario nueve horas para un máximo de infección (Johnson, 1971).

4.1.7.9.7 Efecto de la humedad

La disponibilidad de agua es otro factor que influye sobre el desarrollo de la enfermedad a través de su acción sobre el desarrollo de la planta de café. La formación del follaje, el crecimiento de las ramas, la floración y la maduración de los frutos está estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua para la planta. A su vez el desarrollo de la planta, principalmente la cantidad de hojas, está relacionado con la mayor o menor intensidad de la enfermedad, en función de la cantidad de tejido susceptible y disponible a la infección.

La lluvia es un factor muy importante en el desarrollo de una epidemia de roya del cafeto. La lluvia actúa como factor determinante en la germinación de las esporas, en su dispersión, e indirectamente sobre otros factores ambientales tales como la humedad relativa, la temperatura y la luminosidad. También parece ejercer un efecto negativo sobre el incremento de la enfermedad cuando la intensidad y frecuencia de las lluvias exceden determinados niveles.

La germinación de la roya ocurre a los 24°C, siendo indispensable el contacto con agua en estado líquido. La humedad relativa en el aire de 95 y 98% son limitantes para estimular la germinación. Aún en atmósfera saturada, la germinación no tiene lugar cuando no hay agua líquida en contacto con las esporas (Johnson, 1971).

Las partes de la planta de café orientados hacia el sur y oeste del cafeto siempre se caracterizan por presentar mayor nivel de infección con relación a las partes orientadas hacia el norte y este. Estas diferencias en índices de infección están relacionadas con la exposición de las plantas al proceso nocturno de enfriamiento y con la energía disponible en el proceso de evaporación del agua condensada en las hojas. La trayectoria del sol posibilita menor duración de la humedad en las partes este y norte de las plantas.

4.1.8 Cuantificación de una epidemia

Antes de querer cuantificar una epidemia es importante definir en que consiste este concepto. Epidemia se define como cualquier cambio en la estructura y función de una población de plantas inducida por la población de un patógeno, los cuales interactúan en una comunidad e influenciadas por el ambiente (Mora, 2008).

La cuantificación de una enfermedad se realiza principalmente a partir de 2 parámetros que son incidencia y severidad.

4.1.8.1 Incidencia.

Se define como el porcentaje o proporción de plantas u órganos enfermos en una muestra o población, independientemente del grado de severidad. En otras palabras se cuentan individuos enfermos sin considerar la intensidad de los síntomas de la enfermedad evaluada. En la práctica la incidencia se determina por medio del conteo de las unidades enfermas vrs., las sanas en una muestra determinada (Mora, 2008).

Algunas características de las mediciones basadas en incidencia:

Ventaja: mayor exactitud, precisión y reproducción (menor error de medición), eficiencia (fácil y rápido), Económico.

Desventajas: No adecuado para ciertos tipos de análisis (estimación de pérdidas, análisis de tipo correlativo) y puede no ser adecuada para enfermedades no sistémicas (cenicillas u oidios, manchas foliares).

4.1.8.2 Severidad

Se define como el porcentaje o proporción del tejido u órgano del hospedante con síntomas de la enfermedad. La severidad resulta de integrar el número y tamaño de lesiones (Mora, 2008).

Algunas características de medición basados en severidad se presentan a continuación

Ventajas: Flexibilidad para propósitos analíticos, apropiado para enfermedades no sistémicas (cenicillas u oidios, manchas foliares).

Desventajas: Mayor error de medición (menor exactitud, precisión y reproducibilidad), menor eficiencia (más lento y difícil), puede ser menos económico.

Existen diversos métodos automatizados para medir la intensidad de una enfermedad como sistemas remotos o sistemas visuales. Entre los sistemas visuales más utilizados están: escalas de severidad y diagramas de severidad.

4.1.9 Sistemas visuales de medición de severidad

Escala de severidad: una escala de severidad se define por una serie de clases, que contienen intervalos hasta un máximo de severidad posible para una determinada enfermedad. Una escala debe tener suficientes clases para proporcionar una resolución adecuada para diferenciar grados de severidad (Mora, 2008).

Diagramas de severidad: un diagrama de severidad es una representación pictórica de ciertos grados de severidad, los cuales pueden ser establecidos de diferentes formas dando lugar a diagramas de severidad arbitraria o escalas arbitrarias. Dichos grados de severidad pueden corresponder a intervalos o clases de una escala de severidad, por lo que en la práctica la mayoría de los diagramas de severidad van acompañados de escalas, transformándose en escalas diagramáticas, ya sea arbitrarias, aritméticas o logarítmicas (Mora, 2008).

4.1.10 Sistemas automatizados de medición de severidad.

Programa 2LOG: se fundamenta en el principio óptico propuesto por Weber – Fechner, el que gráficamente generaría una relación curvilínea entre severidad y niveles de daño o clases de tipo exponencial (Mora, 2008).

4.1.11 Análisis temporal de una epidemia

Se hace por medio de la estimación de valores de intensidad de enfermedad por unidad de tiempo. La información espacial se pierde. La representación de la enfermedad se hace a través de gráficas o curvas de intensidad de enfermedad vrs., el tiempo.

Las variables empleadas para este análisis son: producción, severidad, incidencia, número de unidades enfermas o con daño (Mora, 2008).

4.1.12 Análisis espacial de una epidemia

Las epidemias pueden caracterizarse en su comportamiento espacial utilizando índices de agregación, intensidad de agregación, tamaño, localización, y forma de los agregados, velocidad de expansión de los focos de infección, índices de dispersión, entre otras. La representación de estos estudios es mediante mapas bi- o tridimensional (Mora, 2008).

Un análisis espacial se hace por medio de la disposición espacial de valores de intensidad de enfermedad por unidad de población. Las variables empleadas para dicho análisis incluyen severidad, incidencia, número de unidades enfermas o sanas. Para dicho análisis se utiliza el software llamado SURFER versión 9 (Mora, 2008).

4.1.13 Manejo del cultivo de café

4.1.13.1 La sombra del cafetal

En Guatemala, sin considerar las especies botánicas que se usen como sombra, el empleo de ellas es clave para favorecer la productividad del café. El uso y manejo apropiado de los árboles de sombra tiene por objeto evitar extremos que son perjudiciales, ya que sombra excesiva afecta o limita la producción y exceso de sol acorta la vida productiva de la plantación y demanda mayor uso de insumos.

En Guatemala se utiliza y se recomienda sistema de cultivo de café bajo sombra. Las ventajas del mismo son múltiples, y van desde las necesidades eco-fisiológicas de la planta, generación de energía, hasta la de cumplir con requerimientos del mercado en temas ambientales, como protección de suelos y recursos hídricos, conservación de flora y fauna (ANACAFE, 2002).

4.1.13.2 Funciones de la sombra

- Protege la plantación de la acción directa de los rayos del sol, lo que disminuye la pérdida de agua del suelo y de la planta de café.
- Regula la temperatura de la plantación y del suelo, esto permite un adecuado desarrollo del follaje y raíces, mejorando el aprovechamiento de los elementos nutricionales.
- Reduce la erosión del suelo y disminuye la población de malezas
- Incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejorando niveles de fertilidad.
- Protege a la plantación de la acción directa de los vientos.
- Proporciona las condiciones de temperatura y humedad para evitar el apareamiento de enfermedades (ANACAFE, 2006).

4.1.13.3 Características deseables de los árboles de sombra

- Buen crecimiento, desarrollo y longevidad,
- Compatibilidad con el cultivo de café,
- Crecimiento rápido,
- Árboles de copa extendida,
- Que permita buena filtración y distribución de la luz,

- Sistema radicular profundo, para que no compita con el cafeto,
- Resistente a vientos,
- De fácil manejo y regeneración rápida,
- Que mantenga el follaje durante todo el año (ANACAFE, 2006).

4.1.13.4 *Tipos de árboles de sombra*

- Provisionales: se usa para proteger al café durante el primer año de establecimiento, las especies comúnmente utilizadas además de proporcionar sombra, fijan nitrógeno atmosférico, se siembran sobre la calle a 1 m de distancia. Las plantas usadas en Guatemala son crotalaria, gandul y tephrosia. Al inicio de las lluvias, esta sombra debe ser eliminada total o parcialmente para acelerar el desarrollo del cafeto. Este tipo de sombra es utilizada cuando se siembran áreas nuevas o cuando se renuevan cafetales agotados.
- Temporal o semi-permanente: plantas de crecimiento rápido, que brindan sombra a la plantación durante los primeros 4 años de establecido. Las plantas utilizadas en Guatemala son higuierillo, cuernavaca, banano, y baraja. El distanciamiento varía de entre 4x4 m a 6x6 m, sobre la calle del cultivo. Debe formarse adecuadamente con podas conservando la horizontalidad, para permitir la adecuada distribución de la luz, se elimina cuando la sombra definitiva alcanza un desarrollo que permita regular la cantidad y calidad de luz que el cafeto requiere.
- Sombra definitiva o permanente: plantas que por su hábito de crecimiento y longevidad conviven con los cafetales, proporcionándoles sombra durante todo el ciclo productivo. Las plantas utilizadas en Guatemala son chalun, guaba, cuje, gravilea, y pito. Los distanciamientos de siembra varían de entre 6x8 m a 12x12 m (ANACAFE, 2002).

4.1.13.5 *Épocas de manejo de sombra*

- Primera época: en los meses de enero a marzo en la cual se estandariza la altura de árboles de sombra mediante el corte de fustes a una altura de 4-5 m, además se realiza el deshije y aclareo de árboles con el propósito de mejorar la penetración de luz en áreas muy densas.

- Segunda época: al inicio de las lluvias (mayo-junio), se realiza la poda de mantenimiento o regulación con el propósito de obtener una buena penetración y distribución de la luz dentro del cafetal (ANACAFE, 2002).

4.1.13.6 Densidades de sombra

- Mayor densidad: una plantación necesita mayor densidad de sombra (30-40%) y menor cantidad de luz (70-60%), cuando se cultivan bajo condiciones de alta temperatura, baja humedad relativa y mayor exposición a la luz solar.
- Menor densidad: la plantación necesitara una menor densidad de sombra (25-30%) y una mayor cantidad de luz (75-70%) si es cultivada bajo condiciones de baja temperatura, alta humedad relativa menor exposición a la luz solar y alta humedad natural del suelo (ANACAFE, 2002).

4.1.13.7 Especies de árboles de sombra utilizados en Guatemala

Varias especies botánicas de árboles utilizados como sombra en café. El sistema café con árboles consiste básicamente de dos componentes: los árboles que son el agente modificador y los cafetos son el componente afectado por los árboles. Los arboles modifican el ambiente principalmente, según el manejo estos pueden coincidir con los requeridos por el café y generar beneficios en la producción y calidad de café, así como mejoras económicas al reducir el uso de agroquímicos (Muschler, 2000). Las Especies y nombres comunes de árboles de sombra usados en la caficultura guatemalteca se enlistan a continuación, por nombre común seguido del nombre científico de cada especie:

- Cushín, Fresno Español, *Inga laurina*
- Chalum, *Inga xalapensis*, *Inga spuria*, *Inga berterreana*, *Inga mociniana*, *Mimosa spuria*
- Cuje, *Inga fissionolix*
- Guaba, *Inga vera*
- Casprirol, Palal, *Inga tetraphylla*, *Mimosa fagifolia*, *Mimosa laurina*, *Mimosa tetraphylla*
- Bitzé, Cuajiniquil, *Inga pucnata*, *Inga leptoloba*, *Inga popoyanensis*, *Mimosa serícea*
- Pito, Palo de Pito, *Erythrina standleyana*
- Pito, Miche, Poró, *Erythrina bertereoana*

- Madrecacao, Madreado, *Gliricidia sepium*
- Gravilea, Roble cedoso, *Gravilea robusta*
- Pepeto de Río, *Inga edulis*

4.1.13.8 *Clima*

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales (7,500 m³/ha) hasta 3000 mm (30,000 m³/ha), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1,200 a 1,700 msnm, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 16°C a 22°C. La respuesta fotosintética y síntesis bioquímica de la planta se ve muy influida por el período climático del año. Los diferentes niveles de clorofilas, carotenóides, etc., se ven modificados en función de las temperaturas, de la intensidad luminosa y otros (ANACAFE, 2002).

4.1.13.9 *Limites térmicos para el cultivo de Coffea arabica*

Para café arábica (*C. arabica*) se estableció que los límites térmicos están considerados entre los siguientes intervalos: apto 18 – 22°C Temperatura media anual, marginal 22 – 23°C Temperatura media anual e inapto 23 – menor de 18°C Temperatura media anual (Chalfoun 1997).

4.1.13.10 *Límites Hídricos para el cultivo de Coffea arabica*

Se establece que para café arábica (*C. arabica*) se tienen exigencias hídricas semejantes a robusta relacionadas a las condiciones del suelo, en los siguientes intervalos: apta deficiencia hídrica anual menor 150 mm, marginal 150 – 200 mm e inapto deficiencia hídrica anual mayor de 200 mm (Chalfoun 1997)

4.1.13.11 *Fases Fenológicas del cultivo de Coffea arabica*

El café arábica (*C. arabica*) presenta cuatro fases fenológicas distintas en el año: granacion y abotonamiento, maduración y abotonamiento, dormencia y floración y expansión.

El café realiza dos procesos concurrentes; uno de fructificación al año y el otro de formación de rama nueva en el año siguiente (Chalfoun, 1997).

4.1.13.12 *Manejo del suelo*

El café prospera en un suelo profundo, bien drenado, los limos volcánicos son ideales. La reacción del suelo debe ser ácida. Una variación del pH de 4.2 - 5.1 se considera correcta para el café arábigo (ANACAFE, 2002).

El problema más difícil en el cultivo del café, especialmente en las regiones tropicales de las tierras altas, es la conservación del suelo. El mantenimiento de las reservas adecuadas de humedad del suelo, es importante para el café. En tanto que es benéfico, desde el punto de vista de la floración y la cosecha, que las capas superficiales del suelo se sequen hasta cierto grado antes de la presencia de la temporada lluviosa, al mismo tiempo las raíces más profundas, buscadoras de humedad, que algunas veces penetran a profundidades de 1 a 2 m, deben abastecerse con una cantidad de agua (ANACAFE, 2006).

4.1.14 Fertilización

Está demostrado que los fertilizantes son absolutamente necesarios en los cultivos de cafetos al sol en los suelos de todo el mundo pero especialmente en aquellos de fertilidad media – baja. Existe en el comercio, fertilizantes líquidos o fertilizantes foliares que, aplicados por aspersion a las hojas de las plantas, le suministran los nutrientes complementarios, igual como lo hacen los fertilizantes sólidos aplicados al suelo (ANACAFE, 2006).

La principal ventaja es que el fertilizante aplicado a las hojas es absorbido en una elevada proporción, no inferior al 90%. Por el contrario los fertilizantes aplicados al suelo se pierden en un 50% o más, por diferentes motivos. Otras ventajas de la fertilización foliar es que se pueden aplicar fungicidas en la misma solución. Al mismo tiempo se nutre controlando las enfermedades (ANACAFE, 2006).

Otra ventaja de la fertilización foliar es la aplicación de micro nutrientes o elementos menores cuando se comprueba que hay deficiencia de ellos. Así se recomiendan dos aspersiones de bórax al 1 por ciento, al año, cuando se presentan deficiencias de boro, o aplicación de 20 gramos de bórax al suelo, por cafeto.

Como desventajas de la fertilización foliar se apunta mayor número de tratamientos o fertilizaciones para asegurar un suministro suficiente de nutrientes a la planta. Finalmente, según estudios de costos y a pesar de las ventajas antes citadas, parece que el empleo de fertilización foliar en cafetales en producción no es recomendable pues comparando la efectividad entre la aplicación al suelo y la aspersion foliar, con el alto costo de los fertilizantes foliares, es una práctica antieconómica en aquellos lugares donde los precios de dichos productos sean elevados (ANACAFE, 2006).

4.1.15 Poda del café

La época más adecuada para realizar podas es antes de que el cafeto inicie su periodo de crecimiento, lo que ocurre posteriormente a la cosecha. La podas se realiza para renovar el tejido productivo y modificar la estructura de la planta, mantener una adecuada relación follaje/cosecha, atenuar la bianualidad productiva para regular el nivel de producción, eliminar material dañado por enfermedades, reducir condiciones favorables al ataque de enfermedades y plagas, facilitar labores agronómicas y de aplicación que requieren el uso de equipo o maquinaria y economía por reducción de la cantidad de insumos requeridos (ANACAFE, 2006).

Existen distintos tipos de poda según el objetivo que se desee alcanzar, se definen en función de la altura a que se realiza el corte en el eje ortotrópico y según el agotamiento del cafeto;

- Poda baja o recepa: se realiza en cafetos que tiene poco tejido productivo, consiste en eliminar la parte aérea mediante un corte a 20 – 35 cm sobre el suelo, se recomienda dejar de dos a tres tocones por planta podada.
- Poda alta o descope: se realiza con el objetivo de estimular el crecimiento del cafeto y se realiza antes de la recepa, consiste en cortar en el eje principal a una altura de un metro del suelo para variedades de porte bajo y a un 1.20 metros del suelo para variedades de porte alto. La planta debe tener en la parte baja suficientes bandolas.
- Despunto herbáceo: consiste en la eliminación del brote tierno apical para detener el crecimiento vertical, en plantaciones que han dado sus primeras cosechas y estimular el crecimiento de las ramas laterales.
- Poda Guatemala o de agobio: se realiza en cafetos que son altos con tallo delgado, consiste en inclinar el tallo del cafeto para formar un ángulo de 45 grados respecto al suelo,

esta práctica estimula las yemas laterales para el desarrollo de ejes y así posteriormente se elimina el tallo madre (ANACAFE, 2006).

4.1.15.1 *Manejo del tejido productivo*

- Manejo por lotes: consiste en la renovación sistemática de todos los cafetos dentro de un lote o sección aplicándoles el tipo de poda que demande las condiciones de los mismos, este sistema presenta varias ventajas; a) el operador no necesita de criterios técnicos, b) uniformidad en los cafetos, crecen bajo las mismas condiciones, c) racionalización de insumos por lotes, d) maduración uniforme, f) control sobre el manejo de malezas y sombra.
- Manejo por surcos: consiste en desarrollar un programa de poda ordenado conforme a un esquema establecido. La renovación se completa en un periodo de tiempo definido en años, este sistema presenta varias ventajas; a) favorece la productividad sostenida de la plantación a largo plazo, b) la entrada de luz y ventilación reduce enfermedades, c) permite dosificar y reducir insumos, d) facilita la ejecución de labores agronómicas. Generalmente se aplica para lotes con densidades superiores a 3,000 plantas/mz.
- Manejo selectivo: consiste en la selección de cafetos a manejar dentro de la plantación realizando poda individual por planta o por grupo. Es posible realizar las tres modalidades en una misma plantación, lo que permite una mayor estabilidad productiva a través de los años. a) Poda de ejes verticales; es conocida como poda de saneamiento y se realiza al eliminar los ejes agotados para tener tallos productivos de forma escalonada. b) Poda por planta; se seleccionan cafetos que presentan agotamiento individual, realizándoles podas que se ajuste a cada cafeto. c) Poda por grupo de plantas: se selecciona grupos de plantas que presentan agotamiento, ejecutándoles el tipo de poda que se requiera.
- Deshije: se seleccionan los brotes más vigorosos localizados, más o menos tres centímetros debajo del corte, eliminando el resto y dejando un brote por tocón del cafeto cuando este es de dos o tres ejes. El primer deshije se realiza tres a seis meses después de la poda, eliminando los rebrotes dos o tres veces al año (ANACAFE, 2006).

4.1.16 Malezas

Se define como malezas, las plantas que se desarrollan dentro del área del terreno que son ajenas al cultivo que se está trabajando.

Clasificación de las malezas según su ciclo de vida: anuales: completan su ciclo de vida durante un año al final del ciclo producen semillas para supervivencia. Bianuales: comprenden dos fases, durante el primer año desarrollan su tejido vegetativo y durante el segundo año florecen y fructifican. Perennes, completan su ciclo de vida en más de dos años, pueden reproducirse por semilla o partes vegetativas, generalmente tienen buena capacidad de regeneración (ANACAFE, 2006).

4.1.16.1 *Manejo de malezas*

Para realizar un control efectivo e integral de malezas en los cafetos se debe tomar en consideración el tipo de maleza predominante, el tipo de suelo, la topografía y el manejo agronómico de la plantación.

- Control cultural: incluye el uso de prácticas agronómicas, como densidad de siembra, distanciamiento, manejo de sombra, coberturas, todas aquellas prácticas que permitan un vigoroso crecimiento del cultivo para evitar la competencia desfavorable con las malezas.
- Control biológico: ejercido por insectos, hongos, virus, bacterias, algunas especies de animales superiores y malezas nobles de crecimiento rastrero o de porte bajo que restringen el desarrollo de plantas indeseables.
- Control mecánico: eliminar malezas utilizando equipo o herramientas agrícolas o arrancado manual de malezas con todo y raíz para evitar la propagación.
- Control químico: se realiza aplicando productos químicos conocidos como herbicidas, para reducir el crecimiento y población de malezas (ANACAFE, 2006).

4.1.16.2 *Clasificación de los herbicidas*

- En relación con la emergencia: a) preemergentes: son de tipo residual, que evitan la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. b) post-emergentes: son herbicidas que se aplican sobre las malezas, pueden causar daño a los cafetales y a las plantas utilizadas como sombra. Se clasifican por su acción en: a. Quemantes o de contacto: provocan marchitamiento y desecan inmediatamente los tejidos, b. Sistemáticos o de traslocación: penetran las plantas a través de las hojas, tallos o raíces, acumulándose en

los meristemos en cantidades tóxicas; por su selectividad: a. Selectivo por grupos de plantas: según su nombre atacan hojas de hoja ancha o gramíneas, b. Selectivo específico: son selectivos para cada cultivo y controlan específicamente las malezas (ANACAFE, 2006).

4.1.17 Manejo de enfermedades

4.1.17.1 Control Biológico

De manera natural, se observa que en pústulas de roya, aparecen como parásitos *Verticillium hemileia* y *Cladosporium hemileia* (Chalfoun, 1997).

4.1.17.2 Control Cultural

Consiste en reducir los factores que predisponen el cultivo a la enfermedad, esto se logra mediante la regulación de sombra, control de malezas, manejo del tejido productivo, densidad de siembra, fertilización, etc. (ANACAFE, 2006).

4.1.17.3 Control químico

Para garantizar el éxito del control químico es indispensable la aplicación en el momento apropiado de acuerdo al ciclo de la epidemia y su transcurso en el año (Chalfoun 1997).

Productos recomendados, caldo bordelés, chlorothalonil, oxiclورو de cobre, cyproconazole (Alto 100) Dosis: 0.5 l/ha, hidróxido de cobre, mancozeb (Dithane SC), triadimenol (Bayfidan 125 CE) dosis 2 l/ha (Chalfoun, 1997).

4.1.17.4 Tratamiento Preventivo

El control debe ser iniciado antes de que el índice de roya comience a elevarse, lo que depende de las condiciones del clima y de la planta (cantidad de hojas y producción), (Chalfoun 1997)

4.1.17.5 *Tratamiento curativo*

Para ello se utilizan fungicidas sistémicos, que pueden ser aplicados vía foliar y vía suelo. Es el tratamiento indicado cuando la roya ya se encuentra en la finca, se admiten 10% de hojas con pústulas esporuladas para realizar la aplicación y los intervalos de aplicación van de 40 a 60 días (Chalfoun 1997).

4.1.17.6 *Vía suelo*

Recomendados en aplicación única durante un ciclo de la roya, son de traslocación lenta en el caso del triadimenol. El elevado costo de estos productos limita la utilización y aisladamente la aplicación del fungicida granulado reduce el costo del 20 – 36% (Chalfoun 1997).

4.1.18 Manejo de Plagas

4.1.18.1 *Gusano minador (Leucoptera coffella)*

La mariposa oviposita en la parte superior de la hoja, el gusano que nace es de color blanquecino del tamaño de una semilla de zanahoria y su cuerpo es anillado. Este gusano vive dentro de la hoja, ya que su alimento es la parte carnosa de la misma, así que el daño que ocasiona se nota cuando se ven como quemaduras cafesosas que luego se descascaran lentamente hasta que la hoja por completo se cae de la planta (ANACAFE, 2006).

Control cultural: regulación de sombra.

Control biológico: parasitoides y diversas especies naturales tales como los pájaros y otros.

Control de especies botánicas: machacar 3 libras de hoja de tabaco, ¼ de barra de jabón negro, en cuatro galones de agua, dejar en reposo por 2 días, colar y luego aplicarlo en las áreas afectadas del cultivo (ANACAFE, 2006).

4.1.18.2 *Áfido*

Se le conoce comúnmente con el nombre de pulgón, y es un insecto pequeño, de color blanco, aunque también hay negros, verdes y amarillos; tienen forma jorobada y segregan una miel pegajosa. Nunca están solos, siempre en grupos pequeños y grandes (ANACAFE, 2006).

4.1.18.3 Escamas

Tienen forma de tortuga, de barriga plana y joroba en el lomo; existen de varios colores; verdes (*Coccus Viridis Green*), rojo oscuro (*Coccus hesperium L.*) y amarillentas (*Saissetia Oleae Bern*), tienen el tamaño de un grano de maicillo.

Control cultural: regulación de sombra en la época lluviosa.

Control de especies botánicas: mezclar litro y medio de vinagre blanco, $\frac{1}{4}$ de barra de jabón negro, en cuatro galones de agua, aplicarlo de 8 a 10 días en las áreas afectadas del cultivo. El daño que ocasionan las dos últimas plagas mencionadas (áfido, escamas) al cafetal, es que absorben el alimento de las hojas, ramas y frutos de la planta; por lo que las hojas se ponen pálidas y se caen; además echan una miel que le gusta a las hormigas y atrae a un hongo que deja una costra negra llamada fumagina que no deja respirar a la hoja, y por todo esto la planta pierde crecimiento, salud y vigor (ANACAFE, 2006).

4.1.18.4 Broca (*Hypothenemus hampei (Ferr)*)

Es la plaga de mayor importancia económica. Los huevos de este insecto son depositados en el fruto y provoca la caída de este cuanto esta pequeño; este daño se presenta en la etapa de semiconsistencia del fruto, alimentándose las larvas y pupas del endocarpio.

Control cultural: manejo y regulación de sombra, manejo de tejidos (podas), manejo de maleza.

Control manual: repela y pepena del fruto.

Control biológico: se realiza mediante el uso del parasitóide *Cephalonomia stephanoderis* enemigo natural de esta plaga, el cual es liberado en el cultivo bajando los niveles de daños económicos; este parasitóide penetra en el grano y deposita sus huevos sobre los estados inmaduros de la broca destruyéndolos al eclosionar (ANACAFE, 2006).

4.1.19 Cosecha del café

La temporada en la cual las bayas de café maduran y están listas para la cosecha varía de acuerdo con las condiciones del clima, suelo, prácticas de cultivo, la especie y la localidad. Donde existe un solo período seco más o menos bien definido, el café puede madurar como una sola

cosecha; si la temporada de lluvias está bastante bien distribuida, pueden madurar de dos a tres cosechas con intervalos durante el año. La temporada puede extenderse de desde unas cuantas semanas a varios meses, aun dentro de un medio ambiente ideal para el cultivo del café (ANACAFE, 2006).

La calidad comercial de los granos de café resulta profundamente influida por la forma en que se cosechan y benefician los frutos. Mientras más maduros sean los frutos cuando se recolectan, más elevado será el grado del grano. En forma ideal, las bayas de café se cosechan cuando están de color rojo oscuro, sin vestigio alguno de restos verdes. Donde hay disponible suficiente mano de obra y se desea café de calidad selecta, los árboles se recolectan varias veces, recogándose solo las bayas plenamente maduras. El café arábigo y, en cierto grado el robusta, tienen la desventaja de tirar su fruta después de que ha madurado más allá de cierto punto. Los rendimientos varían entre los 2400 y los 21500 kg de café de baya por hectárea (ANACAFE, 2006).

4.2 Marco referencial

4.2.1 Área de Estudio

La investigación se realizó en la región de la boca costa del suroccidente de Guatemala, en los departamentos de San Marcos, Escuintla, Quetzaltenango y Suchitepéquez en los estratos bajo-medio considerado entre los 500 a 800 m y medio alto entre los 800 a >1000 m. Según de la Cruz 1982, la zona sur occidental se encuentra en la clasificación de Bosque muy húmedo subtropical (cálido).

4.2.2 Condiciones climáticas

El régimen de lluvias es de mayor duración por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación. El patrón de lluvia varía entre 2,000 y 6,500 mm, en la costa sur, promediando 4,284 mm de precipitación total anual. Las bio temperaturas van de 21 – 25°C para la costa sur. La evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio 0.45 (De la Cruz, 1984).

Cuadro 1 Datos de geo referencia y altitud de las unidades de muestreo para el estudio epidemiológico de la roya del café causada por *H. vastatrix*. 2009 – 2010.

Localidad	Georeferenciación	Altitud (m)
El Rodeo, Escuintla	N 14°21'55" W 90°49'55"	654
El Palmar, Quetzaltenango	N 14°41'11" W 91°34'38"	935
El Palmar, Quetzaltenango	N 14°42'04" W 91°34'31"	1185
Samayac, Suchitepéquez	N 14°35'43" W 91°28'06"	800
Coatepeque, Quetzaltenango	N 14°45'05" W 91°50'39"	536
Sn. Juan Alotenango, Sacatepéquez	N14°26'17" W 90°49'15"	935
El Tumbardor, San Marcos	N 14°51'45" W 91°57'35"	770

5 OBJETIVOS

5.1 General

1. Determinar los factores epidemiológicos que favorecen la aparición de la roya causada por *Hemileia vastatrix* en café (*Coffea arábica*) en dos estratos altitudinales en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla.

5.2 Específicos

1. Cuantificar la enfermedad de la roya causada por *H. vastatrix* en café (*Coffea arábica*) para realizar análisis espacial y temporal de la enfermedad.
2. Describir aspectos relacionados a la biología de *H. vastatrix* en café (*Coffea arabica*).
3. Listar las variedades de café que se cultivan en San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla y su relación con la roya del cafeto.
4. Analizar el sistema de producción de café de los agricultores y su relación con la roya del cafeto.

6 HIPÓTESIS

La epidemiología de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*, en los departamentos de San Marcos, Escuintla, Quetzaltenango y Suchitepéquez varía en relación al estrato altitudinal y la interacción con los componentes del agroecosistema del café.

7 METODOLOGÍA

7.1 Cuantificación de la roya del café

Para este objetivo, se delimitaron parcelas de 8 surcos con 24 plantas de café de manera continua, para cada localidad, como se esquematiza en el croquis, figura, 3. En cada planta, se realizó lectura de la enfermedad en términos de incidencia y severidad en la parte media-baja de cada planta. Para severidad se empleó una escala de 0 a 5 descrita como 0: planta sana, 1= 1 – 20% de área foliar con roya, 2= 21 – 40% de área foliar con roya, 3= 41 – 60% de área foliar con roya, 4= 61- 80% de área foliar con roya y 5= 81 – 100% de área foliar con roya. Las lecturas en las diferentes parcelas se realizaron a cada 30 días. Para análisis temporal, con los datos obtenidos, se calculó la incidencia en porcentaje de la enfermedad a partir de estos datos mensuales se elaboraron gráficas del progreso de la enfermedad, con ayuda del programa Excel.

Para análisis espacial, se utilizó una matriz de 8X8, la cual fue obtenida con los datos tomados de la incidencia en plantas de café correspondientes a los 8 surcos y 24 plantas. A partir de dichos datos, se calcularon los índices de Lloyd y Morisita los cuales indican los índices de dispersión de la enfermedad. Se elaboraron mapas espaciales en dos dimensiones del progreso de la enfermedad en el espacio. Se efectuaron en promedio diez lecturas para cada localidad.

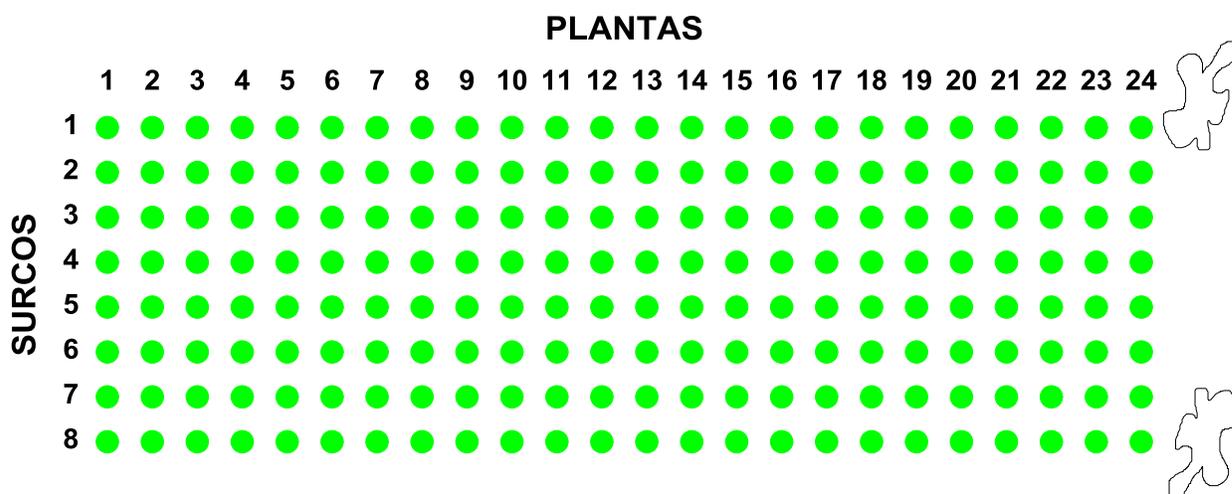


Figura 3 Arreglo espacial de la parcela de muestreo para cuantificación de la enfermedad roya del café ocasionada por *H. vastatrix*, para cada localidad de muestreo. 2009 - 2010

7.2 Describir aspectos relacionados a la biología de *H. vastatrix*

- Cuantificación de roya del café en campo. Se realizó muestreos dirigidos en los cuales se seleccionaron 10 plantas de café dentro de la parcela de 8 surcos y 24 plantas. En cada planta se marcaron dos ramas (“bandolas”) en la parte media y baja, identificadas como B1 y B2 (marcadas con etiquetas plásticas). En las que se cuantificó número de hojas con roya del café, número de hojas viejas y número de hojas nuevas.
- Número de lesiones: se realizaron muestreos dirigidos de hojas con roya en la plantación de café. La muestra consistió de 100 hojas (destrutivo) que fueron trasladadas al laboratorio de la FAUSAC donde se cuantificó el número y tipo de lesiones por hoja.
- Diámetro de lesiones: a partir de la muestra conformada por 100 hojas se le realizó lectura del diámetro cinco lesiones representativas de las que se obtuvo el promedio por hoja.
- Relación fase fenológica de la planta – síntomas. Será realizado a través de observación de síntomas de la enfermedad y se establecerá la etapa fenológica en la que se encuentra la planta de café.

7.3 Listar las variedades de café y su relación con la roya del cafeto

Para la obtención de esta información, se empleó una boleta para los agricultores de las fincas en donde se llevaron a cabo los ensayos en las distintas localidades. Además se realizaron observaciones de campo incluyendo criterios como menor diámetro de lesiones, variabilidad en la esporulación y tipos de lesiones presentes, que son indicadores en las variedades de café que presentan cierto grado de resistencia.

7.4 Manejo del cultivo de café y su relación con la roya del cafeto

Para la obtención de esta información, se empleó una boleta para los agricultores de las fincas en donde se llevaron a cabo los ensayos en las distintas localidades, la cual incluyó información relacionada al manejo del cultivo.

7.5 Análisis de la información

Análisis temporal, se realizó para los datos de enfermedad obtenidos a cada treinta días, se graficó enfermedad (incidencia o severidad en el eje de la “Y” y tiempo en el eje de la “X”). Para el

mismo conjunto de datos, se comparó el área bajo la curva de la enfermedad para cada localidad. Con los valores de enfermedad inicial y enfermedad final, se calculó “r” que constituye la tasa de incremento de la enfermedad en un periodo de tiempo. Con la ayuda del software SAS (Statistical Analysis System) se determinó el modelo que más representó la epidemia para cada localidad.

Análisis espacial, se realizó a partir de la matriz 8X8. Se elaboraron mapas de la enfermedad en dos dimensiones. Se calculó los índices de Morisita y Lloyd para determinar la dispersión a través del tiempo.

Correlación y regresión simple se realizó para determinar las variables climáticas que influenciaron en el incremento de la enfermedad.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio de la roya del café, se observó que la enfermedad se presenta principalmente en altitudes de 500 a 1200 metros. En altitudes mayores la incidencia y severidad de roya del café es menor debido al cambio de la temperatura, determinado a través de la matriz de correlación en el anexo 7. Del mismo análisis, se determinó que los factores más importantes para el desarrollo de la enfermedad son: la temperatura, precipitación, altitud, densidad de plantación y presencia de soros senescentes.

Con algunas variaciones se observó una fase de desarrollo lento en los meses de mayo a agosto; luego ocurre progreso rápido a partir de agosto o septiembre. La curva de la enfermedad alcanza la máxima intensidad de daño en el período de noviembre a febrero. En general, el mayor incremento de la enfermedad se observó durante los meses de maduración del grano y la máxima severidad durante la época de cosecha. El comportamiento de la roya difiere en las diferentes regiones en Guatemala y varía de un año a otro.

8.1 Cuantificación de la roya del cafeto

La cuantificación de la roya del café, manifestó distintos comportamientos según los estratos altitudinales bajo estudio. Esta información se obtuvo dado que, la selección altitudinal de las unidades de muestreo varió entre 500 a 1700 m, en donde se caracterizaron como estrato alto, medio y bajo. Los resultados que a continuación se presentan, corresponden a la descripción del estrato altitudinal, comportamiento temporal y espacial de la roya del café, incidencia y severidad para cada unidad de muestreo.

El método de muestreo que ofreció mejores resultados fue el de lectura de incidencia por planta en las unidades de muestreo. Para obtener este resultado se evaluaron dos métodos: el primero consistió en muestreo de la población de la parcela conformada de 192 plantas, donde se realizó inspección visual del área foliar para identificar la presencia de roya en cada una de las plantas. Se observó que la roya inicia en las hojas viejas principalmente en la parte baja de la planta. El segundo método de muestreo consistió en la selección de 20 ramas en el estrato medio y bajo de las plantas dentro de las unidades de muestreo. En dichas ramas se cuantificó el número total de hojas y aquellas con síntomas de roya. Este método de cuantificación de roya tiene la ventaja que

es práctico, rápido y menos laborioso. Sin embargo, los resultados pueden variar dado que en la rama elegida, no siempre es en la que se inicia la roya y se generan valores de cero enfermedad, algo que no acontece pues en otras ramas de la planta puede haber enfermedad. Este método es recomendable cuando la enfermedad presenta una distribución horizontal y vertical uniforme en la planta. Según Avelino *et al.*, 1991, la epidemia de roya se caracteriza por iniciar en las hojas bajas del centro de la planta, algo que debería evaluarse para las condiciones de Guatemala.

Por lo anteriormente expuesto, los datos utilizados para la discusión en este trabajo están basados en el método de cuantificación de incidencia por parcela, dado que se obtuvo mayor representatividad del desarrollo de la roya en las diferentes unidades de muestreo. La técnica de muestreo por parcela puede ser incorporada en las fincas de café para detectar oportunamente brotes o focos de roya, que servirá como criterio para el establecimiento de métodos de manejo por ser dirigida, práctica y objetiva, tal como se observa en la figura 4.

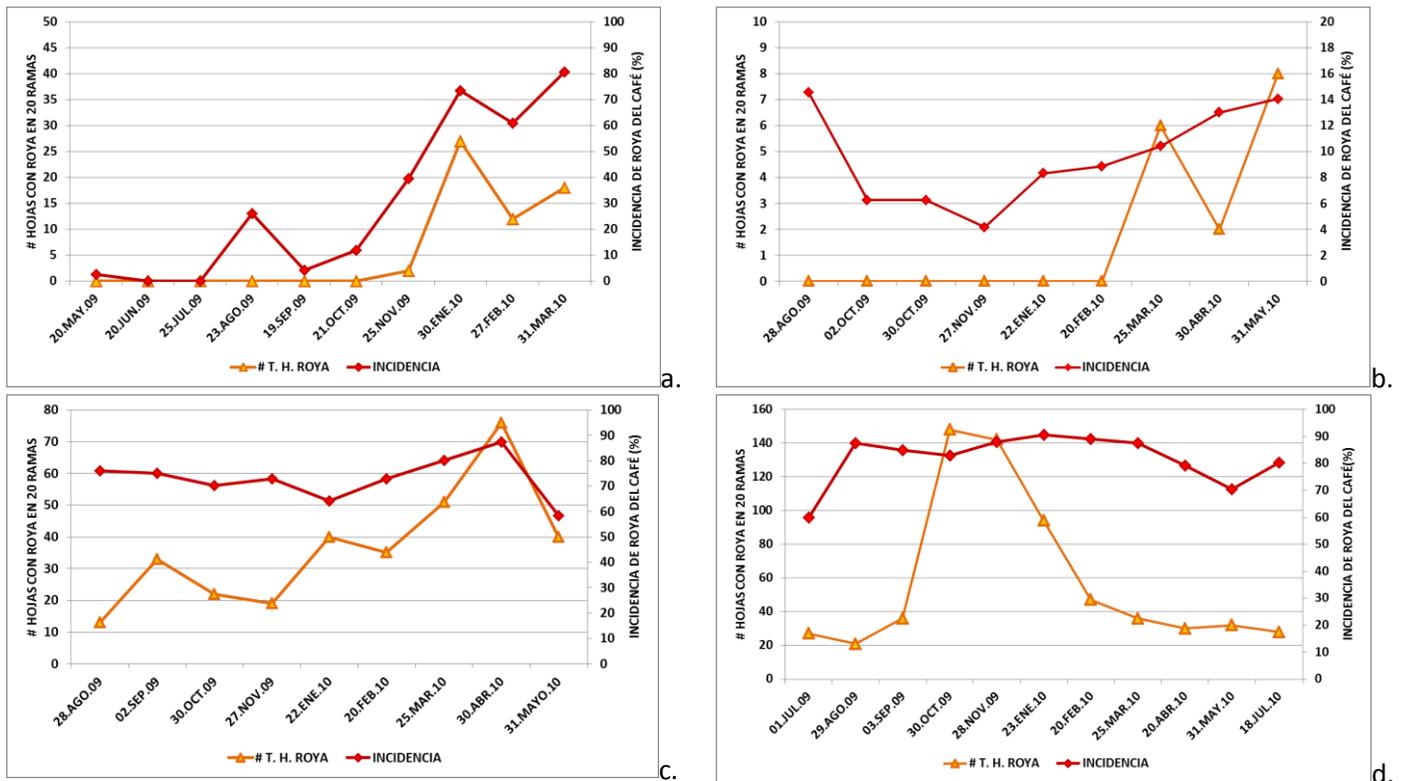


Figura 4 Curvas del progreso de la roya del café, en los métodos de muestreo para cuantificación de incidencia de roya: en plantas, línea naranja (INCIDENCIA) y en hojas de ramas del estrato medio y bajo de la planta de café, línea roja (# T.H. ROYA). Se observa relación entre curvas cuando hay uniformidad de la enfermedad. Ej. Unidad de muestreo El Palmar, Quetzaltenango (c.), en unidades restantes la dispersión es agregada.

8.1.1 Cuantificación de la roya en el estrato alto

Incluyó las unidades de muestreo ubicadas entre los 1000 a 1700 msnm. Este estrato se caracteriza por presentar temperaturas alrededor de los 21 °C, precipitación anual de 3569 mm (2009) y 5665 mm (2010) y humedad relativa promedio anual de 82%. Bajo este contexto, las unidades de muestreo y departamentos seleccionadas para este estudio se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2 Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato alto, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*. 2009 – 2010.

Localidad	Localización	Altitud	Variedad
El Palmar, Quetzaltenango	N 14°42'04" W 91°34'31"	1185 m	Catimor
San Juan Alotenango, Sacatepéquez	N14°26'17" W 90°49'15"	1200 m	Caturra
San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos	N 14°41'11" W 91°34'38"	1700 m	Catuaí

Para el estrato alto se cuantificaron valores de incidencia de roya del café entre 0 – 15 % en diferentes variedades. En la altitud de 1700 m que corresponde a la altitud máxima para este estudio, que coincide con la frontera cafetalera en Guatemala, se observaron los valores de 0% de incidencia que corresponde al valor más bajo registrado para el periodo de estudio. Al disminuir la altitud, situado bajo las condiciones de El Palmar, Quetzaltenango a 1185 m, se cuantificó valores máximos de incidencia de roya de 15% en una línea de catimor empleada por el agricultor.

En la localidad de El Palmar, en el análisis temporal de la enfermedad, se observó que para estas condiciones se reduce la roya del café durante el periodo de 02 de octubre 2009 al 22 de enero 2010. A partir de enero 2010, época que coincide con la cosecha del café para este estrato, la enfermedad se incrementa con tasa de 0.13 plantas por día, esto indica que la enfermedad aumenta lentamente en el tiempo, hasta alcanzar 14% de incidencia el 18 de julio de 2010, valor que comparado con las demás localidades es bajo.

Respecto a la distribución espacial en la misma localidad basado en los índices de Lloyd & Morisita la enfermedad se caracterizó por ser agregada durante todo el estudio figura 5 (c.). La severidad de roya cuantificada con la escala arbitraria, fue de uno valor que representa del 01 - 20% del área foliar con síntomas de roya del café, posteriormente durante los meses de abril a julio 2010 se incrementó la severidad al grado dos valor que representa del 21 – 40% del área foliar con síntomas de roya, figura 5 (b.).

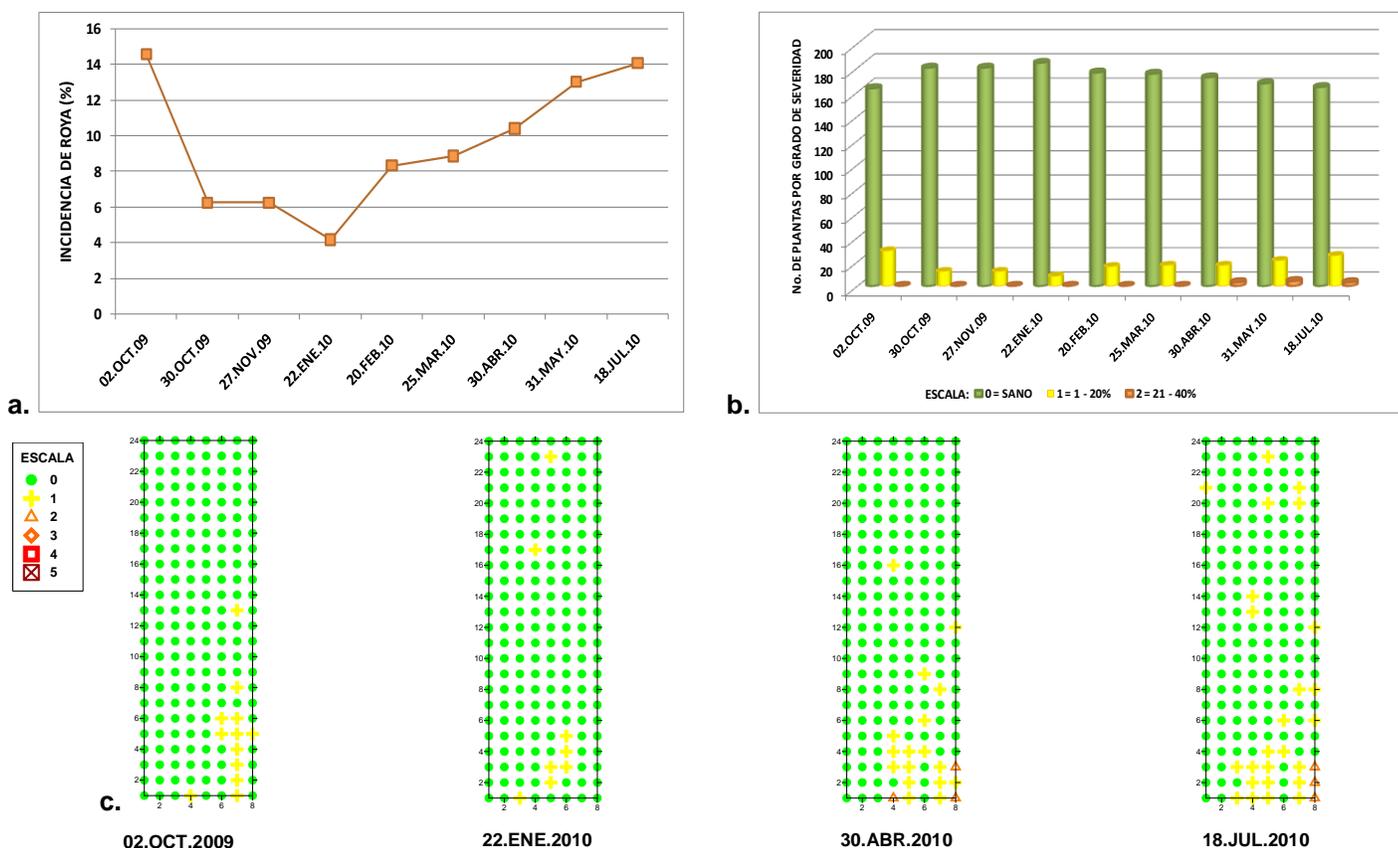


Figura 5 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 1185 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 02/10/2009 al 18/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Palmar, Quetzaltenango, 2009 – 2010.

Al incrementarse la altitud bajo las condiciones de San Juan Alotenango, Sacatepéquez a 1200 m, la roya afecta principalmente en el periodo del 19 de septiembre 2009 al 27 de febrero 2010, periodo en el que la incidencia fue de 80% de roya del café, valor que corresponde al máximo cuantificado para la localidad en plantas de la variedad caturra, figura 6 (a.). Respecto a la tasa de incremento de la enfermedad durante el periodo del 21 de octubre al 25 de noviembre 2009 fue de 1.13 plantas por día, época que coincide con el inicio de la cosecha en la localidad. Este aumento acelerado de la enfermedad probablemente se debe al movimiento de personas dentro de los cafetos y transporte de hojas enfermas. Según Rayner 1980, la dispersión de la roya es favorecida por viento, lluvia y principalmente por el paso de personas debido a la cosecha de café, evento que coincide con la actividad cafetalera de la región de Sacatepéquez.

En esta localidad del 20 de mayo al 25 de julio 2009 fue un periodo de baja incidencia de roya con valores 0 a 2% de roya del café, época en la que se puede establecer planes de manejo preventivo de la enfermedad para evitar los niveles altos durante los siguientes meses.

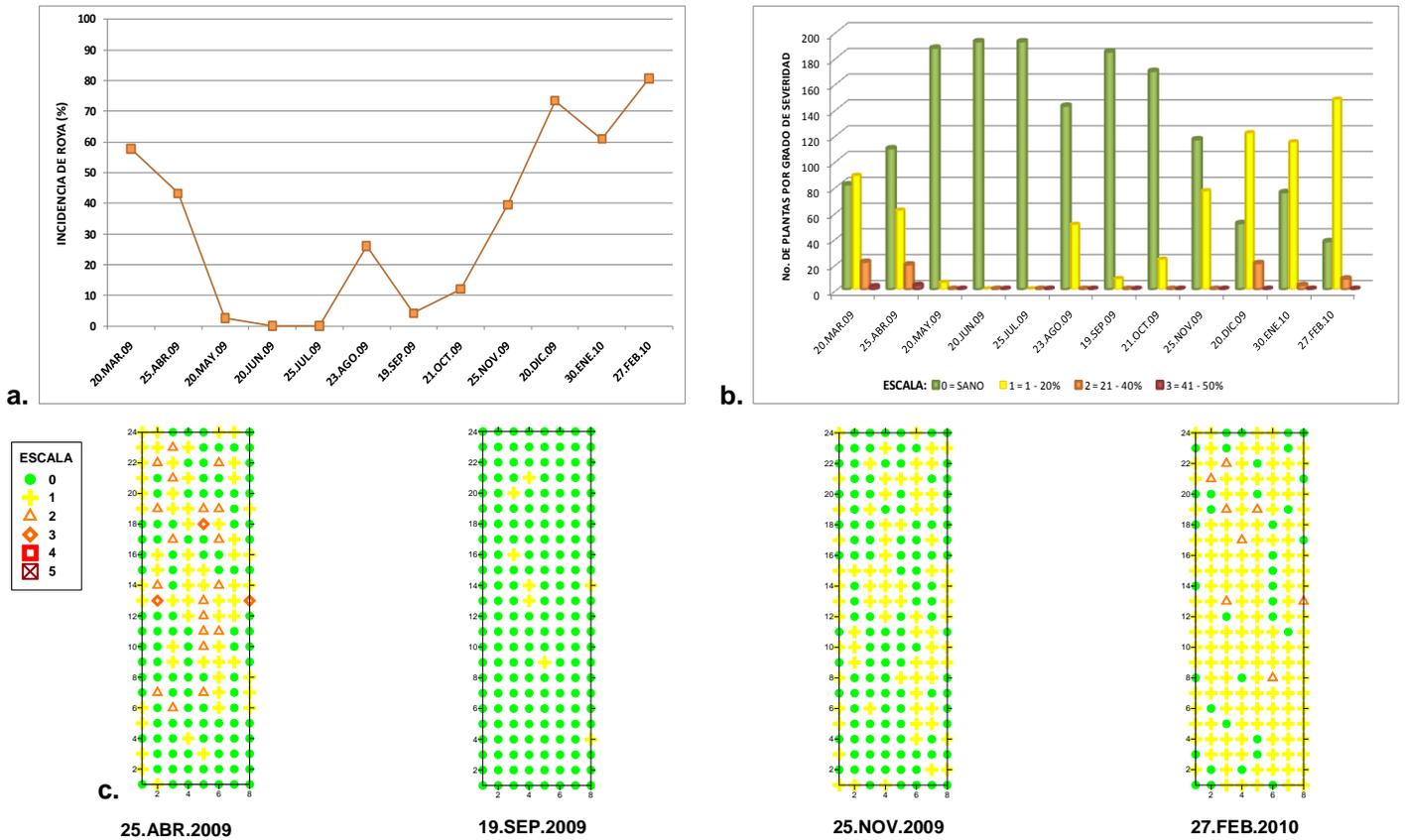


Figura 6 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 1200 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 20/03/2009 al 27/02/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, San Juan Alotenango, Sacatepéquez. 2009 - 2010

En relación a la severidad de la roya del café, para la localidad de San Juan Alotenango, el grado uno que corresponde del 01 – 20% de área foliar dañada por roya, fue el valor de daño más frecuente. El 20 de diciembre de 2009 con altos valores de incidencia, también se observó aumento de la severidad de roya a grado dos que corresponde del 21 – 40% del área foliar dañada por roya, cuantificado en 20 plantas de 192. Según el análisis de correlación, la incidencia de roya presenta índice de 0.99 respecto a la severidad de roya en el grado uno. En el análisis espacial, la dispersión de la roya para esta localidad y condiciones de evaluación, basado en los índices de Lloyd & Morisita, durante el periodo de marzo a mayo 2009 y el mes de septiembre 2009 se determinó que la dispersión de roya es en agregados, mientras que en el mes de agosto 2009 y en el periodo de octubre 2009 a febrero 2010 el comportamiento de la enfermedad fue uniforme en la plantación de café, figura 6 (c.).

Basado en este estudio exploratorio, se puede concluir que existen brotes de roya del café para el estrato alto de la caficultura en Guatemala. Los valores de incidencia son bajos, no se observó

defoliación de las plantas afectadas y generalmente se presenta en áreas con poca sombra de manera agregada. Bajo estas condiciones ambientales, se desarrollan otras enfermedades como por ejemplo ojo de gallo ocasionada por *Mycena citricolor*, que es considerado como el principal problema en el estrato. Con la incidencia de roya observada para este estrato, el manejo puede superarse a través de los programas de manejo implementados en las fincas para el control de otras enfermedades. Según Avelino *et al.*, 1991, las investigaciones realizadas en el sureste de México demostraron que tanto el desarrollo como la amplitud de la curva del progreso de la enfermedad están relacionados con el periodo de latencia de la roya y varía en función de la altitud, bajo las condiciones del sur este de México la máxima infección alcanzada a 1100 m fue de 16% a diferencia de la altitud de 460 m en la que la infección máxima fue de 32%. Las cuantificaciones de roya del café para el estrato alto son similares a las observadas en Guatemala durante el periodo 2009 al 2010.

8.1.2 Cuantificación de la roya en el estrato medio

Incluyó tres unidades de muestreo en localidades ubicadas entre los 800 a 1000 m de altitud. El estrato se caracteriza por presentar temperatura alrededor de 22 °C, precipitación anual de 4300 mm, humedad relativa promedio de 80%. Estas condiciones climáticas, en presencia de inóculo del hongo y hospedero susceptible son adecuadas para el desarrollo de la epidemia de roya del café. Los datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de este estrato se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3 Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato medio, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*. 2009 – 2010.

Localidad	Localización	Altitud	Variedad
El Palmar, Quetzaltenango	N14°41'11" W 91°34'38"	935 m	Bourbon y Catuaí
Samayac, Suchitepéquez	N14°35'43" W 91°28'06"	800 m	Caturra

En este estrato para la localidad de Samayac se observó la máxima incidencia de roya cuantificada para el estudio con valores de 90%, en la variedad caturra en una plantación de café con poda de recepa de tres años. El incremento de la roya del café se observó en los meses de mayo a junio 2009 con tasa de incremento de la enfermedad de 1.8 plantas por día y para los meses de julio a agosto 2009 con tasa de 0.9 plantas por día. La epidemia de roya permaneció con valores entre 82 a 90% de incidencia durante los doce meses siguientes (2009 – 2010), figura

7 (a.), que son considerados altos respecto a los observados en otras altitudes. En relación a la severidad de roya, para las condiciones de esta unidad de muestreo, el valor máximo de daño cuantificado fue el 23 de enero 2010 correspondiente al grado tres, dicho grado indica que la planta presentó del 41 – 60% del área foliar afectada por roya, valor que se cuantificó en la mayoría de las plantas. En el análisis espacial, el 01 de mayo 2009 la roya del café se presentó de forma agregada, a partir del incremento de incidencia la distribución fue uniforme del 08 de julio 2009 al 20 de agosto 2010, según los índices de Lloyd & Morisita, figura 7 (c.).

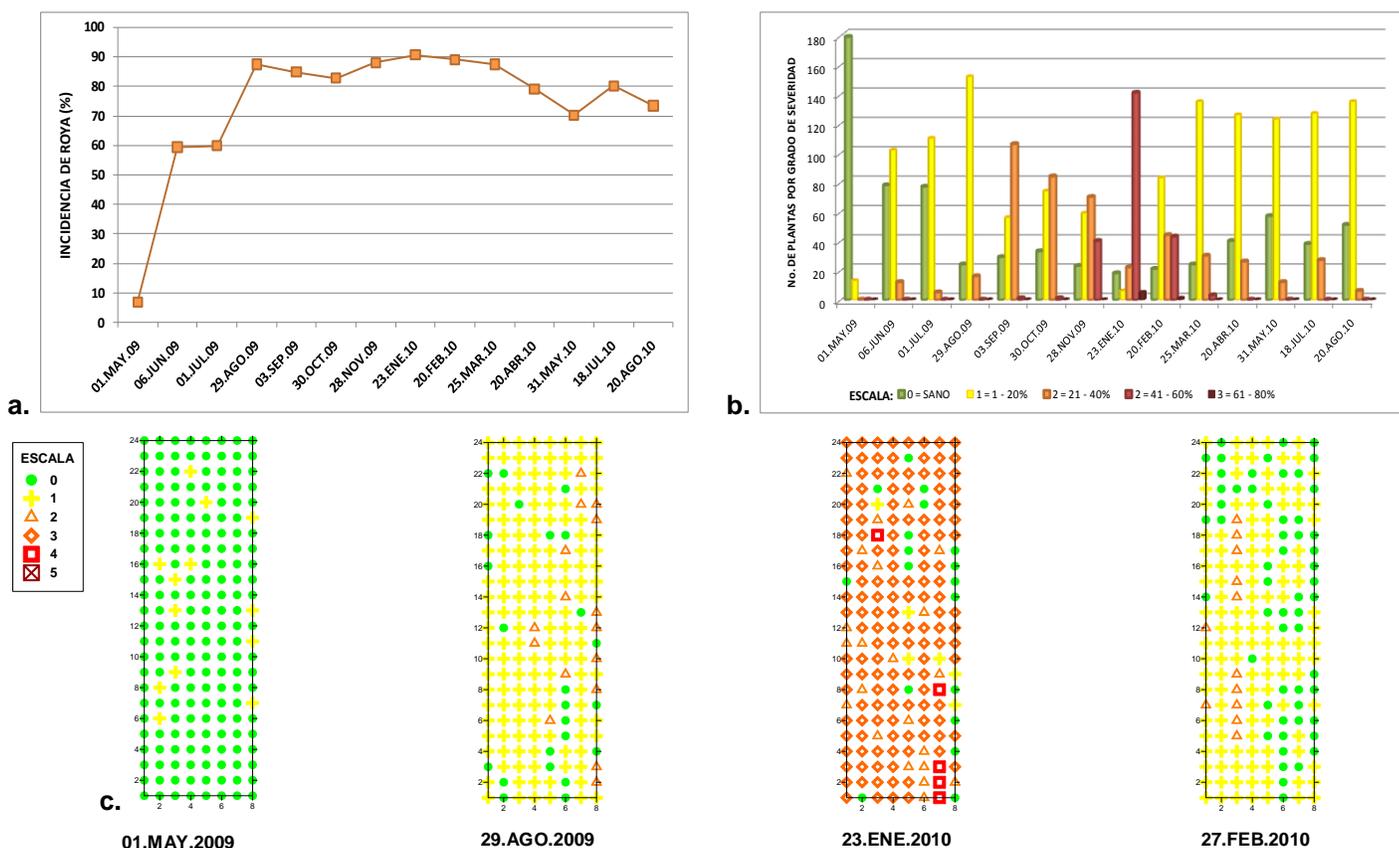


Figura 7. Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 800 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 01/05/2009 al 20/08/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Samayac, Suchitepéquez. 2009 – 2010.

Para las condiciones de El Palmar, Quetzaltenango, a 935 m de altitud, la enfermedad mantiene distribución uniforme durante todo el año en plantas de las variedades Bourbon y Catuaí, ambas consideradas como variedades susceptibles a roya. Bajo este contexto, se cuantificó valor de incidencia máxima de 88% durante el mes de abril 2010. A partir del mes de enero 2010 se observa que la roya del café manifiesta un crecimiento con tasa de incremento de 0.29 plantas por día, la cual indica que la enfermedad aumenta de manera lenta, probablemente debido a que

durante todo el ciclo hay inoculo de roya el cual limita el área foliar disponible para nuevas infecciones, figura 8 (a).

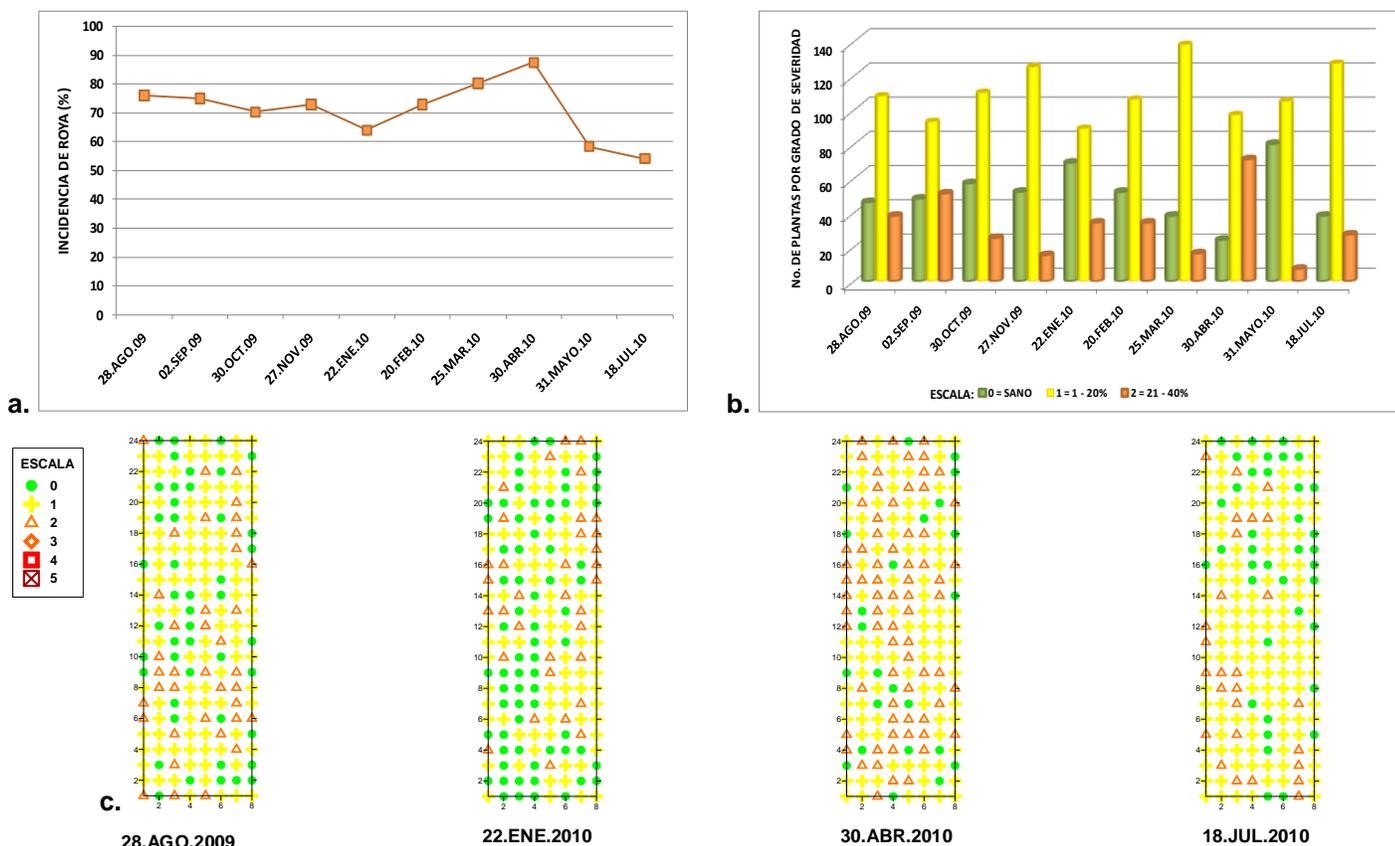


Figura 8 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 935 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 28/08/2009 a 18/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Palmar, Quetzaltenango. 2009 – 2010.

Respecto a la severidad bajo las condiciones de El Palmar, se cuantificó que el valor más frecuente fue el grado uno que corresponde del 01 – 20% del área foliar con roya. Sin embargo, el grado de severidad dos que representa del 21 – 40% de área foliar con roya, presentó índice de correlación de 0.6 respecto a la incidencia. En el análisis espacial la dispersión de roya según los índices de Lloyd & Morisita, la roya del café para esta localidad se presentó de forma uniforme durante todo el ciclo de estudio (2009 – 2010), debido al uso de dos variedades susceptibles a roya las cuales están sometidas a condiciones ambientales favorables y alto inoculo del patógeno durante todo el año.

El agroecosistema de café en Guatemala se caracteriza por ser bajo sombra la cual favorece formación de microclimas, condiciones que permiten la convivencia entre el patógeno y

hospedero. De acuerdo al análisis de la información del estrato medio considerado entre 800 a 1000 m, este constituye el rango altitudinal de la caficultura guatemalteca que presenta las condiciones climáticas apropiadas para el desarrollo de epidemias ocasionadas por roya del café especialmente en variedades susceptibles como caturra, catuaí, bourbon, entre otras, condiciones en las que existe una conjugación de factores que permiten el progreso de la enfermedad en tiempo y espacio, ocasionando que la roya del café sea una epidemia importante para los agroecosistemas ubicados entre estas altitudes.

En este estrato se observó que la intensidad o severidad aumenta durante los meses de septiembre a enero bajo condiciones favorables, tales como altitud de 800 m, uso de variedades susceptibles, temperatura promedio de 22 °C y precipitación anual de 4300 mm. Según Rivera 1985, el desarrollo de la roya del café en la altitud de 1000 m y precipitación anual de 2,000 mm en el departamento de Santa Barbara, Honduras durante los años de 1982 a 1983, manifestó un crecimiento acelerado a partir del mes de septiembre en el que se cuantificó 70% de intensidad de roya del café, además variaciones en los periodos de aumento o reducción de la enfermedad en los diferentes años del estudio, aspectos que son similares a lo cuantificado durante el estudio. Sin embargo, para las condiciones de este estrato se observó que el máximo de incidencia de roya alcanzado para el periodo 2009 – 2010, es 90% y manifestó el crecimiento acelerado a partir del mes de mayo 2009.

Según ANACAFE, 2000, la roya del café fue considerada una enfermedad importante en los cafetales establecidos en altitudes desde los 500 m a los 800 m de altitud y en variedades susceptibles. Posterior a la caída de los precios el mercado demandó cafés de altura y de calidad lo que dio como resultado el desplazamiento de la frontera cafetalera a altitudes superiores a los 700 msnm y el uso de variedades resistentes a roya como los catimores. A partir de los años 2008 – 2010 se reportó incremento de la enfermedad, que se considera pudo ser promovido por el cambio climático. Las condiciones ambientales y del cultivo han favorecieron a la roya del café, desplazándola junto con la frontera cafetalera a altitudes en las que antes no se reportaba la enfermedad, siendo el estrato medio el de mayor incidencia y severidad de roya del café.

A partir de lo observado en el estrato medio se puede mencionar que respecto al control de la enfermedad se requiere de un programa de manejo que incluya el control preventivo durante los

meses de abril a mayo y durante los próximos meses principalmente agosto a septiembre, el empleo oportuno de productos químicos o agentes de control biológico; dichos agentes pueden ser establecidos exitosamente durante los periodos de lluvias, estas actividades ayudarían a mantener niveles bajos de roya, algo que debe ser evaluado. A mediano y largo plazo, se debe recomendar la siembra de variedades resistentes a roya como: Catimor, el cual debe considerarse para altitudes inferiores a los 1,000 m debido a la susceptibilidad de dichos genotipos a la enfermedad de ojo de gallo, que es considerada como principal para estrato alto y la variedad Sarchimor ya estas han sido consideradas como resistentes a roya del café en Guatemala. En el futuro se debe considerar el uso de: Icatu, Tupi, Obata, Katipo, Catucaí, Paraíso y Oeiras, que son variedades utilizadas en Brasil por su resistencia a roya, algunas de estas se encuentran en fase de validación en ensayos de campo en Guatemala.

8.1.3 Cuantificación de la roya del café en el estrato bajo

Para este estrato, se buscó el límite inferior de la frontera del café, la cual para el periodo 2009 – 2010 se encontró distribuida en pocas extensiones del cultivo, dichas áreas están ubicadas entre los 500 a 800 m. A esta altitud se observó el reemplazo del cultivo de café por árboles maderables, cultivo de hule y caña de azúcar. Las condiciones climáticas del estrato son caracterizadas por: temperatura de 24°C, precipitación anual 4345 mm y humedad relativa promedio de 75 %. Estas condiciones favorecen el desarrollo de la roya del café, sin embargo, en este estrato tienen importancia aquellas fincas situadas entre los 700 a 800 m.

En altitudes inferiores el cultivo de café ya no tiene importancia para las condiciones de la costa sur occidental de Guatemala, debido principalmente a la calidad del grano y la sustitución por otros cultivos. Los datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo del estrato bajo se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4 Datos de pasaporte correspondientes a las unidades de muestreo de roya en el estrato bajo, estudio epidemiológico de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*. 2009 – 2010.

Localidad	Localización	Altitud	Variedad
El Tumbador, San Marcos	N 14°51'45" W 91°57'35"	770 m	Caturra
El Rodeo, Escuintla (Finca Sabana Grande)	N 14°21'55" W 90°49'55"	654 m	Caturra
Coatepeque, Quetzaltenango	N 14° 45'05" W 91°50'39"	536 m	Caturra

En el análisis temporal de la roya para estas condiciones se registró incidencia de 96%, a 536 m en la variedad caturra. El incremento de la epidemia de roya en el 2009 se observó a partir del 22 de agosto con incidencia del 6% a una tasa de incremento de 0.71 plantas por día.

En el periodo del 03 de octubre al 30 de octubre 2009 se observó aumento acelerado de roya del café periodo durante el cual se cuantificó 82% de incidencia de roya con tasa de incremento de 1.84 plantas por día y a partir del 30 de octubre 2009 al 25 de marzo 2010 se cuantificaron valores de incidencia de roya de 80 a 94% de roya del café. A partir del mes de marzo 2010 la roya decrece hasta el 21 de agosto 2010 a 40% de incidencia de roya, figura 9 (a.). Se observó que los valores de incidencia de roya de un año a otro no siempre se manifiestan igual. Los valores pueden variar como ocurrió en esta localidad en donde se observó 6% de incidencia en el año 2009 y 40% de incidencia en el año 2010 para el mes de agosto. Por ello, la cuantificación

periódica de la enfermedad es importante debido a que los programas de manejo tendrán que modificarse basados en los registros de enfermedad.

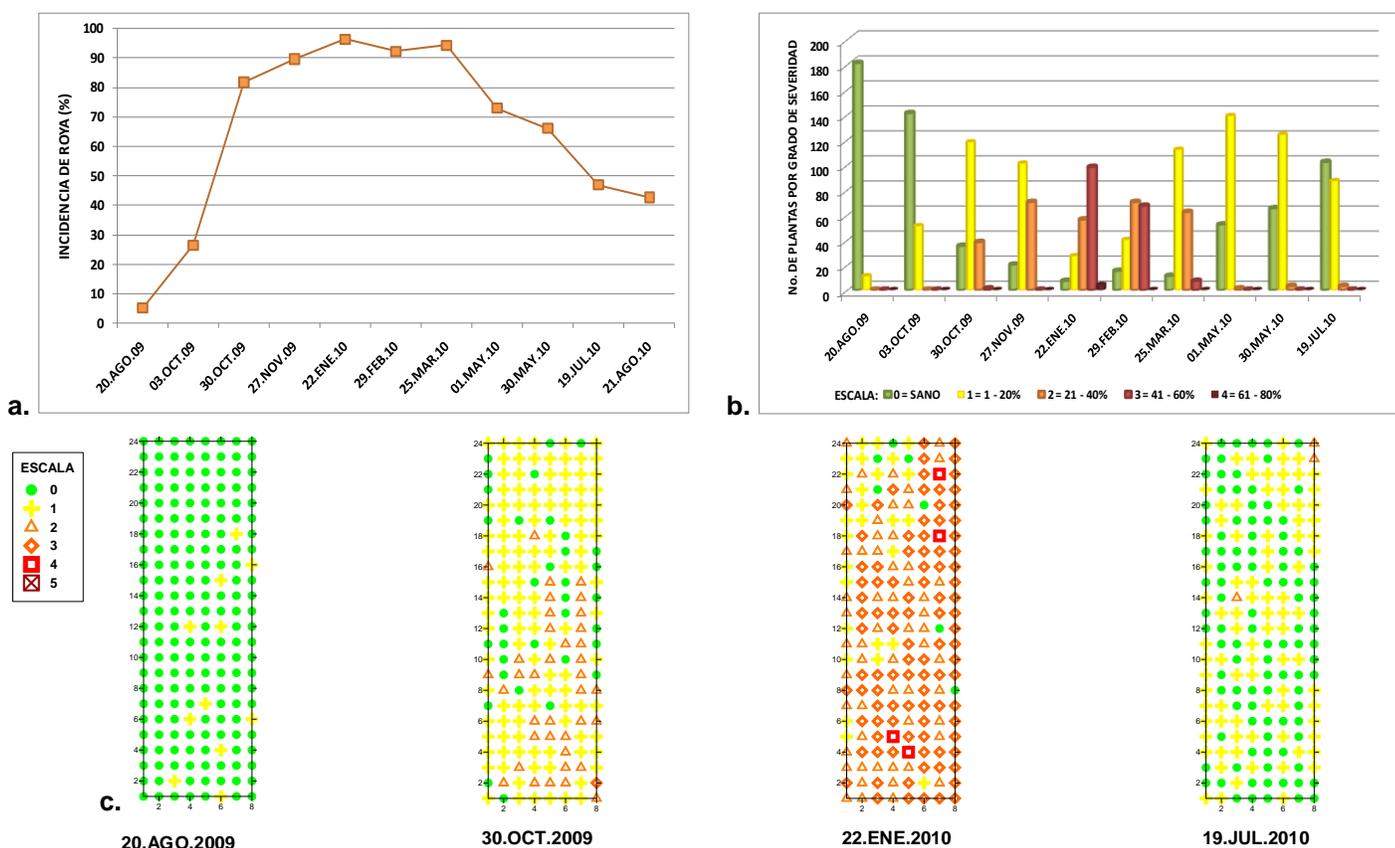


Figura 9 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 536 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 20/08/2009 a 21/08/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Coatepeque, Quetzaltenango. 2009 – 2010.

Respecto a la severidad de roya del café, se observó que bajo las condiciones de Coatepeque, se incrementó durante los meses de octubre 2009 a febrero 2010. Durante el mes de enero 2010, se cuantificó severidad del grado 3, el cual corresponde del 41 – 60% de área foliar afectado por roya, figura 9 (b.), con este grado para la misma época, se observó defoliación de las plantas de café. Según el análisis de correlación, para la variable de incidencia de roya se obtuvo índice de 0.80 respecto al grado de severidad dos el cual corresponden del 21 a 40% del área foliar afectada por roya. En el análisis espacial la dispersión de roya el 20 de agosto y el 03 de octubre de 2009, se presentó en agregados. A partir del 30 de octubre 2009 al 21 de agosto 2010 la epidemia de roya se consideró uniforme, según los índices de Lloyd & Morisita, figura 9 (c.).

En el estudio de la roya del café para las condiciones de la finca Sabana Grande, ubicada en El Rodeo, Escuintla a 654 m; bajo la administración de la FAUSAC, en el análisis temporal se cuantificó 90% de incidencia de roya en la variedad caturra, fue el valor máximo de la curva del progreso de la enfermedad y corresponde al mes de marzo 2009. A partir de ese mes a mayo 2009, la epidemia de roya se redujo a un valor de 30% de incidencia, figura 10 (a.). Sin embargo, durante los meses de mayo a julio 2009 se cuantificó 45% de incidencia de roya. En los meses de agosto a septiembre del 2009, se cuantificó 55% de incidencia de roya con tasa de incremento de 0.92 plantas. En el periodo de octubre 2009 a febrero 2010 la incidencia se mantuvo entre 60 a 80% a una tasa de incremento de 0.11 plantas.

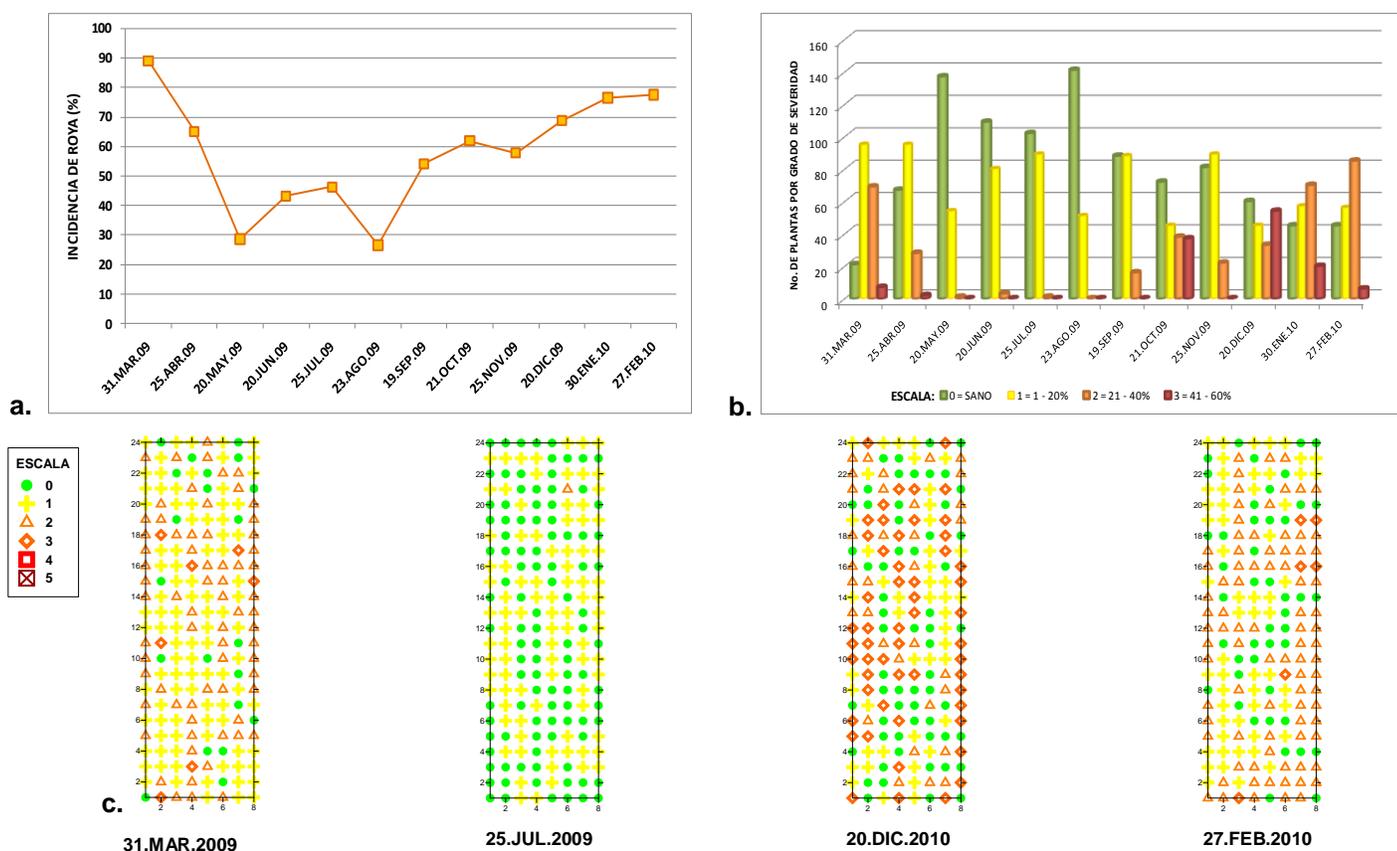


Figura 10 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 654 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 31/03/2009 a 27/02/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, Finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. 2009 – 2010.

Respecto a la severidad de roya del café para la misma localidad, el grado uno que corresponde del 01 – 20% del área foliar con roya, fue el valor más frecuente. Se observó a partir del mes de octubre 2009, incremento del daño por roya al grado dos siendo del 21 – 40% de área foliar dañada por roya, con índice de correlación de 0.85 respecto a la incidencia de roya. En el análisis

espacial según los índices de Lloyd & Morisita, la roya del café para las condiciones de Sabana Grande en la variedad caturra se consideró como uniforme para los periodos del 31 de marzo de 2009 al 20 de mayo de 2009 y del 20 de agosto 2009 al 27 de febrero de 2010, mientras que para el periodo del 20 de mayo 2009 al 20 de agosto 2009 fue agregada la dispersión de roya del café. Para la localidad de El Tumbador, San Marcos, a 770 m de altitud se registró 70% de incidencia de roya. Durante los meses de julio a noviembre 2009, se cuantificó 3% de enfermedad. En los meses de noviembre 2009 a enero 2010 inicia la epidemia de roya con 30% de incidencia a una tasa de incremento de una planta por día. En el periodo de enero a julio 2010 con incidencia de 70% de roya, esta se incrementa con tasa de 0.23 plantas por día incremento que se considera lento.

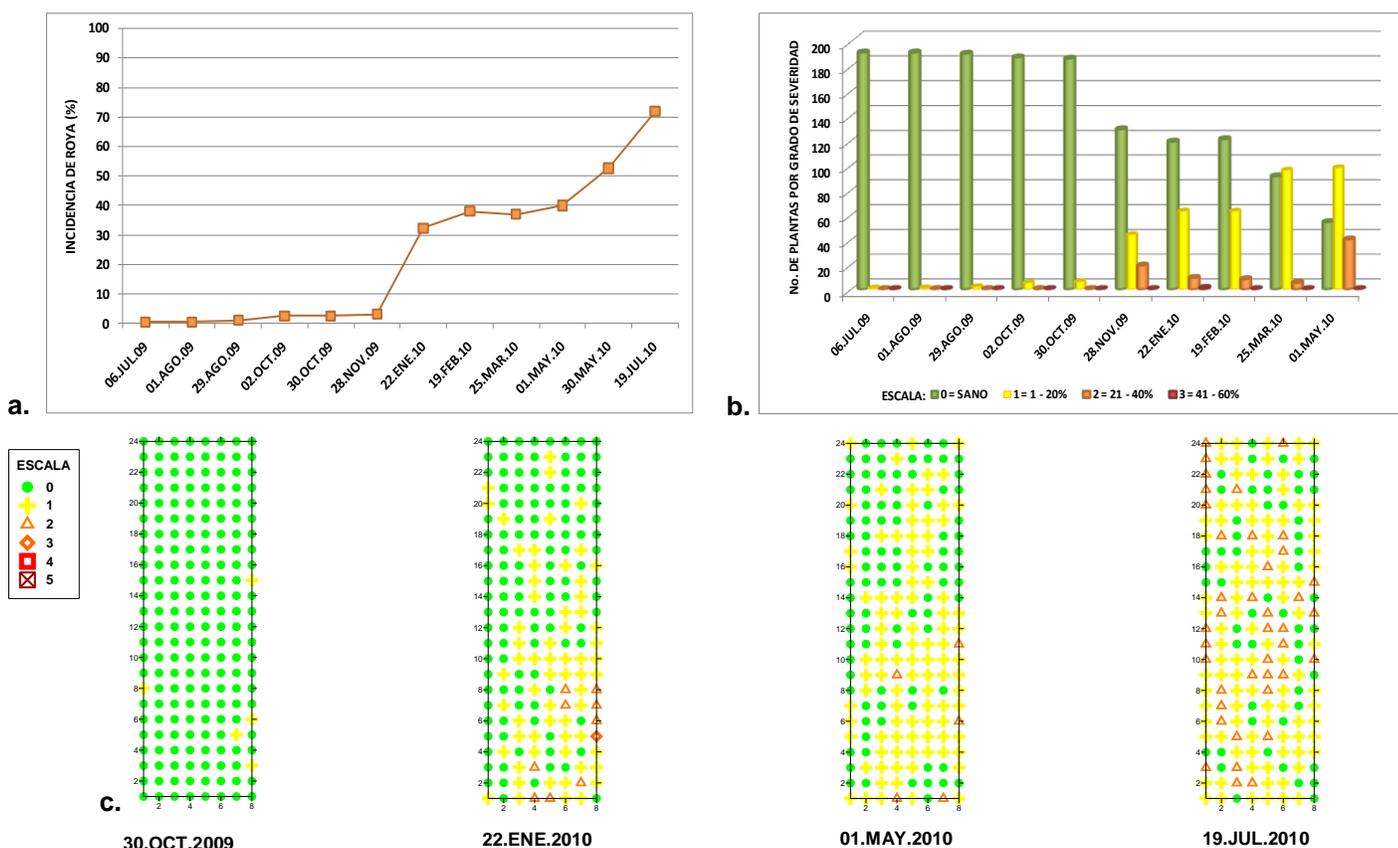


Figura 11 Estudio de epidemiología de la roya del café causada por *H. vastatrix* a 770 msnm. a). Curva del progreso de la enfermedad, b). Severidad observada durante 06/06/2009 a 19/07/2010, c). Análisis espacial de la roya presentado en mapas bidimensionales, El Tumbador, San Marcos.

En el análisis de la severidad de roya para la localidad de El Tumbador, el grado uno (01 – 20% de área foliar con roya), fue el daño más frecuente y aumentó a partir del mes de octubre 2010. Para el análisis espacial de roya según los índices de Lloyd & Morisita durante los meses de julio a

agosto 2009, se presentó de forma aleatoria, a partir del mes de noviembre 2009 a mayo 2010 fue agregada. Para el mes de julio 2010 fue uniforme la dispersión de roya.

Las condiciones ambientales del estrato bajo, basado en la incidencia y severidad observadas son catalogadas como favorables para el desarrollo de la epidemia de roya del café. En este estrato, la temperatura es un factor que ayuda al desarrollo de la enfermedad y se determinó 24°C promedio con sus respectivas variaciones, combinado a una alta humedad relativa y más de 4000 mm de precipitación hace que sea un ambiente propicio para la roya del café. Según Avelino *et al.* 1991, la curva del progreso de la enfermedad es influenciada por la temperatura, ya que afecta los periodos de latencia de las esporas de roya, al acortarse dicho periodo se observa que la intensidad de la enfermedad aumenta. Según Santacreo *et al.* 1983, a 750 m de altitud en Honduras, observaron aumento de la roya del café a partir de los meses de agosto y septiembre 1982, en los que la temperatura se mantuvo entre 18 a 27 °C, con un promedio de 23 °C, condición similar a la del estrato en mención. Tal como se mencionó con anterioridad, el cultivo de café ha perdido importancia en este estrato debido al tipo de grano obtenido y al reemplazo por otros cultivos. Por ello, para este estrato de cultivo de café, las áreas de cultivo son reducidas. En estas áreas de producción, se debe considerar el manejo preventivo como primordial opción ya que el costo de aplicación de productos sistémicos no son compensados con el volumen y calidad de café.

8.1.4 Análisis de área bajo la curva de la roya del café

En el análisis de varianza realizado con información del área bajo la curva de daño para las diferentes localidades, hubo significancia entre los valores de área bajo la curva del progreso de la roya del café. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de cuatro grupos, el primero identificado con la letra A, agrupa las localidades ubicadas en las altitudes de 935 m, 800m y 536m con valores de medias altas de área bajo la curva con 271.79, 270.98 y 237.94 unidades - % de daño, respectivamente, no existe diferencia significativa entre estos valores de acuerdo a esta prueba y probabilidad utilizada. Estos resultados concuerda con lo observado en campo y corresponde a las áreas donde se observó la mayor intensidad de roya del café que se ubican en las altitudes de 700 a 1000 metros.

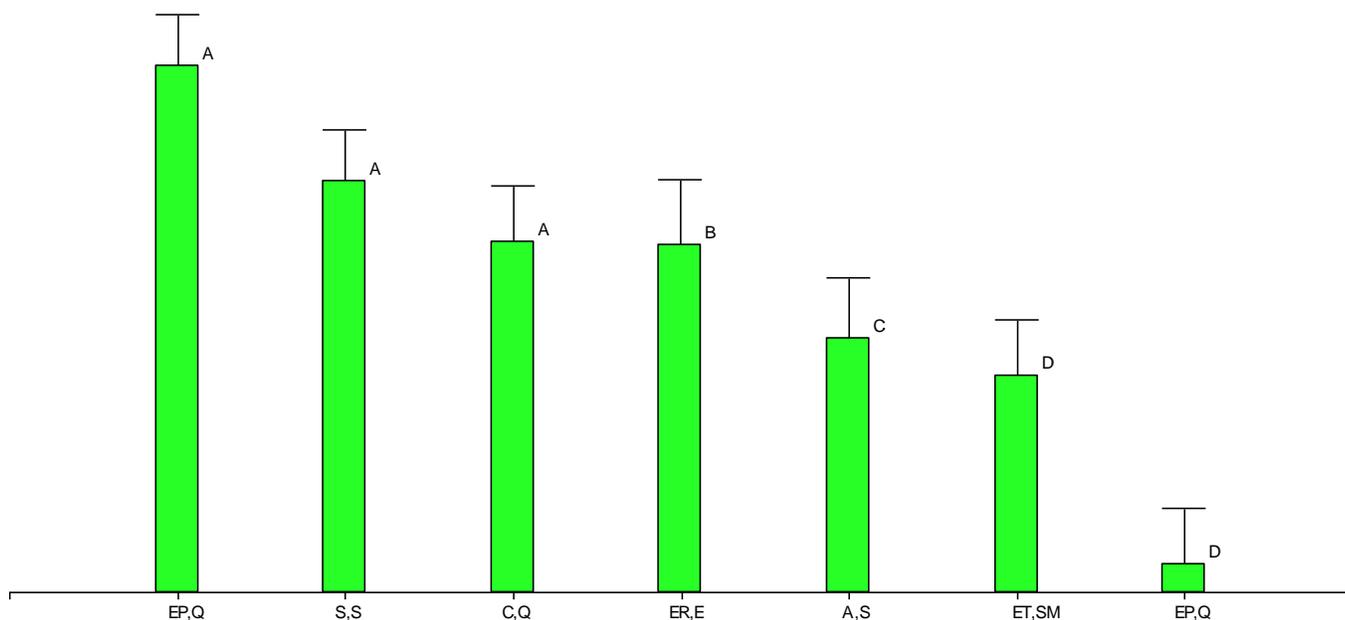


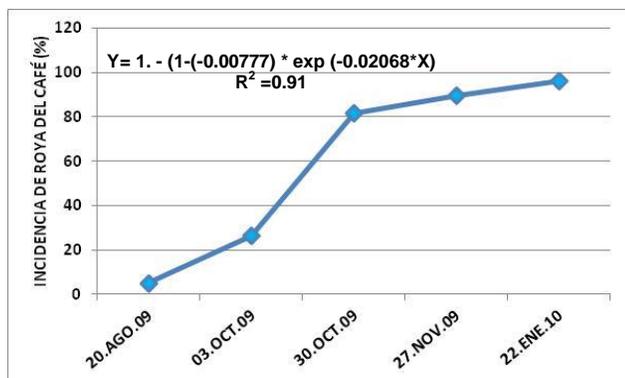
Figura 12 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café. Estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*, en las regiones central y suroccidental de Guatemala. 2009 – 2010.

El segundo grupo identificado con la letra B, fue para la localidad ubicada a 654 m con media de área bajo la curva de 223.85 unidades - % de daño. El tercer grupo identificado con la letra C, fue para la localidad ubicada a 1200 m con media del área bajo la curva de 176.36 unidades - % de daño. El cuarto grupo identificado con la letra D, fue conformado por las localidades ubicadas en las altitudes de 770 m y 1185 m, con medias de área bajo la curva de 101.61 y 65.54 respectivamente, de acuerdo a la prueba y probabilidad, este grupo tienen valores que no difieren entre ellos.

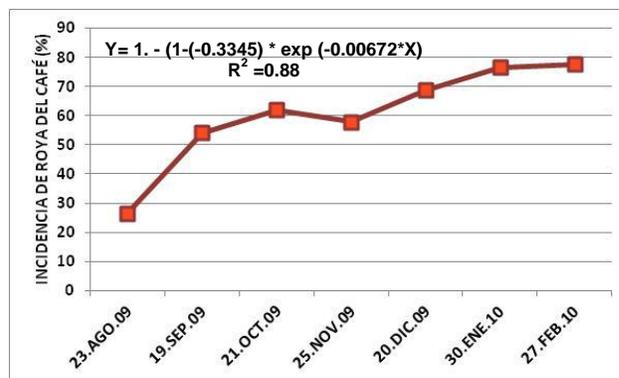
8.1.5 Determinación del modelo para datos de curvas de progreso de la roya del café.

En el análisis temporal del conjunto de datos correspondientes a un ciclo de producción de café para las localidades donde se realizó el estudio se determinó que el modelo que se adecuó a la epidemia de roya del café en Guatemala fue el Monomolecular.

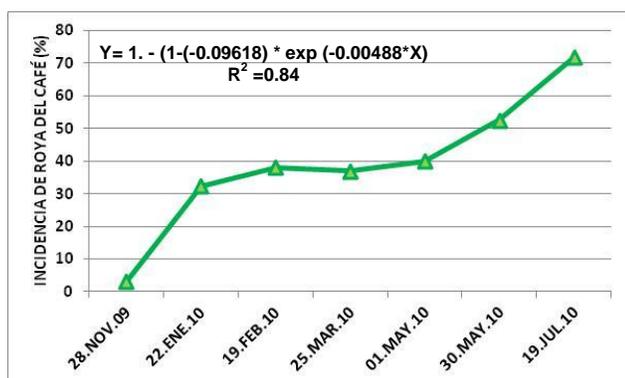
Este es un modelo no flexible, fue seleccionado a partir de R^2 entre 0.89 a 0.92, valores bajos de cuadrados medios del error y la exploración visual del gráfico de predichos versus los datos de campo, cuadro 5.



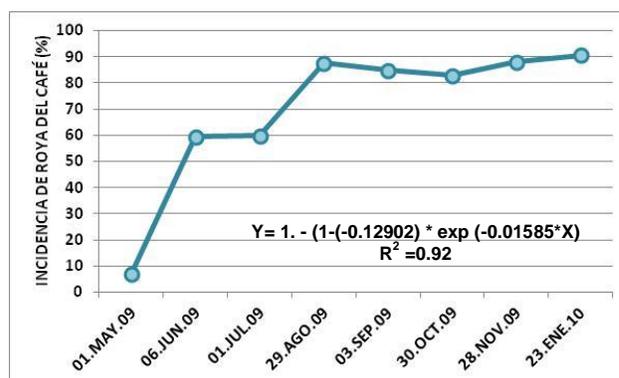
a.



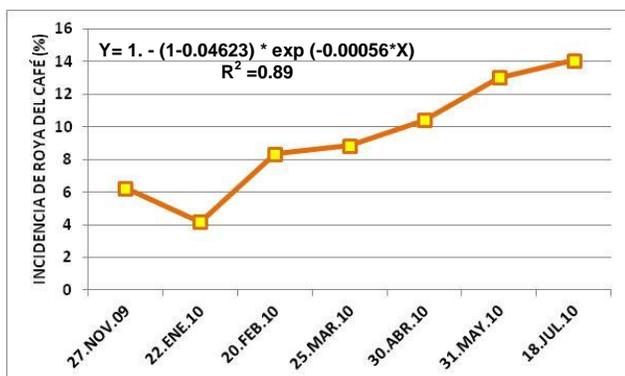
b.



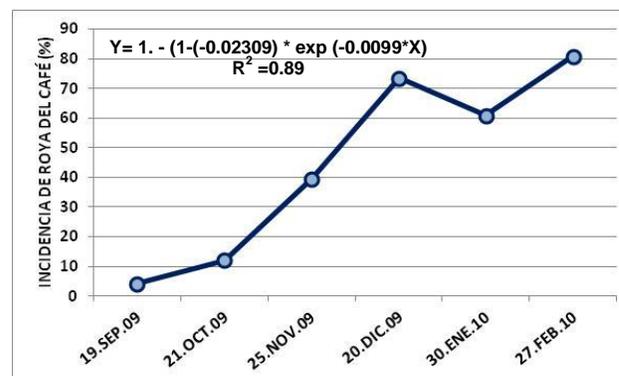
c.



d.



e.



f.

Cuadro 5 Curvas del progreso de tipo Monomolecular causadas por *Hemileia vastatrix* en café (*Coffea arabica*) en localidades de muestreo: a. Coatepeque, Quetzaltenango a 536 m, b. El Rodeo, Escuintla a 654 m, c. El Tumbador, San Marcos a 770 m, d. Samayac, Suchitepéquez a 800 m, e. El Palmar, Quetzaltenango a 1182 m y f. San Juan Alotenango, Sacatepéquez. 2009 - 2010.

8.2 Aspectos relacionados a la biología de *Hemileia vastatrix*

Respecto a los factores estudiados relacionados a la biología de *H. vastatrix*, se observaron diferencias en el comportamiento del hongo según el porcentaje de incidencia de roya y las condiciones ambientales de las localidades donde se realizó el estudio. Las situaciones que se encontraron son indicadas a continuación.

8.2.1 Análisis del comportamiento del inóculo primario y secundario de *Hemileia vastatrix* en hojas en laboratorio

Para el análisis del tipo de inóculo se consideró como pústula vieja (PV) ó inóculo residual/primario aquellas que formaron lesión necrótica sin esporulación, con bordes de color amarillo – naranja con o sin esporulación (área que se considera como activa en las lesiones). Como pústula nueva (PN) ó inóculo re infectivo/secundario son consideradas aquellas que en el área del envés son de formato más o menos circular, con o sin esporulación y en el área del haz manifiestan áreas cloróticas que delimitan las pústulas. El comportamiento del tipo de inóculo varía según la época o estación del año, puede ser influenciado o reducido por condiciones climáticas y de hospedero.

La cuantificación se realizó bajo las condiciones del estrato medio y bajo (500 – 1000 m), ya que en estas altitudes las condiciones son favorables para el desarrollo de la enfermedad. Bajo este contexto el hongo, *H. vastatrix*, esporula de manera abundante. Según el progreso de la enfermedad en algunos casos las pústulas se unen y pueden ocasionar defoliación, figura 13.



Figura 13 a. Síntomas de roya en el haz de hojas. b. Hoja de café con pústulas de roya unidas. c. defoliación ocasionada por roya.

En el comportamiento de las pústulas con lesión se observó comportamiento variable a lo largo del año. Para el estrato bajo considerado entre los 536 a 770 m, se determinó que el número de pústulas manifestó el máximo valor durante los meses de octubre y noviembre, siendo variable según las condiciones ambientales y las condiciones del hospedero, durante los principales meses de incremento se registró precipitación entre los 200 a 1000 mm/mes. En comparación a esto, en el estrato medio, el cual corresponde a altitudes superiores a los 800 m, presentó la máxima cantidad de pústulas con lesión por hoja durante los meses de enero a abril en los que la precipitación mensual es inferior a 200 mm/mes. Según Orozco *et al.*, 2011, el hongo sobrevive en las lesiones necrosadas las cuales son ocasionadas por la enfermedad en el ciclo anterior. Principalmente se observa en hojas viejas que quedan después de la época seca en la planta de café. Cuando las lesiones necrosadas reactivan la esporulación bajo condiciones favorables se produce el inóculo primario, el cual da origen al desarrollo de la enfermedad.

En relación al diámetro de las lesiones fue variable entre las localidades y en cada localidad el diámetro es constante a lo largo del año con valores similares una vez no se unan entre sí. Bajo condiciones del estrato bajo y medio el diámetro de las lesiones varía entre 0.35 a 0.40 cm en promedio según lo cuantificado en el periodo 2009 – 2010, en comparación para el mismo periodo en el estrato alto cuando hay menor cantidad de inóculo las lesiones son de mayor diámetro siendo de hasta 1 cm probablemente debido al área disponible para la infección y la influencia de las condiciones bióticas y abióticas, figura 14.

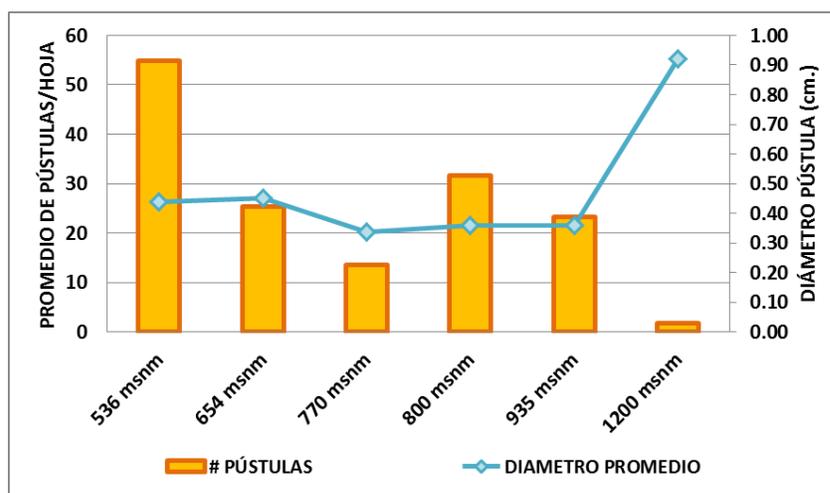


Figura 14 Relación del diámetro de pústulas de *H. vastatrix* (línea) versus pústulas totales, según estrato altitudinal. Estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*. 2009-2010.

En relación a las unidades de muestreo y el comportamiento del inóculo en las hojas, en el cuadro 6 se presentan los datos de pasaporte para el estudio del tipo y cantidad de inóculo producido por *H. vastatrix*, como se mencionó como anterioridad PV corresponde a las pústulas con lesión, PN pústulas nuevas y PT pústulas totales cuantificadas por hoja. Se incluyen las principales variables climáticas que influyen la expresión de la roya del café.

Cuadro 6 Datos de pasaporte de las localidades de muestreo para el estudio del inóculo primario y secundario producido por *H. vastatrix*, en el estudio epidemiológico de la roya del café. 2009 – 2010.

LOCALIDAD	ALTITUD	T° prom.	PP anual	HR prom.	# PV	# PN	# PT
					promedio por hoja		
COATEPEQUE	536 m	25 °C	4150 mm	75 %	12.14	42.69	54.84
ESCUINTLA	654 m	24 °C	2941 mm	75 %	07.27	18.06	25.33
TUMBADOR	770 m	22 °C	5381 mm	77 %	12.32	01.32	13.65
SAMAYAC	800 m	20 °C	6052 mm	80 %	23.02	08.70	31.72
EL PALMAR	935 m	22 °C	4252 mm	81 %	16.95	06.30	23.24

#PV = pústulas viejas, #PN = pústulas nuevas, # PT = pústulas totales.

En la localidad de muestreo de Coatepeque ubicada a 536 m, se cuantificó en promedio en el periodo del 20 de agosto 2009 al 01 de mayo 2010, 12 pústulas con lesión y 43 pústulas nuevas, con valores máximos de 55 pústulas con lesión durante el mes de mayo 2009 en el cual se registró precipitación promedio de 1100 mm posterior a este periodo las pústulas con lesión disminuyen hasta mantenerse en valores entre diez a dos pústulas promedio por mes. Respecto a las pústulas nuevas se cuantificó hasta 60 pústulas por hoja en los meses de julio a septiembre 2009, al observar la curva del progreso de formación de pústulas, figura 15 a., se observa que el progreso fue favorecido por las condiciones climáticas y el uso de un cultivar caturra, el cual es altamente susceptible a roya, las pústulas de sobrevivencia o viejas son pocas debido a la repetitividad de la enfermedad en corto tiempo. Los periodos de incubación cuantificados para las condiciones de Coatepeque fueron en promedio de 23 días con un mínimo de 21 días en el mes de octubre 2009 y un máximo de 25 días en el mes de julio 2009, lo que indica que en corto tiempo ocurre repetidas infecciones, que coinciden con el comportamiento de las pústulas nuevas. Según Rayner, 1961, en estudios relacionados a los periodos de incubación se encontró que la producción de lesiones jóvenes es mayor cuando hay presencia de agua líquida bajo condiciones en el estudio se determinó periodos de incubación que varían entre los 14 a 28 días en cultivar *arabica* periodos similares al determinados para la localidad.

Bajo las condiciones de Finca Sabana grande, Escuintla ubicada a 654 m se observa que las pústulas nuevas o secundarias manifiestan relación similar a la localidad anteriormente descrita, en esta localidad en promedio se cuantificó 7 pústulas con lesión y 18 pústulas nuevas por año, con un máximo de 20 pústulas con lesión y 44 pústulas nuevas por hoja. En la curva del progreso de formación de pústulas, figura 15 b., se observa que las precipitaciones son variables a lo largo del periodo 2009 - 2010, sin embargo precipitaciones inferiores a los 100 mm por mes reducen la formación de pústulas con lesión y jóvenes; aun con presencia de agua líquida la constancia y abundancia de esta tiende a reducir también la germinación y penetración de las esporas, como se observa en esta localidad, ya que se mantiene valores de 1 a 10 pústulas con lesión por hoja y de 1 a 25 pústulas nuevas por hoja en los meses de abril a octubre 2009 con precipitaciones superiores a los 270 mm por mes. Según Nutman y Roberts, 1963, confirmaron que la presencia de agua líquida es necesaria para la germinación de las esporas, sin embargo según Von Faber, 1910 reportó que si la germinación ocurre sobre gotas de agua relativamente grandes y el tamaño de las gotas se mantiene por la influencia del ambiente y adición entre gotas, se forman tubos germinales largos y delicados, sin apresorios y no ocurre penetración en la hoja. En campo esto ocurre cuando las plantaciones están sometidas a ambientes de precipitaciones constantes, alta humedad relativa y periodos prolongados de rocío dentro de los cafetales lo cual afecta directamente los periodos de incubación. Respecto a los periodos de incubación para la finca Sabana Grande se observó una media de 26 días con un máximo de 28 días durante el mes de enero 2010 y mínimo de 24 días durante los meses de julio y agosto 2009. Según, Kushalappa *et al.*, 1980, bajo las condiciones de Viçosa, Brasil a una altitud de 689 m en cultivar catuaí rojo, los periodos de incubación varían entre los 29 a 62 días a lo largo del año, sin embargo, en los periodos más cálidos del año con temperaturas entre 19 a 26° C, el periodo de incubación fue en promedio de 26 días siendo similar a lo observado en la localidad de muestreo, las variaciones principalmente se deben a las estaciones climáticas. En Guatemala el microclima en el área de producción de café tiende a ser un ambiente estable en el que las condiciones climáticas a lo largo del año son similares permitiendo mejor adaptación del patógeno y formación de infecciones constantemente. El inicio de un ataque de roya y el progreso de la enfermedad dependen de la ocurrencia de factores simultáneos, algunos en mayor influencia que otros sin embargo, debido a que la planta es un componente biótico del agroecosistema esta puede limitar el desarrollo de un patógeno manifestando un comportamiento distinto al esperado.

Bajo las condiciones de la localidad de El Tumbador, San Marcos, ubicada a 770 msnm la cuantificación del progreso de la formación de pústulas mostró que el progreso de la enfermedad es afectado por varios factores que pueden interactuar entre sí favoreciendo o limitando el desarrollo de la roya del café, en esta localidad durante los meses en los que se observó la enfermedad se cuantificó en promedio 12 pústulas con lesión y 1 pústula nueva, en la figura 15 c., se observa que el incremento de la epidemia se da a partir del mes de noviembre 2009, a partir del cual se considera el inicio del próximo ciclo de enfermedad para las condiciones de Guatemala. Los periodos de incubación determinados para esta localidad son: media de 20 días con un máximo de 23 días en el mes de enero 2010 y un mínimo de 17 días en el mes de julio 2010 en el que la precipitación fue de 1000 mm. Según Cenicafe, 2011 plantas con limitado desarrollo de raíces, por efecto de suelos arcillosos, ataque de nematodos o cochinillas e incluso mal formaciones provenientes de almácigo, con estrés del sistema radicular por problemas del suelo y la carga fructífera pueden aumentar la incidencia de roya, principalmente los años con alta carga tienden a favorecer epidemias severas y debido a la bi-anualidad el año posterior a este la carga tiende a ser baja y la presencia de la enfermedad es reducida. En esta localidad de muestreo el comportamiento de la enfermedad y el estado de la planta influenció la expresión del patógeno siendo este en su mayoría inóculo de tipo residual.

En las localidades ubicadas entre los 536 a 770 m se cuantificó temperaturas entre 20° - 25°, humedad relativa promedio de 75% y precipitaciones anuales superiores a 4,000 mm condiciones que son favorables para el desarrollo del patógeno. Según Rayner, 1961 la germinación de la uredospora, es favorecida por condiciones de: temperatura 22 °C, obscuridad y periodo mojado de 7 horas o más. En general los periodos de incubación promedio para esta altitud varían entre los 17 a 28 días con promedio de 23 días. Según Harr, s.f., las variaciones en los periodos de incubación pueden deberse a la raza de *H. vastatrix*, los cultivares de café, el tipo climatológico del área y especialmente las variaciones de la temperatura.

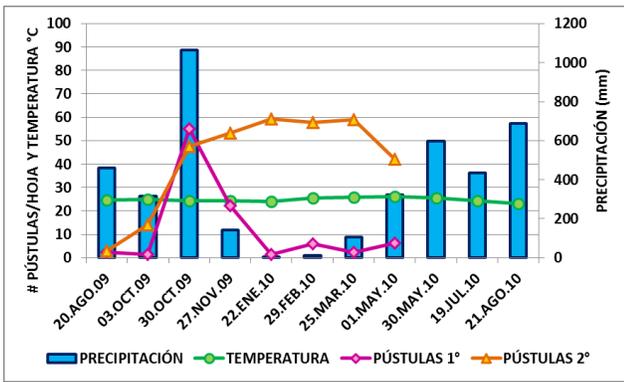
Las temperaturas óptimas para el desarrollo del hongo se sitúan entre 21 y 25 °C; inferiores a 15°C y superiores a 30°C impiden el desarrollo del hongo. Las variaciones lentas alrededor del óptimo tienden a favorecer el desarrollo del hongo, condiciones que prevalecen en los cafetales del país debido al agrosistema de producción.

En la localidad de muestreo ubicada a 800 m se observó que el comportamiento de las pústulas con lesión y de las pústulas nuevas es variable a lo largo del año, sin embargo, durante el periodo de estudio se observó mayor cantidad de pústulas con lesión, figura 15 d. Bajo condiciones de temperatura de 20 °C, 6052 mm de precipitación anual y humedad relativa promedio de 80% se cuantificó en promedio 23 pústulas con lesión y 8 pústulas nuevas por hoja, con un máximo de 37 pústulas con lesión en el mes de febrero 2010 con precipitación inferior a los 200 mm posteriormente las pústulas se reducen a 8 pústulas con lesión en promedio por hoja en el mes de abril en el que se registró incremento de la precipitación, siendo que a partir de este mes se incrementan el número de pústulas con lesión. Respecto a las pústulas nuevas se cuantificó valores máximos de 17 pústulas en promedio por hoja en el mes de noviembre 2009, el comportamiento de las pústulas nuevas fue paralelo al de la formación de pústulas con lesión, manifestando periodos variables de incremento y reducción. Las variaciones de los factores ambientales que favorecen la roya del café en pequeñas fluctuaciones tiende a reducir los periodos de incubación, bajo las condiciones de Samayac se obtuvieron periodos de incubación promedio de 17 días con un máximo de 20 días durante el mes de octubre 2009 y un mínimo de 15 días durante el mes de junio 2009. Los principales factores ambientales que favorecen a la roya son la presencia de agua líquida y temperaturas óptimas para la germinación y penetración de las uredosporas sin embargo estos eventos son afectados por otros factores entre los que se menciona principalmente la intensidad de luz, la cual se modifica cuando el cultivo se encuentra bajo sombra, cuando esta es excesiva se inhibe la germinación, según Nutman y Roberts, 1963, determinaron que la germinación puede llevarse a cabo en campo durante el día con la luz que traspasa a la cara inferior de la hoja.

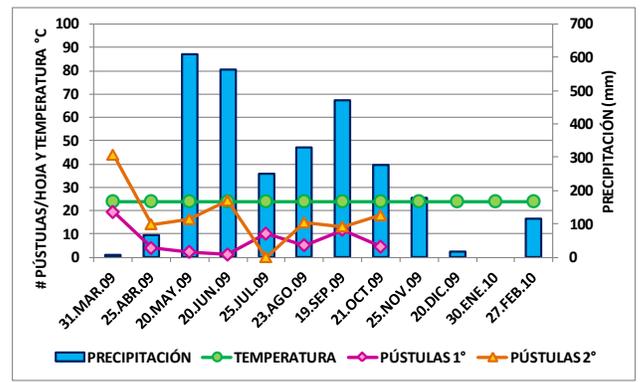
Según Ortolani *et al.* 1971, concluyeron que todas las regiones cafetaleras de Brasil tienen condiciones favorables al ataque de la roya en mayor o menor intensidad, de acuerdo a la temperatura, por lo cual no es un factor limitante en algunas áreas siendo la intensidad del daño en los cafetos dependiente alternativamente de la distribución e intensidad de las lluvias, el inóculo residual y el microclima del área cafetalera. Además, agregaron que las áreas susceptibles a problemas de roya a partir de la probabilidad de incidencia observada, las alturas en las que se debe enfatizar el control de la enfermedad son 820, 750, 650 y 600 m. Características que coinciden con lo observado para las condiciones de Guatemala, siendo a 800 m el estrato de

mayor importancia tanto en intensidad de la enfermedad como en producción de pústulas primarias y secundarias.

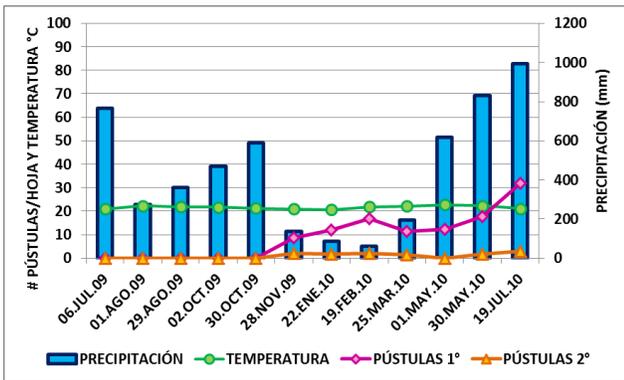
La relación entre las condiciones ecológicas en campo y el desarrollo de la roya son variables en los distintos estratos altitudinales lo que origina variaciones en la incidencia de la enfermedad, variaciones que se reflejan en la cantidad y tipo de inóculo producido por la enfermedad. En la localidad de muestreo ubicada a 935 m, se cuantificó en promedio 17 pústulas con lesión y 6 pústulas nuevas por año con periodos de incubación de 42 días en promedio con periodo mínimo de 38 días durante el mes de noviembre 2009 que coincide, a pesar de ser un periodo de incubación prolongado, con las demás localidades y un periodo máximo de 63 días en el mes de febrero 2010 en el que las temperaturas oscilaron entre 9 a 21 °C, según Rayner, 1963, variaciones marcadas entre la máxima y mínima temperatura en el día representa una limitante para el periodo de incubación del hongo, diferencias muy marcadas entre estos parámetros ocasionan que los periodos sean más largos, por lo que la epidemia es menor en estas altitudes a diferencia de las altitudes en las que los rangos de temperatura son menores y ocurren periodos de menor duración con mayor número de generaciones.



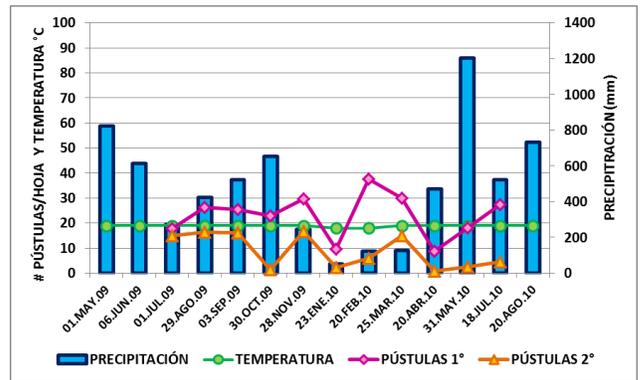
a.



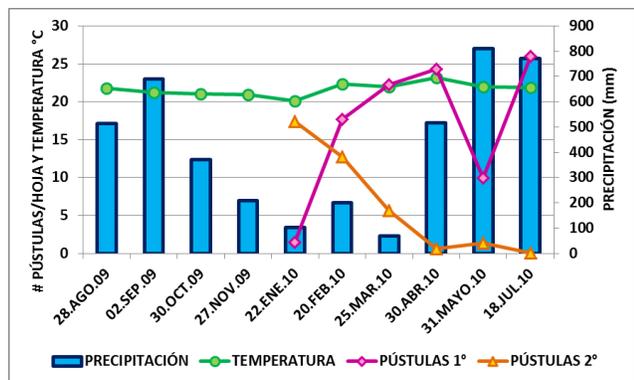
b.



c.



d.



e.

Figura 15 Curvas del progreso de la formación de pústulas según tipo de inóculo; pústulas con lesión/inóculo primario (PÚSTULAS 1°) y pústulas nuevas/inóculo secundario (PÚSTULAS 2°), en unidades de muestreo según altitud: a. ubicada a 536 m en Coatepeque, Quetzaltenango, b. ubicada a 654 m en El Rodeo, Escuintla, c. ubicada a 770 m en El Tumbador, San Marcos, d. ubicada a 800 m en Samayac, Suchitepéquez y e. ubicada a 935 m en El Palmar, Quetzaltenango, 2009-2010.

El estudio del progreso de formación de pústulas permite identificar periodos críticos de incremento de la enfermedad en hojas y la relación con las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad. El estudio de la biología en hoja de café en campo se realizó en tres estratos altitudinales, alto considerado superior a los 1000 m, medio entre los 800 a 1000 m y bajo inferior a los 800 m, en los que la formación del tipo y cantidad de inóculo se expresó en diferentes intensidades a lo largo del año 2009 - 2010. Respecto a la formación de pústulas con lesión en la cuantificación se observó diferencias para cada estrato respecto al mes y condiciones bajo las cuales se registró la mayor cantidad de pústulas, siendo que: para el estrato bajo fue en el mes de octubre 2009 con precipitación de 1064 mm, para el estrato medio fue dos meses después en el mes de febrero 2010 con precipitación de 122 mm y para el estrato alto se observó el máximo en el mes de julio 2010 con precipitación de 772 mm. En comparación, la formación de lesiones nuevas, mantienen comportamiento variable a lo largo del año, siendo el estrato bajo donde se cuantificó la mayor cantidad de pústulas nuevas con 59 pústulas por hoja en promedio por año, figura 12, según Bock 1962, el desarrollo de pústulas y la formación de uredosporas es más rápida en hojas fisiológicamente maduras que en hojas muy viejas, debido a que las esporas son sensitivas a la edad y al área en el que son depositadas, siendo el borde el área de mayor germinación respecto a las áreas cercanas a la vena central.

En función de las condiciones climáticas el periodo de incubación puede variar a lo largo del desarrollo de la enfermedad, siendo este uno de los parámetros que mejor describen las posibles epidemias que ocurren en campo, por lo que es considerado como sistema de pronóstico para las recomendaciones de prevención según Larios, 1978, bajo las condiciones climáticas de El Salvador concluyó que las zonas cafetaleras de bajo serían las más afectadas por la roya, que el periodo de incubación determinado fue de 24 a 28 días; en zona de media altura, este periodo fue

de 28 a 32 días y en los cafetales de altura de los 32 a los 35 días, sin embargo, para las condiciones de Guatemala los periodos son más cortos especialmente en el estrato considerado como medio ya que las condiciones ambientales, de hospedero y presión de inóculo son favorables para el desarrollo de la enfermedad en comparación con el estrato alto en el que los periodos se extienden hasta a 45 días, figura 16 (c.).

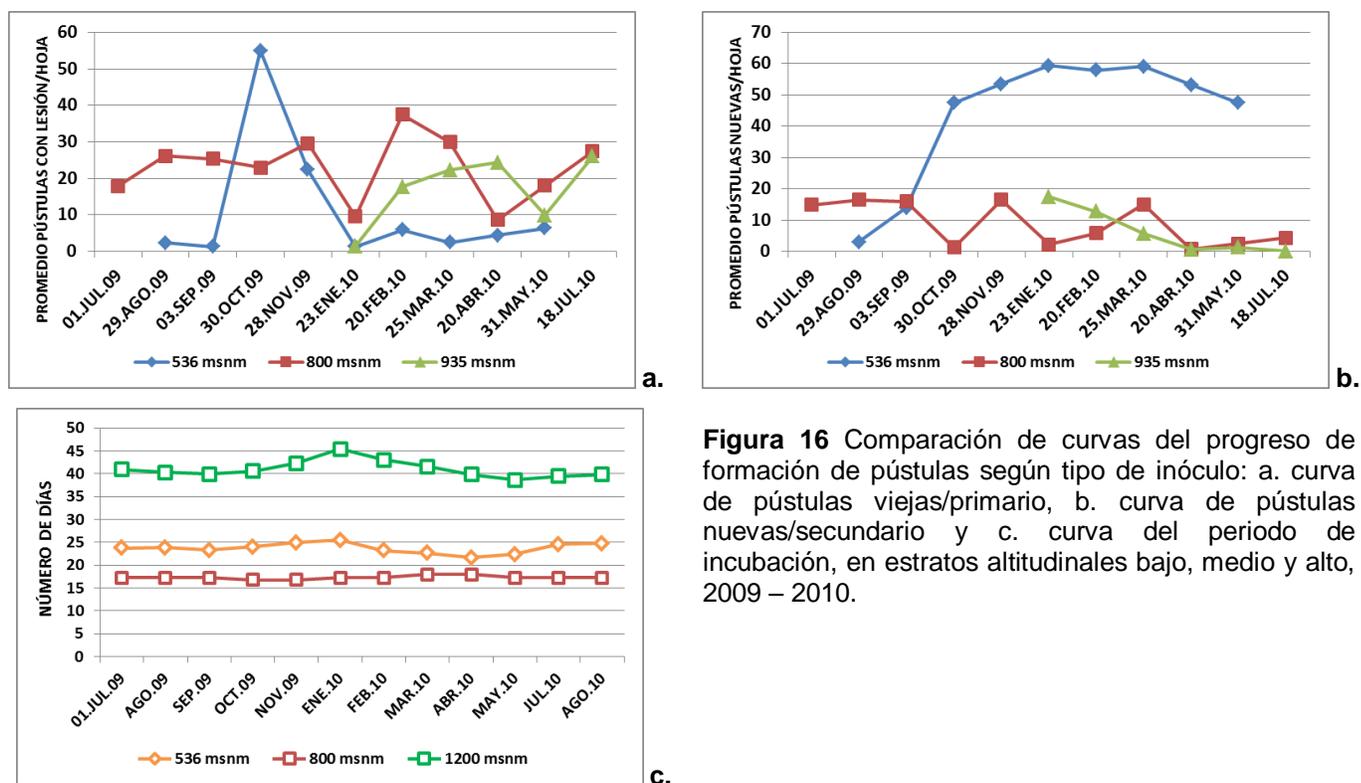


Figura 16 Comparación de curvas del progreso de formación de pústulas según tipo de inóculo: a. curva de pústulas viejas/primario, b. curva de pústulas nuevas/secundario y c. curva del periodo de incubación, en estratos altitudinales bajo, medio y alto, 2009 – 2010.

Siendo el periodo de incubación considerado como un parámetro de muestreo es posible establecer áreas de alerta de ataques severos, según Wallis, 1970 a través de la ecuación de Rayner hay tres áreas de ataque de roya en Brasil: muy peligrosa, moderadamente peligrosa y bajo peligro, respecto a la incidencia observada en los estudios. Bajo las condiciones de la caficultura de Guatemala, el concepto es aplicable como: muy peligrosa los estratos altitudinales comprendidos entre los 500 a 900 m, las áreas peligrosas aquellas comprendidas entre los 900 a 1000 m y de bajo peligro aquellas áreas del cultivo ubicadas superior a los 1000 m, en el que la presencia e intensidad de la roya es reducida y el manejo que requiere se realiza a través del control de otras enfermedades importantes en el estrato.

8.2.2 Análisis del comportamiento de *Hemileia vastatrix* en ramas de café en campo.

Los niveles de infección de la roya del café en campo están influenciados por distintos factores como ya se mencionó con anterioridad. Entre estos se encuentra la edad de la hoja, la intensidad lumínica, la distribución de la precipitación, las fluctuaciones de temperatura, entre otros. Respecto al comportamiento de la roya del café, utilizando el método de muestreo en ramas plagiotrópicas, de la parte media y baja de diez plantas, en las localidades de muestreo, cuadro 6, se encontró comportamiento diferente de la intensidad de roya comparado al muestreo de roya en plantas.

Cuadro 7 Datos de pasaporte de las localidades de muestreo para el estudio de la biología de la roya, 2009 – 2010.

LOCALIDAD	ALTITUD	T (°C)	PP (mm)	HR (%)	# H.R.	# H.N.	# H.T.
COATEPEQUE	536 m	25	4150	75	39.22	37.33	273.00
ESCUINTLA	654 m	24	2941.1	75	45.18	49.45	460.36
TUMBADOR	770 m	22	5381.5	77	23.50	36.90	350.20
SAMAYAC	800 m	20	6052	80	58.27	29.45	255.45
EL PALMAR	935 m	22	4252	81	36.56	69.33	471.67
ALOTENANGO	1200 m	24	1932	76	5.36	46.09	260.27

#H.R.= hojas con roya, #H.N. = hojas nuevas y #H.T. = hojas totales

En la localidad de muestreo de Coatepeque, Quetzaltenango a 536 msnm se observó que durante el periodo de agosto a noviembre 2009 se incrementó el número de hojas con roya, con tasa de 2.03 hojas con roya por día, también se cuantificó aumento de las hojas con tasa de 5.2 hojas por día, influenciado por el crecimiento vegetativo y las condiciones ambientales el desarrollo de la roya del café se dio a partir de estos meses debido a la disponibilidad de tejido para nuevas infecciones.

Durante el mes de noviembre 2009 se cuantificó 94 hojas con roya de un total de 368 hojas, siendo este el valor máximo de enfermedad para esta localidad. También se registró durante este periodo defoliación la cual continuó hasta el mes de febrero 2010 mes en donde se observó que de 188 hojas cuantificadas 93 mostraban síntomas de la enfermedad.

En los meses de noviembre 2009 a febrero 2010 se registró la máxima incidencia de roya en plantas y se observó aumento de la severidad siendo paralelo al máximo valor registrado en ramas para esta unidad de muestreo. A partir del mes de febrero 2010, las hojas con roya se redujeron de 94 a 64, influenciadas por la defoliación, debido a la fisiología de las plantas de café la cantidad

de hojas nuevas aumentó con tasa de incremento de 1.68 hojas por día, contrario a esto las hojas con roya se reducen en un 50% al igual que en la incidencia, figura 17.

Estas hojas con pústulas que se mantienen en la planta constituyen el inóculo residual, que dará origen a la epidemia cuando se presenten condiciones favorables para la enfermedad en el próximo ciclo.

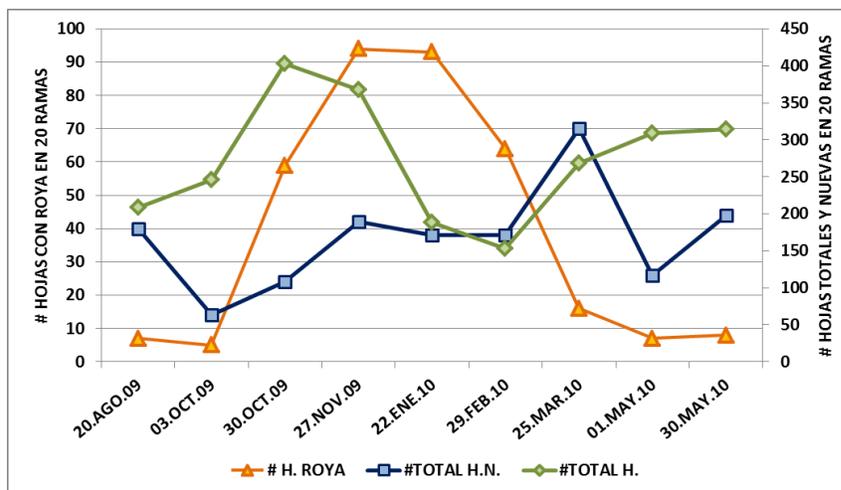


Figura 17 Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por *H. vastatrix* (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en Coatepeque, Quetzaltenango a 536 msnm. 2009 – 2010.

Como se ha mencionado con anterioridad el cultivo de café en Guatemala se caracteriza por ser bajo sombra, lo cual modifica el ambiente creando microclimas que influyen cambios de temperatura, humedad relativa, mojado foliar, evaporación entre otras. Según sea la condición bajo la que se encuentre el cultivo y la intensidad de los cambios los procesos fisiológicos expresados en la fenología se modifican entre los que se puede mencionar: crecimiento vegetativo, floración, fructificación, entre otras.

En las localidades de muestreo se observó que la producción de hojas bajo las condiciones de cada una manifestó distintas etapas y fluctuaciones, para la unidad de muestreo ubicada a 654 m, el desarrollo de hojas fue variable lo que se ve reflejado en el comportamiento de la roya del café en hojas, por la cantidad de área foliar disponible, figura 17. Respecto al número total de hojas el comportamiento vario a lo largo del estudio, se identificaron dos épocas de crecimiento y pérdida de hojas. Bajo estas condiciones en el mes junio 2009 se cuantificó 4 hojas con roya, época que

marcó el inicio de la enfermedad. Para el periodo de julio a agosto 2009 se incrementó la enfermedad cuantificando 38 hojas con roya con tasa de 1.03 hojas con por día, para este periodo también se incrementó el número de hojas totales a 415 con tasa de 1.4 hojas por día. Durante el periodo de agosto a octubre 2009 las hojas enfermas se mantuvieron entre 6 y 9 hojas con roya, según Avelino *et al.* 1999, la roya del café manifiesta variaciones en los periodos de incubación y latencia debido al ambiente, cantidad de inóculo o de follaje presente.

Para la misma localidad en el periodo de octubre a diciembre 2009 se cuantificó aumento del número de hojas con roya a tasa de 1 hoja por día, periodo que coincide con la época de cosecha. Se favorece el incremento acelerado de la enfermedad en los meses posteriores, por la dispersión ocasionada con el paso de personas entre los cafetos y traslado de hojas con esporas. También se observó defoliación de las plantas ocasionada tanto por la cosecha como pérdida de hojas por roya. Siendo que para el periodo de diciembre 2009 a enero 2010 se cuantificó 129 hojas con roya valor que corresponde a la máxima enfermedad registrada con tasa de incremento de 1.7 hojas por día. A partir del mes de enero 2010 las hojas con roya se reducen en comparación a las hojas totales, las cuales aumentan a una tasa de 2.76 hojas por día.

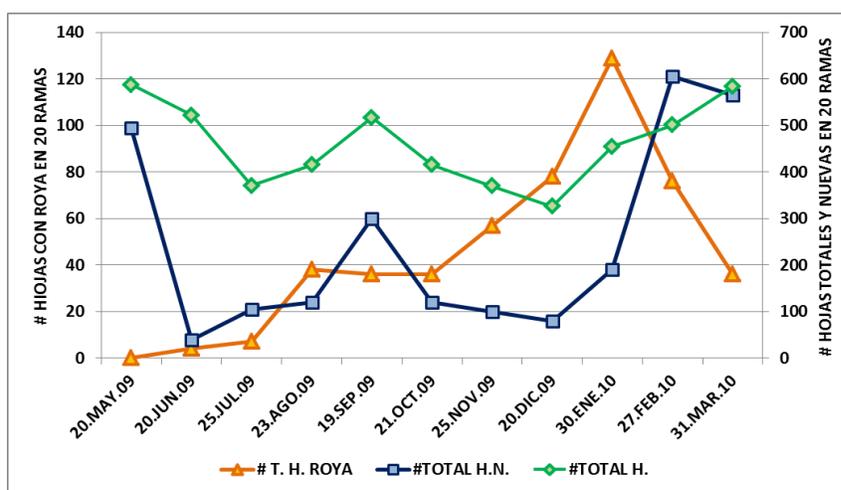


Figura 18 Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por *H. vastatrix* (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en El Rodeo, Escuintla a 654 m. 2009 – 2010.

La roya del café varía en la velocidad del progreso de la enfermedad para cada localidad en función del hospedero, patógeno y microclima, sin embargo, condiciones inadecuadas de manejo agronómico pueden favorecer la presencia de más de una enfermedad o plaga, que tienden a

interactuar entre sí y variar la intensidad de la plaga. En la localidad de muestreo de El Tumbador, San Marcos a 770 m de altitud se observó prácticas de manejo mínimas, estructura de suelo arcillosa, entre otras condiciones las cuales favorecen problemas radiculares, que inciden en la producción y la vigorosidad de las plantas. En los meses de julio a agosto 2009, no se observó la presencia de enfermedades mientras que las hojas totales aumentaron a una tasa de 1.8 hojas por día. Para el periodo de septiembre 2009 a enero 2010 la roya del café se comportó de manera paralela al comportamiento total de hojas, figura 19. Posteriormente en los meses de enero a febrero 2010 se cuantificó 44 hojas con roya con tasa de 1.2 hojas con roya por día. Según Chafoun, 1980, la severidad de la epidemia de roya del café para el siguiente ciclo de producción es determinada por la cantidad de inóculo residual, virulencia y agresividad en la fase de menor incidencia del patógeno, siendo considerada como una enfermedad cíclica.

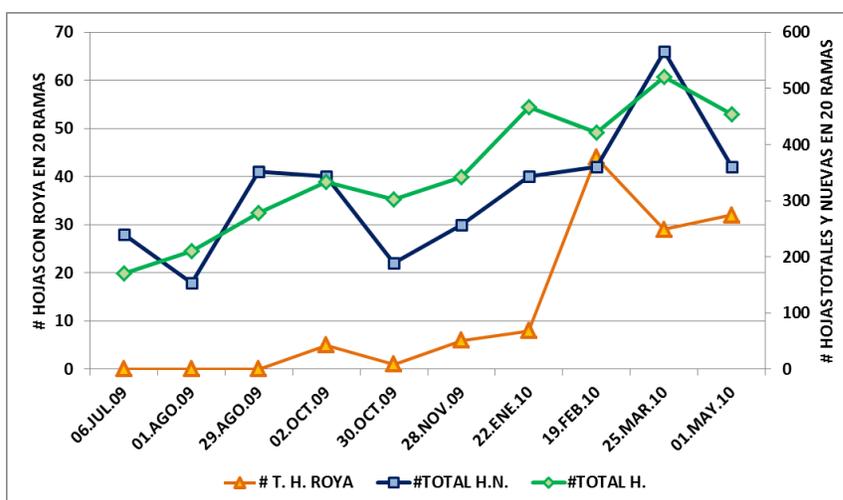


Figura 19 Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por *H. vastatrix* (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en El Tumbador, San Marcos a 770 m. 2009 – 2010.

Por las condiciones ambientales de la localidad de Samayac, Suchitepéquez a 800 m se cuantificó en promedio 58 hojas con roya y 255 hojas totales por año, siendo este el máximo cuantificado durante el estudio y para todas las localidades. Durante los meses de septiembre a octubre 2009 se cuantificó aumento acelerado de las hojas con roya de 36 a 148 hojas con tasa de incremento de 3.73 hojas por día con precipitación de 700 mm. Según Palma *et al.* 1988, los cafetales ubicados en localidades con precipitaciones superiores a los 3000 mm anuales bajo sombra presentan condiciones micro climáticas influenciadas principalmente por la lluvia, la cual difiere en cantidad dentro y fuera de la plantación, siendo mayor la cantidad captada dentro, lo que modifica

de la temperatura dentro del cafetal dándole ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades severas en corto tiempo. Bajo condiciones de temperaturas favorables y precipitaciones constantes distribuidas en periodos adecuados permiten el desarrollo de la epidemia de roya de forma acelerada y severa, como se observó en la unidad de muestreo. En el periodo de octubre 2009 a febrero 2010 se observó defoliación de las plantas de café con una pérdida mensual promedio de 46 hojas, influenciado por el estrés hídrico ocasionado por la reducción de la precipitación hasta 50 mm mensuales y el ataque severo de roya del café. El avance progresivo de la enfermedad ocasiona durante los periodos de máxima enfermedad defoliación severa, la cual inicia en las hojas viejas, una vez han caído estas son afectadas por la enfermedad las hojas nuevas. Según Nutman y Roberts 1970, reportaron que una sola pústula puede ocasionar la pérdida de una hoja además la defoliación ocasionada por roya ocurre inicialmente en focos dentro de la plantación y una vez se extiende ocurre de manera masiva y simultanea lo que afecta año con año el desarrollo de las plantas principalmente las áreas en las que se producirán nuevas yemas florales por lo que repercute en la disminución de la cosecha en años posteriores.

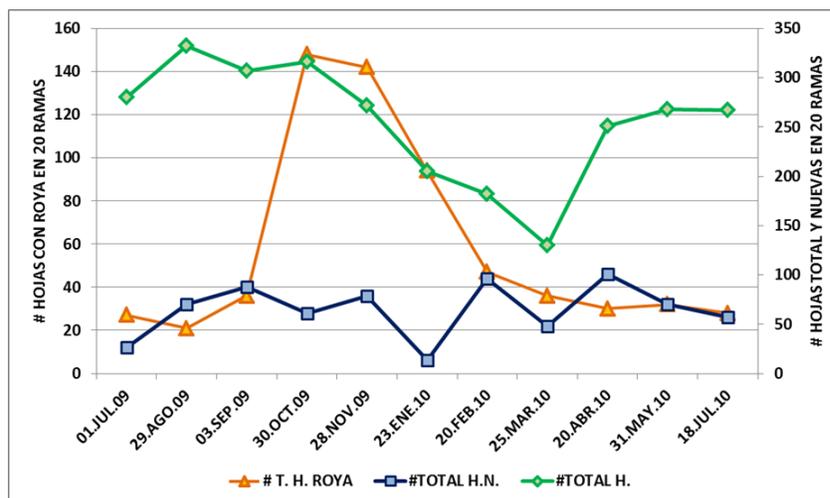


Figura 20 Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por *H. vastatrix* (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo ubicada en Samayac, Suchitepéquez a 800 m. 2009 – 2010.

En El Palmar, Quetzaltenango a 935 m se observó menor incidencia de roya del café respecto a las demás localidades donde se hizo el estudio. Hubo menor defoliación, pero los cafetos tuvieron ataque de ojo de gallo, lo que manifestó ser condición climática adversa a roya, mismo con hospedero susceptible. Se cuantificaron 36 hojas con roya de 472 hojas por año en promedio. El incremento de las hojas enfermas fue a partir del mes de agosto hasta abril del 2010, en donde la

curva de progreso de la enfermedad inició a decaer Figura 21. En el periodo de agosto a septiembre 2009, la tasa de incremento de roya fue de 0.83 hojas por día. Posteriormente, ocurrió defoliación hasta el 50 % durante septiembre a noviembre 2009. A partir de noviembre 2009, hubo incremento de hojas nuevas con tasa de 2.5 hojas por día, las cuales en presencia de alto inóculo y ambiente favorable iniciaron por enfermarse. De nuevo, hubo progreso en la curva de roya con tasa de incremento de 0.66 hojas por día. En el periodo de abril a mayo 2010 se cuantificó pérdida de hojas totales y con roya, meses durante los cuales la incidencia fue de 90% con precipitación promedio de 660 mm con temperatura de 22°C. El clima imperante durante el año fue de 4252 mm de lluvia, 22 °C de temperatura promedio y humedad relativa 81% promedio, considerado ambiente favorable para patógeno.

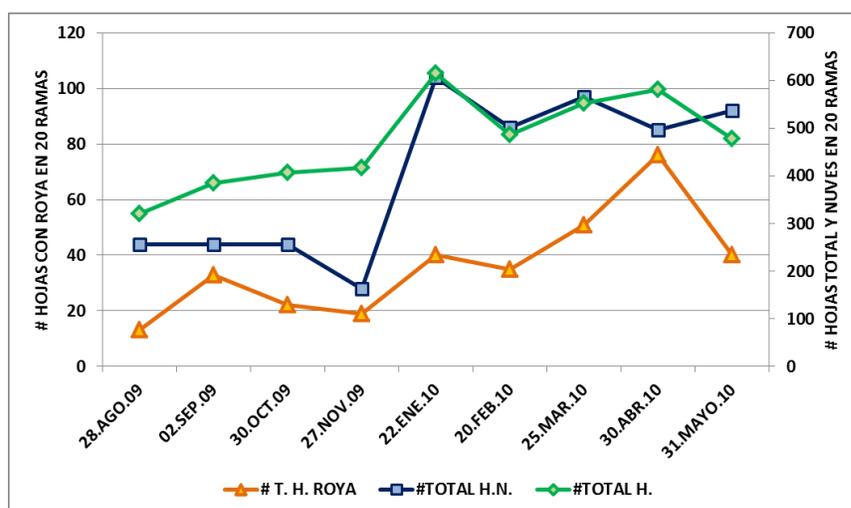


Figura 21 Comportamiento de hojas en dos ramas plagiotrópicas en los estratos medio y bajo de la planta: curva del número de hojas con roya ocasionada por *H. vastatrix* (# H. ROYA), curva del número de hojas totales (# TOTAL H.) y curva del número de hojas nuevas (# TOTAL H.N.), bajo las condiciones de la localidad de muestreo en El Palmar, Quetzaltenango a 935 m. 2009 – 2010.

En conclusión, al comparar los resultados de las curvas de progreso de la enfermedad, obtenidas en todas las localidades de muestreo, con los valores de incidencia de roya a partir de las hojas en las ramas plagiotrópicas versus la incidencia de roya por planta en una parcela, fueron diferentes. En términos prácticos, en el muestreo de roya para el manejo de la enfermedad ambos métodos son aplicables principalmente definir épocas oportunas de aplicación de fungicidas. Sin embargo la ventaja que ofrece el método de muestreo por planta, es indicar la presencia de la enfermedad con más certeza. No hay pérdidas de unidades de muestreo, excepto en caso de pérdida de plantas, pero es poco probable. Como desventaja se requiere de experiencia y criterios para definir tamaño de la población y plantas por muestrear. En tan que en el muestreo en ramas,

es más fácil identificar la roya por ser dirigida es un método más rápido y con el progreso de la enfermedad es posible identificar los momentos oportunos de aplicación de fungicidas. No obstante, presenta dos desventajas importantes: probabilidad de pérdida de ramas y hojas, cuando ocurre defoliación por roya y otros factores especialmente daño mecánico en la cosecha, cuando hay viento o ataque de plagas y otras enfermedades. La segunda, se puede seleccionar ramas que no presenten enfermedad, mal situadas en la planta. Según el Promecafé, 1992, el uso de ramas laterales para monitorear la roya del café presenta inconvenientes al momento de que la rama marcada para toma de datos se defolice por enfermedad o naturalmente, por lo que la secuencia de los datos al sustituir la rama se pierde, debido a que este muestreo se restringe a la planta se ignora lo que ocurre con plantas vecinas y aún más en otras ramas de la misma planta, situación que se observó durante el estudio de la biología siendo que solo en algunos periodos se cuantificó el incremento de la roya mientras que en el estudio de la incidencia por parcela se tuvo una apreciación mayor del progreso de la enfermedad.

En cuanto analogía entre las curvas de progreso de la enfermedad obtenidas por los dos métodos, tan solo es aplicable u obtenido cuando se ha uniformizado la enfermedad en la planta y la plantación de cafetos. Entonces, el formato y valores de incidencia de roya son similares y en caso se puede optar por cualquiera de los métodos de muestreo. Para el caso de severidad de roya, ambos métodos de muestreo permiten estimar o cuantificar esta variable, sin embargo debe utilizarse diferente escala diagramática o descriptiva.

8.2.3 Relación de la roya respecto a la fenología del cafeto

En el estudio de la roya del café y su relación con la fenología del cafeto se observaron variaciones en la intensidad de la enfermedad según la altitud. Sin embargo, el progreso de la roya es típico y la enfermedad se expresa de acuerdo a las etapas fenológicas del café en los estratos altitudinales de producción. Las etapas fenológicas ocurren de forma similar en las zonas de producción de café con algunas variaciones en el tiempo por localidad, cuadro 8.

Cuadro 8 Principales etapas fenológicas del café observadas en las localidades en el estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix*. 2009 – 2010.

LOCALIDAD	ETAPA FENOLÓGICA MESES			
	FLORACIÓN*	FORMACIÓN DE FRUTOS	COSECHA	FORMACIÓN DE HOJAS
San Juan Alotenango (1200 m)	febrero - abril	mayo - septiembre	octubre - enero	febrero, abril, junio, septiembre
El Palmar (1185 m)	febrero - abril	mayo - septiembre	diciembre - marzo	abril, julio, septiembre
El Palmar (935 m)	enero - marzo	abril - septiembre	octubre - diciembre	enero, marzo, mayo, agosto
Samayac (800 m)	febrero - abril	mayo - septiembre	octubre - enero	enero, marzo, mayo, agosto
El Tumbador (770 m)	enero - marzo	abril - septiembre	octubre - diciembre	marzo, mayo, agosto
El Rodeo (654 m)	enero - marzo	abril - septiembre	octubre - diciembre	febrero, abril, mayo, agosto
Coatepeque (536 m)	enero - marzo	abril - septiembre	septiembre - diciembre	enero, marzo, mayo, agosto

*Hubo dos a tres floraciones

Bajo las condiciones del estrato alto en la localidad de El Palmar, a 1185 m de altitud, plantación con la variedad catimor, recepa de tres años, con manejo agronómico tecnificado se observó que la formación de hojas en los cafetos ocurre durante todo el año. Sin embargo, fue más rápida durante la época lluviosa en mayo a septiembre. En la etapa de formación de hojas, el comportamiento de la intensidad de roya fue variable en el ciclo de producción de café. Para los meses de febrero a abril ocurrió la formación de yemas florales y la floración, periodo en el que la intensidad de roya fue baja con valores entre 8 a 10% de incidencia y baja severidad. A partir del mes de abril a junio hubo formación de frutos periodo en el que se incrementó la incidencia de roya al 14%, esto se observó principalmente durante la fase de llenado de frutos.

Para la misma parcela y condiciones de estudio en el estrato alto, en los meses de julio y agosto durante la formación e inicio de la maduración de los frutos, se redujo la intensidad de roya. Las variaciones de la incidencia estuvieron relacionadas a los periodos de incubación, el cual para estos meses fue de 40 días en promedio, influenciados por las variaciones de la temperatura. Las pequeñas variaciones entre la mínima y máxima de temperatura tienden a prolongar el periodo de incubación, que durante el progreso de la enfermedad se observan de menor incidencia. En la

fase de formación de frutos y maduración en septiembre se observó la máxima tasa de incremento de enfermedad y la máxima incidencia con 16% de roya.

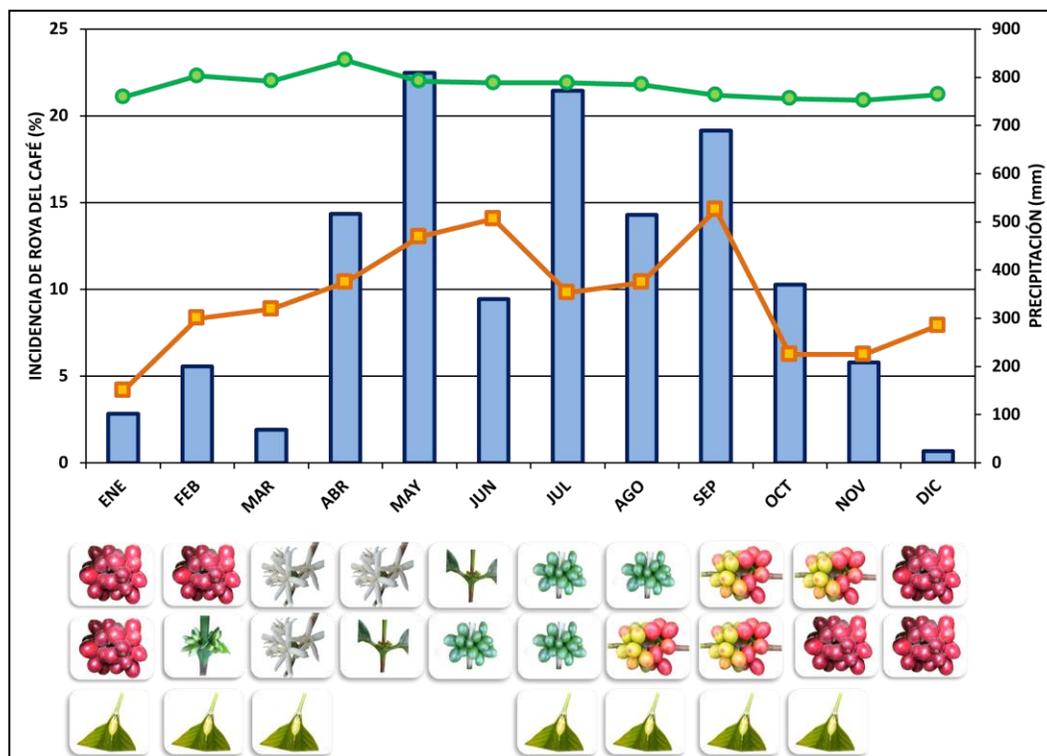


Figura 22 Curva del progreso de la roya del café ocasionada por *Hemileia vastatrix* (línea naranja) versus fenología de la planta de café (*coffea arabica*) y precipitación bajo las condiciones de El Palmar, Quetzaltenango a 1182 m.

Para el estrato medio en la localidad de Samayac, a 800 m de altitud, con plantas de la variedad caturra, recepta de 3 años y con manejo agronómico intensivo. Luego de la cosecha en diciembre a enero se observó formación de yemas florales. El inicio de la precipitación y su incremento en marzo y abril favoreció la floración de las plantas.

En el estrato medio luego de la floración de marzo a junio se observó fructificación y desarrollo de frutos del café. Durante estos meses hubo decremento de la intensidad de roya favorecido por la defoliación de las plantas de café, por dicha enfermedad, estrés hídrico y senescencia de las hojas. De manera simultánea, bajo las condiciones antes descritas en los meses de marzo a julio se observó emisión de hojas nuevas, esto incrementó la cantidad de follaje sano en la planta. Sin embargo, en esta área de producción de café durante los años 2008-2010 hubo ataque severo de roya y bajo estas condiciones la presión de inóculo fue alto y con ambiente favorable (temperatura y precipitación), hizo mantener constantes los periodos de incubación del patógeno, entre 17 y 20

días a lo largo del año. Esto favoreció la intensidad de roya y la curva de progreso de la epidemia de roya, se mantuvo alta, figura 22.

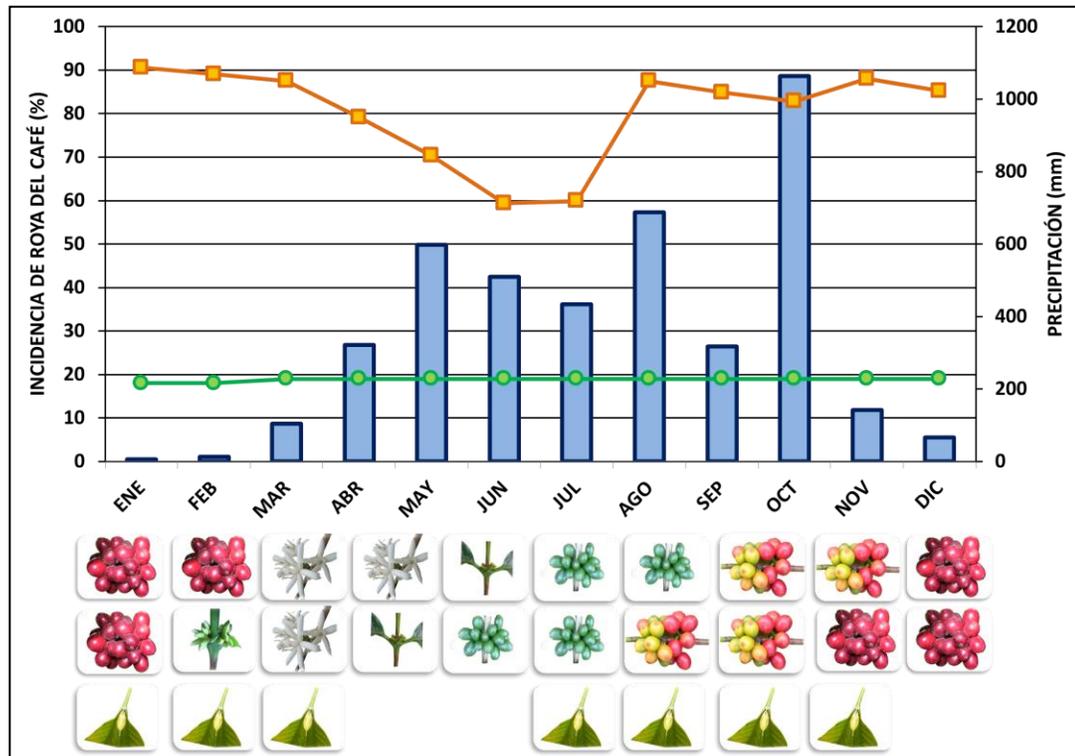


Figura 23 Curva del progreso de la roya del café ocasionada por *H. vastatrix* (línea naranja) versus fenología de la planta de café (*coffea arabica*) y precipitación bajo las condiciones de Samayac, Suchitepéquez a 800 m.

En las localidades del estrato bajo, situadas a altitudes menores de 600 m, se observó menor presión de inóculo y las variaciones del periodo de latencia del hongo variaron entre 20 a 26 por lo que se observó decremento de la curva del progreso de roya. Las variaciones en el periodo de incubación también fueron marcadas en los meses de junio y julio, periodo en el que la planta estuvo en la etapa fenológica de formación de frutos.

Posteriormente en agosto continuó la formación de frutos e inicio de la maduración. En agosto, se incrementó la intensidad de roya, siendo este el mes crítico de máxima tasa de incremento de la enfermedad. En el periodo de cosecha, en los meses de octubre a diciembre ocurrió la máxima incidencia de enfermedad, favorecido por el movimiento de personas dentro de los cafetales y agotamiento de las plantas luego del proceso de producción. En los meses de octubre a enero durante la cosecha se observó defoliación de las plantas de café, periodo durante el cual las plantas estuvieron sometidas a condiciones de alta intensidad de roya y de estrés hídrico. En

diciembre a enero se observó la máxima intensidad de roya del café bajo las condiciones de estudio. Según Chalfoun *et al.* 1987, algunos factores de estrés aumentan la roya del café, citan que el aumento de la receptividad ocurre cuando la planta está en fase de fructificación y es debido a la migración de compuestos fenólicos, sustancias que intervienen en los mecanismos de defensa de las plantas, de las hojas hacia los frutos, desprotegiendo así las hojas.

En conclusión, la intensidad de roya ocasionada por *H. vastatrix* está relacionado con la fenología de la planta de café. En relación a las etapas fenológicas del café que se marcan en Guatemala, la floración ocurre de enero a abril y se observa inóculo residual en las hojas maduras que quedan de un año para el otro y hubo baja intensidad de roya. De marzo a julio se presenta la etapa de fructificación, desarrollo de frutos y hojas, en donde inicia la esporulación del hongo en lesiones de inóculo primario e inicio de lesiones secundarias que formaron pústulas o inóculo secundario, los periodos de incubación oscilaron entre 17 y 41 días. Luego, se presenta un periodo crítico en el mes de agosto que coincidió con la maduración de los frutos en la mayoría de localidades. Los periodos de incubación en esta fase fueron de 17 a 40 días pero las tasas de incremento de roya fueron altas, hasta 1.8 plantas por día, principalmente en el estrato de 800 a 1000 m de altitud, donde se marcan las mejores condiciones ambientales para la roya del café. En la etapa fenológica de cosecha, el progreso de la enfermedad alcanza la máxima intensidad de enfermedad y la dispersión del inóculo es favorecido por el paso de los trabajadores.

8.2.4 Variedades de café y su relación con la roya del café

En las localidades de muestreo de roya del café se comprobó el uso de la variedad caturra por parte de los agricultores, cuadro 9. En el estrato bajo (500-700 m), la variedad empleada por los caficultores es caturra. Esta variedad es susceptible a *H. vastatrix* y bajo las condiciones ambientales que en dicho estrato se manifiestan que son las requeridas en la biología del hongo y en algunas ocasiones con manejo deficiente, la incidencia de roya severa. De acuerdo a los muestreos realizados se cuantificó hasta 85% en promedio, intensidad de daño considerada alta. Para las condiciones del estrato medio en una localidad de muestreo se observó el uso de variedades intercaladas en la misma plantación, se trató de catuaí y bourbon, ambas consideradas también susceptibles a roya del café. Para este caso, el nivel de incidencia máximo fue del 87% y se observó incidencia de otras enfermedades. En el estrato medio a 800 m de altitud, se observó plantación de la variedad caturra con incidencia máxima del 90% de roya, considerado como alta intensidad de daño.

En el estrato alto se observó el uso de distintas variedades de café: catuaí a 1700 m con ausencia de incidencia de roya y la variedad caturra a 1200 m con 80% de incidencia de roya del café. También, se observó el uso de la variedad catimor a 1185 m, considerada resistente con incidencia de 16% de dicha enfermedad.

Cuadro 9 Variedades de café empleadas en cada localidad de muestreo e incidencia máxima de roya del café ocasionado por *H. vastatrix*, en el estudio de la epidemiología de la enfermedad, 2009 – 2010.

LOCALIDAD	ALTITUD (m)	VARIEDAD	INCIDENCIA (%)
San Rafael Pie de la Cuesta	1700	Catuaí	00
San Juan Alotenango	1200	Caturra	80
El Palmar	1185	Catimor	15
El Palmar	935	Bourbon y Catuaí	87
Samayac	800	Caturra	90
El Tumbador	770	Caturra	72
El Rodeo	654	Caturra	89
Coatepeque	536	Caturra	96

En encuesta realizada a 65 productores de café de la región I, que comprende los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, se determinó que en alto porcentaje se utilizan variedades susceptibles a roya del café. Se obtuvo que el 32% de los caficultores utilizan como variedad principal caturra, el 32% utiliza la variedad catuaí, el 15% Bourbon todas consideradas

susceptibles. Las plantaciones se encuentran establecidas en altitudes de 1900 a 500 m. Contrario a los datos anteriores, el 16% de los caficultores emplea la variedad catimor como principal, la cual es resistente a roya del café. El uso de esta variedad es en plantaciones ubicadas en altitudes de 1000 a 700 m. Bajo las condiciones de este intervalo altitudinal, se registró condiciones favorables para el desarrollo de la roya del café, por lo que el empleo de esta variedad es adecuada. También se obtuvo, que el 2% de agricultores cultivan la variedad Robusta que no tiene importancia en Guatemala, Figura 24.

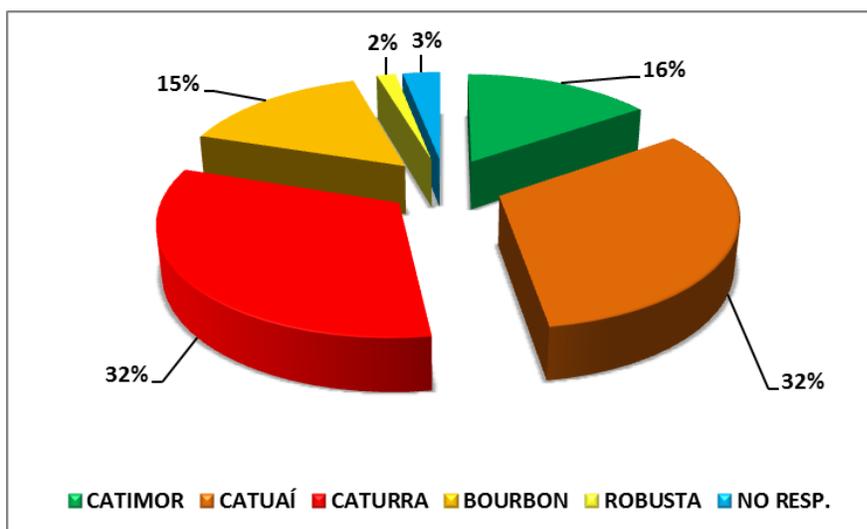


Figura 24 Uso de variedades de café en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011.

En conclusión, la mayoría de las variedades empleadas por los agricultores en la región I y en las unidades de muestreo, son susceptibles a roya del café. En esos lugares, se manifiesta ambiente favorable al patógeno. Con manejo ineficiente esas variedades presentan problemas con roya en diferente intensidad de daño.

El uso de la variedad catimor varía a nivel local y regional, pues en las localidades de muestreo, esta variedad se observó en la localidad de El Palmar a 1185 m sin embargo, a esta altitud la enfermedad de ojo de gallo ocasionado por *Mycena citricolor*, ya es importante.

8.3 Manejo del cultivo de café y su relación con la roya del cafeto

Respecto al manejo que brindan los agricultores al café en sus respectivas unidades de producción, se recolectó información a través de una encuesta con 65 agricultores donde se recolectó la siguiente información. Respecto al distanciamiento de siembra el 60% de los agricultores indicaron que siembran a 2 m entre surcos y 1m entre plantas siendo el sistema típico y que permite tener en el campo 5000 plantas por hectárea. El 29% emplean distanciamientos de 2.5 m entre surcos y 2.5 m entre plantas y el 4% emplea distanciamientos de siembra entre 3m y 4m entre surcos y 0.9 m, 2m y 2.5m entre plantas, Figura 25. Las variaciones entre el distanciamiento de siembra promueven formación de microclimas en la parte baja de la planta de café y cercana al suelo. Según Rivillas (2012) en esa área de la planta, se da el inicio de la roya del café, por lo tanto, altas densidades de siembra favorece ambiente para el progreso de la enfermedad y dispersión del patógeno.

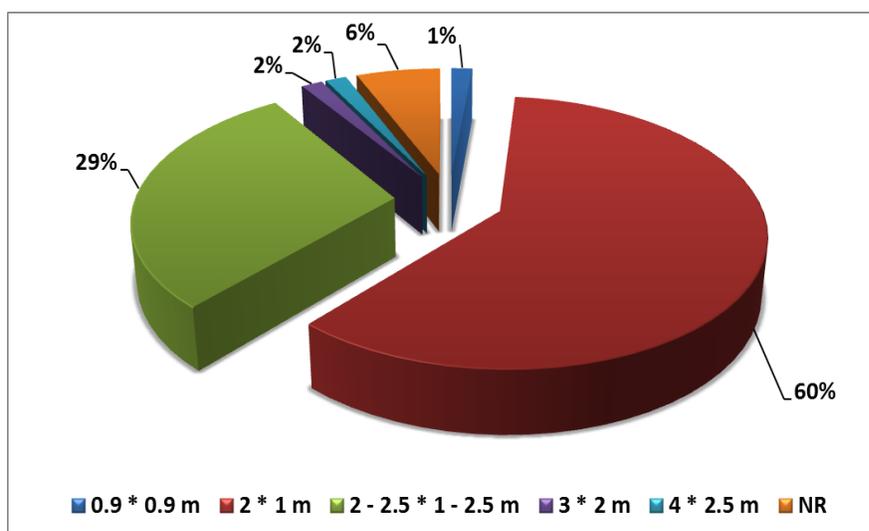


Figura 25 Distanciamientos de siembra de café utilizados por productores de San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió.

En la información obtenida, el 72% de los agricultores indicó que utiliza sistema de recepa selectiva, el 9% emplea el sistema de recepa por ciclos en surcos, el 5% recepa en bloque compacto y el 8% tiene sistema de recepa y manejo de brotes (deshije). Respecto a la densidad de ejes por planta el 3% de los agricultores tiene un sistema de un eje por planta, el 43% utiliza sistema de 2 ejes por plantas, el 39% utiliza un sistema de dos a tres ejes por planta y el 9% utiliza sistema de 3 a 4 ejes por planta. El manejo de podas y la densidad de ejes por planta empleados por el agricultor puede favorecer el incremento de roya por factores asociados principalmente a,

dispersión, formación de microambientes favorables y cantidad de área foliar disponible, último factor relacionado a la sobrevivencia de micelio del hongo. Según MacCain & Hennen (1984), en hojas parasitadas con *H. vastatrix*, en el crecimiento intracelular de hifas del hongo y los primeros estadios infecciosos no se observa clorosis en la hoja y puede haber sobrevivencia en ausencia de condiciones favorables. Sin embargo, en tejidos donde hay formación de apresorios y crecimiento micelial a nivel celular, la expresión de síntomas es visible.

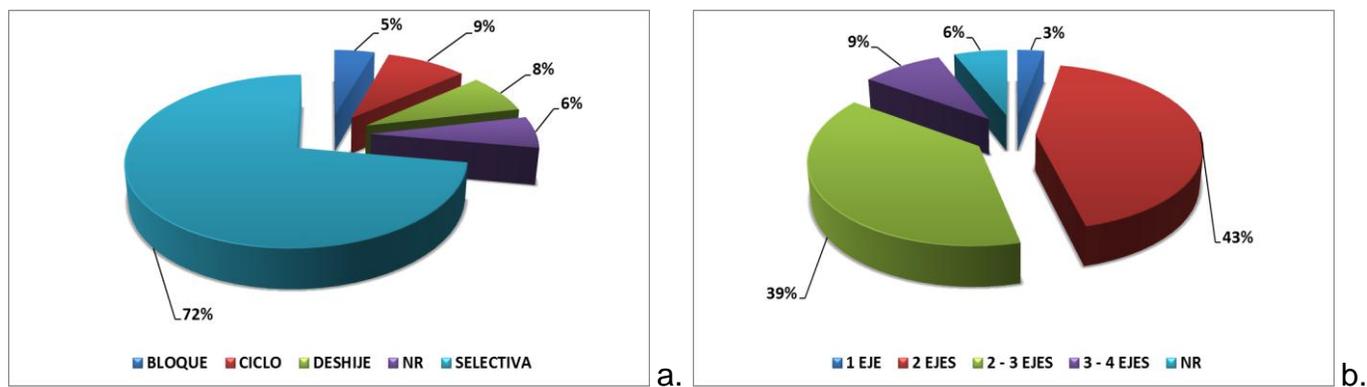
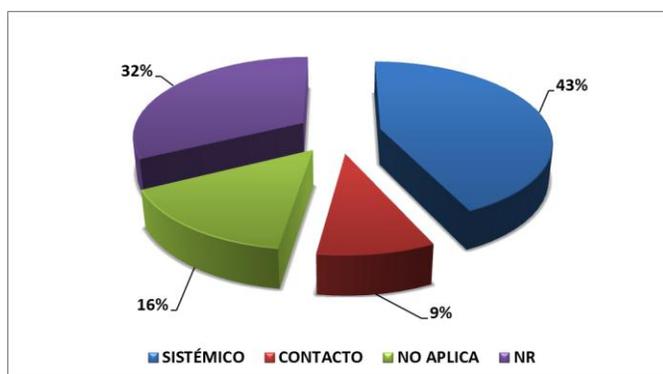


Figura 26 a. Sistema de poda y b. número de ejes por planta, en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió.

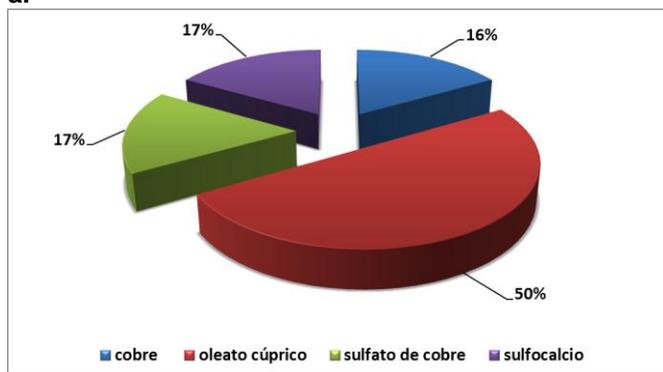
En relación a la fertilización, se obtuvo que el 58% de los agricultores encuestados realizan aplicaciones de fertilizante distribuidas en una o dos aplicaciones anuales y el 42% no fertilizan. Los nutrientes ejercen funciones específicas en los cafetos, dichas funciones son realizadas bajo requerimientos específicos de cada elemento, los desbalances pueden afectar el crecimiento, la susceptibilidad a enfermedades y la producción. Como se mencionó con anterioridad diversos factores ocasionan estrés nutricional en las plantas, que favorecen el incremento de roya del café.

En el sistema de siembra y la relación con la roya del café, uno de los factores importantes es el manejo de las enfermedades. Para la roya del café, la principal recomendación es manejo integrado y dentro de este el uso de variedades resistentes. Respecto a esto, según los datos recolectados el 49% de los agricultores utilizan la variedad catimor como principal medida de control, no obstante tienen preferencia por la variedad caturra tal como indicado anteriormente, y el 51% no utilizan la variedad catimor. Respecto al uso de fungicidas el 43% de los agricultores emplea productos de tipo sistémico, el 9% utiliza productos de contacto y el 16% no aplica fungicidas para el control de la roya del café, figura, 26a. De los agricultores que utilizan productos sistémicos el 64% utilizan ciproconazole, el 11% alternan el uso de ciproconazole con cobre, el

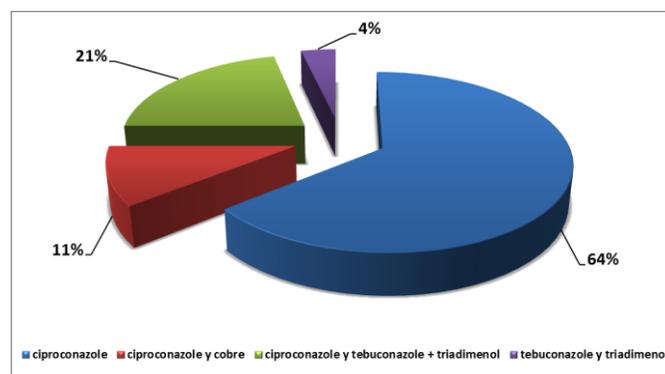
21% utilizan ciproconazole alternado con tebuconazole + triadimenol y el 4% utilizan tebuconazole + triadimenol, para el control de la roya del café, figura, 27 b. De los agricultores que utilizan productos de contacto, el 50% utiliza oleato cúprico, el 17% utiliza sulfato de cobre, el 17% utiliza mezcla sulfocalcio y el 16% utiliza cobre para el control de roya del café figura 27, c. La selección de productos según la acción y la época de aplicación deben ser dirigidas principalmente con el objetivo de limitar infecciones en otras hojas y plantas sanas. Se recomienda que en la utilización de productos de contacto, deba ser dirigido principalmente a la protección del cultivo en épocas en las que no se observan síntomas, previo a la infección. En el caso de productos sistémicos, según su acción puede ser curativos, los cuales deben ser utilizados principalmente en las etapas con síntomas de secciones cloróticas de diferente tamaño antes de la formación de soros. Los productos de tipo antiesporulantes y erradicantes pueden ser empleados en las etapas de esporulación, sin embargo, son de acción limitada o productos escasos en el mercado.



a.



c.



b.

Figura 27 Uso de fungicidas para el control de la roya del café, a. Fungicidas según modo de acción, b. fungicidas de tipo sistémicos y c. fungicidas de contacto, utilizados por caficultores en San Marcos y Quezaltenango, basado en encuesta de 65 agricultores, 2011. NR = no respondió.

Las medidas de manejo del cultivo son dirigidas a obtener buena productividad y para evitar agotamiento temprano de plantas. En cuanto a rendimiento de café, se indica que promedio se producen 85 quintales cereza por hectárea, con mediana de 90 quintales cereza por hectárea un mínimo de 1.5 quintales cereza por hectárea y un máximo de 271 quintales cereza por hectárea, lo

cual se considera rendimientos bajos. El volumen de producción está relacionado a la roya principalmente en los años en el que la producción de frutos es alta mientras que para los años en los que se reduce la producción los niveles de roya se mantienen bajos, por lo que el manejo debe ser dirigido a la reducción de la bianualidad. Según ANCAFÉ (2009) la región I produce en promedio 254,695 quintales oro de café por hectárea en comparación, la región IV la cual se caracteriza por ser la región de mayor producción en Guatemala, produce en promedio 831,109 quintales oro por hectárea, siendo que la producción de la región I es baja.

9 CONCLUSIONES

1. La intensidad de daño ocasionado por la roya del café en plantas varió de acuerdo a las condiciones ambientales, el hospedero y el manejo del cultivo utilizado por los agricultores.
2. En la cuantificación de roya del café, las localidades ubicadas entre 700 a 1200 m fueron las que presentaron mayor intensidad de daño. En altitudes superiores a 1500 m, la intensidad de roya fue menor. El patrón temporal y espacial de la enfermedad fue diferente entre localidades.
3. El comportamiento de la biología del hongo *Hemileia vastatrix* varió en las localidades; en la altitud entorno a los 800 m, se cuantificó mayor inóculo residual, esto fue importante para epidemias en ciclos de producción posteriores. Las máximas tasas de incremento de la enfermedad e intensidad se observaron en las etapas fenológicas de llenado, maduración de frutos y cosecha del café.
4. Durante el estudio se determinó que el 81% de los agricultores utiliza las variedades caturra y catuaí que son susceptibles a roya del café y el 16% siembra catimor que es una variedad resistente.
5. En el manejo de roya los agricultores manifestaron el uso de fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles o mezclas de fungicidas sistémicos alternados con otros productos contacto.

10 RECOMENDACIONES

1. Utilizar las curvas del progreso de la enfermedad generadas para recomendar épocas de aplicación de fungicidas para el control de roya.
2. Evaluar daños ocasionados por la roya del café y su relación con la fenología de la planta de café.
3. Validar los métodos de muestreo de roya generados en esta investigación con menor tiempo entre lecturas de cuantificación de la enfermedad.

11 BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, G. 2005. Fitopatología. 2 ed. US, Academic Press. 831p.
2. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1988. Manual de caficultura. Guatemala. 247 p.
3. _____. 2000. Investigaciones y descubrimientos sobre el cultivo del café. Guatemala. 308 p.
4. _____. 2002. Manual de caficultura. 2 ed. Guatemala. 169 p.
5. _____. 2004. Manual de caficultura datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala, Guatemala. 52 p.
6. _____. 2006. Guía técnica de caficultura. Guatemala. 213 p.
7. _____. 2009. Producción de café en la república por departamento, en quintales oro cosecha 2007/2008. Guatemala. Consultado 27 abr 2009. Disponible en: <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/200902/257/254/Prodxdepto.pdf>
8. _____. 2011. Memoria de labores 2011. Guatemala. 110 diapositivas, color.
9. Arellano, R; Paredes, E; Vásquez, Y. 1997. Influencia de la cobertura sobre la erosión en agroecosistemas de café, Venezuela. Tailandia, Prince of Songkla University Hat Yai, Faculty of Natural Resources. 7 p. Consultado 19 abr 2009. Disponible en: <http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp20/1675-r.pdf>
10. Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguin, F. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad: desafíos de la caficultura de Centroamérica. San José, Costa Rica, IICA. p. 99.
11. Avelino, J; Toledo, J; Medina, B. 1995. Evaluación de épocas y números de aplicaciones de óxido de cobre para el control de la roya anaranjada del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en una finca al suroeste de Guatemala. In Simposio Latinoamericano (16, 1993, NI). Honduras, IICA. s.p.
12. Bock, K. 1962. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. Trans. Brit. Mycol. Soc. 45(2):63-74.
13. Cadena, G. 1982. Diseminación de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. In Taller de Roya del Cafeto *H. vastatrix* (1982, CO). Chinchina, Colombia, CENICAFE / Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. p. 27-35.
14. Campbell, C.; Madden, L. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. US, Willey Press. 532 p.
15. Chalfoun, S. 1980. Importancia da chuva e da temperatura do ar na incidencia da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) Berk. et Br. em cafeeiros de tres localidades do estado de Minas Gerais. Tesis Mestrado. Lavras, Brasil, Escola Superior de Agricultura de Lavras. 50 p.

- 16._____. 1997. Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle. Lavras, Brasil, UFLA / FAEPE. p. 25-34.
- 17.Chalfoun, S; Carvalho, V. 1987. Efeito da produção e da composição química de folhas de cafeeiros sobre a intensidade de ataque de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) In Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras (14, 1995, BR). Resumos. Campinas, Sao Paulo, Brasil, UFLA. p. 121-122.
- 18.Cuchet, R; Guerrero, J. 1995. Características de los cinco cafés regionales de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Economía / ANACAFE. 147 p.
- 19.Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
- 20.Figueroa, J. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. San José, Costa Rica, Programa Cooperativo ICAFE / MAG. 122 p.
- 21.Harr, J. 1977. *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. biología del hongo: aspectos de su control. Basilea, Suiza, Sandoz, División Agro, Departamento de Investigaciones. 26 p.
- 22.ICAFAE (Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica, CR); MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 1990. Manejo del cultivo de café. San José, Costa Rica. 122 p.
- 23.Jones, S. 1987. Sistemática vegetal. 2 ed. México, McGraw Hill. 527 p.
- 24.Johnson, C. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across Atlantic Ocean. Estados Unidos, Nature Publishing Group. p. 500-501.
- 25.Kirk, P; Cannon, J; Stalpers, JA. 2008. Ainsworth & Bisbys dictionary of the fungi. Great Britain, CAB. 771 p.
- 26.Kranz, J. 1974. Comparison of epidemics. Annual Review Phytopathology 12:355-374.
- 27.Kushalappa, A. 1981. Linear models applied to variation in the date of coffee rust development. Phytopath. Z. 101:22-30.
- 28.Kushalappa, A; Chaves, G. 1980. An analysis of the development of coffee rust in the field. Fitopatologia Brasileira 5:95-103.
- 29.Kushalappa, A; Akutsu, M; Ludwing, A. 1983. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in prediction coffee rust infection rates. Phytopathology 73:96-103.
- 30.Kushalappa, A; Akutsu, M; Oseguera, S; Chaves, G; Melles, C; Miranda, J; Bartolo, G. 1984. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for manocyclic process of *Hemileia vastatrix*. Fitopatologia Brasileira 9:255-271.
- 31.Kushalappa, A; Martins, C. 1980. Incubation and generation periods for *Hemileia vastatrix* on coffe in Viçosa, Minas Gerais. Fitopatologia Brasileira 6:177-183.

32. Larios, C. 1978. Severidad esperada de la roya del café en las zonas cafetaleras de El Salvador. *Agrociencia (El Salvador)* 2(1):31-42.
33. Lequizamon, C.J. 1984. Avances de investigación de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.). Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia / CENICAFE, Sección de Fitopatología. 6 p.
34. McCain, J; Hennen, F. 1984. Development of uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. *Phytopathology* 74:714-721.
35. Mora, G. 2008. Epidemiología fundamentos y aplicaciones en patosistemas agrícolas. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 75 p.
36. Moraes, S. 1975. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. em tres regioes do estado de Sao Paulo. *Summa Phytopathologica, Brasil* 2:32-38.
37. Muschler, R. 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, CR: CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. Materiales de enseñanza no. 45. 139 p.
38. Nutman, F; Roberts, F. 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. Kenya. *Coffee*. 27:273-279.
39. Nutman, F; Roberts, F; Bock, K. 1960. Methods of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 43(3):509-515.
40. _____. 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46(1):27-48.
41. OIC (Organización Internacional del Café, US). 2011. Producción de café a nivel mundial por país, en sacos de 60 kilos cosecha histórica 1990/91 – 1999/00 (en línea). US. Consultado 25 de mayo de 2012. Disponible en: <http://dev.ico.org/historical/1990-99/PDF/TOTPRODUCTION.pdf>
42. _____. 2011. Producción de café en la república de Guatemala, en sacos de 60 kilos, cosecha 2010 (en línea). US. Consultado 25 de mayo de 2012. Disponible en: <http://dev.ico.org/historical/2000+/PDF/TOTPRODUCTION.pdf>
43. _____. 2011 Producción de café a nivel mundial por país, en sacos de 60 kilos, cosecha histórica 2000/01 – 2011/12 (en línea). US. Consultado 25 de mayo de 2012. Disponible en: http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp?section=Estadística
44. Orozco, E; Figueroa, P; Pacheco, A; Calderón, G. 2011. Manejo integrado de la roya del café. *El Cafetal, la revista del caficultor (Colección 2011)* no. 28:4–5.
45. Ortolani, A; Vianna C; Abreu, R. 1971. *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. estudos e observações em regiões da Africa: sugestões á cafeicultura brasileira. Río de Janeiro, Brasil, Instituto Brasileiro do Café. 193 p.
46. Oseguera, S. 1991. Epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk) en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. Tegucigalpa, Honduras, IICA. 59 p.

47. Palma, M; Pineda, C; Tronconi, N. 1989. Determinación de dosis óptimas de tres formulaciones de cobre en el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en el departamento de Olancho. *In* Taller regional sobre roya y otras enfermedades (1989, HN). Tegucigalpa, Honduras, IICA. p. 20-43.
48. Palma, M; Suazo, G; Zaldivar, R; Agurcia, D. 1990. Período de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. Honduras. *In* Seminario nacional de investigación y de transferencia en caficultura (1995, HN). Honduras, IHCAFE. p. 165-173.
49. Penagos, H. 1976. La amenaza de la roya del cafeto en Guatemala, consideraciones generales y plan de acción. Guatemala, ANACAFE. p. 15-20.
50. Promecafé (IICA, Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura, GT). 1992. Manejo integrado de plagas. Guatemala, USAID / ROCAP. 109 p.
51. Rayner, R. 1961a. Spore liberation and dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Nature* 191(4789):245.
52. _____. 1961b. Germination and penetration studies on coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Ann. Appl. Biol.* 49:497-505.
53. _____. 1989. Biology and epidemiology in coffee rust: epidemiology, resistance and management. Ed. por AC Kushalappa y AB Eske. Florida, CRC Press. p. 16-80.
54. _____. 1972. Micología, historia y biología de la roya del cafeto. Costa Rica, IICA / CATIE. p. 68. (Publicación Miscelánea 94).
55. _____. 1980. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk. Y Br.). *Annals of Applied Biology*, Inglaterra 49:497-503.
56. Rivera, J. 1985. Avances en el estudio de la epidemiología de la roya del cafeto, en Honduras. *In* Taller regional del PROMECAFE sobre la roya del cafeto (1985, GT). Memoria. Antigua Guatemala, Guatemala, ANACAFE. 147 p.
57. Rivillas, C; Serna, C; Cristancho, M; Gaitán, A. 2011. La roya del cafeto en Colombia: impacto, manejo y costos de control; resultados de investigación. Colombia, CENICAFÉ, Boletín Técnico no. 36, 51 p.
58. Sánchez, J. 1990. Caficultura moderna: control de la roya. 2 ed. Guatemala, Colofón. 140 p.
59. Santacreo, R; Reyes, E; Osegueda, S. 1993. Estudio del desarrollo de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk & Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. *In* Simposio Latinoamericano sobre Caficultura (6, 1993, CR). Costa Rica, IICA. p. 199-213.
60. Vanderplank, J. 1960. Analysis of epidemics. *In* Horsfall, J; Dimond, E. *Plant pathology an advanced treatise*. New York, US, Academic Press. v.3, p. 229-289.
61. Von Chong, K; Bonilla, A. 1990. Parámetros para el muestreo y control químico de la roya del café. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria. 30 p.

62. Von Faber, F. 1910. Die Kraterpflanzen Javas in physiologisch-ökologischer Beziehung. Ver. Deutsch. Bot. Gesell. 28:138.
63. Wallis, J. 1970. La roya del café en Sudamérica; informe de la organización internacional del café. Londres, Inglaterra, Organización Internacional del Café. 59 p.

12 ANEXOS

Anexo 1; Encuesta del cultivo de café para agricultores de San Marcos y Quetzaltenango, 2011.

Boleta de información

Datos generales.

- Ubicación de la finca:
 - Departamento _____ Municipio _____
- Altitud: _____ Topografía: _____
- Área cultivada: _____
- En que meses se presenta la época lluviosa: _____

Sobre el cultivo.

- Variedad principal: _____
 - Variedad secundaria: _____
 - Otras variedades: _____
- Distanciamiento de siembra: _____
- Qué tipo de manejo de tejido realiza: _____
- Número de ejes que maneja por planta: _____
- Fertilización:
 - Si No
 - Cantidad (mz): _____ Frecuencia: _____
- Porcentaje de sombra que utiliza:
 - 30 – 40% 50 – 60% 60 – 80%
 - Principales variedades de sombra: _____
- Rendimiento de café tipo cereza por manzana: _____

Enfermedad de la ROYA.

- Tiene problemas de roya Si No
- En que variedad principalmente: _____
- Siembra catimores: Si No
- En qué mes del año observa mayor problema de roya _____
- Aplica fungicidas: Si No
- Cuales _____
 - En qué mes aplica los fungicidas: _____
- Que otra practica realiza para el control de roya _____
- Tiene estimado cuanto de perdidas le representa la enfermedad de la roya
 - 5% 15% 25%

OTRAS ENFERMEDADES

- Tiene problemas de ojo de gallo Si No
- En que variedad principalmente: _____
- En qué mes del año observa mayor problema de ojo de gallo _____
- Aplica fungicidas: Si No
Cuales _____
 - En qué mes aplica los fungicidas: _____
- Que otra practica realiza para el control de ojo de gallo _____
- Tiene estimado cuanto de perdidas le representa la enfermedad de ojo de gallo. 5% 15% 25%

Seleccione 2 plagas que le perjudiquen.

Derrite de hoja ó Phoma		Gallina ciega	
Mancha de hierro ó Cercospora		Escamas	
Antracnosis ó colletotrichum		Cochinillas de la raíz	
Mal de hilachas ó Koleroga.		Nématodos	
Mal rosado		Broca	

Qué medidas toma para el control de las 2 plagas seleccionas: _____

Anexo 2; Datos de producción de café en la república por departamento, en quintales oro para la cosecha 2007/2008.

Asociación Nacional del Café				
Departamento de Comercialización				
Producción de Café en la República por departamento, en quintales oro				
Cosecha 2007/2008				
	Departamento	Producción en Quintales Oro	Area en Manzanas	Promedio por Manzana
1	Guatemala	358,409	21,245	17
2	El Progreso	30,364	2,267	13
3	Sacatepequez	187,931	14,571	13
4	Chimaltenango	218,785	18,316	12
5	Escuintla	98,199	8,721	11
6	Santa Rosa	1,455,667	80,616	18
7	Solola	134,524	9,533	14
8	Totonicapan	-	-	-
9	Quezaltenango	99,533	8,385	12
10	Suchitepequez	335,379	27,523	12
11	Retalhuleu	19,703	2,213	9
12	San Marcos	257,040	16,340	16
13	Huehuetenango	632,194	40,243	16
14	El Quiche	64,742	4,005	16
15	Baja Verapaz	9,283	662	14
16	Alta Verapaz	176,822	20,630	9
17	El Peten	-	-	-
18	Izabal	-	-	-
19	Zacapa	86,440	5,525	16
20	Chiquimula	678,424	49,940	14
21	Jalapa	166,897	17,005	10
22	Jutiapa	122,764	10,530	12
	T o t a l e s	5,133,101	358,270	14

Fuente: ANACAFE, 2009

Anexo 3; Datos de producción de café en la república de Guatemala, en sacos de 60 kilos para el año 2010.

GUATEMALA		
Data for crop/calendar year commencing: 2010		
	GENERAL INFORMATION	
	Area (km ²)	108 890
	Population (million)	14.38
	Currency	Quetzal (GTQ)
	GDP (mln US\$)	41 178
	GDP per capita (US\$)	2 864
	Value of all exports (mln US\$)	10 583
	Value of all imports (mln US\$)	16 188
	Exchange rate (US\$ 1)	8.06
	Official language	Spanish
COFFEE SECTOR		
ICO membership status	Exporting Member	
ICO Contact	Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ)	
Type of coffee produced	Arabica and some Robusta	
Harvesting year	October-September	
Method of processing	Wet and Dry	
Total production (crop year) (000 bags)	3 950	
Domestic consumption (crop year) (000 bags)	340	
Per capita consumption (kg)	1.36	
Exports of green coffee (60-kg bags)	3 464 419	
Export of green Arabica coffee (60-kg bags)	3 437 279	
Export of green Robusta coffee (60-kg bags)	27 140	
Exports of processed coffee (60-kg bags GBE)	3 668	
Gross stocks at start of crop year (000 bags)	71	
Value of exports of all forms of coffee (mln US\$)	718.35	
Value of exports of all commodities (mln US\$)	5 907	
Value of coffee as a percentage of all commodities (%)	12.2	
Value of coffee as a percentage against GDP (%)	1.7	
Total area planted to coffee (ha)		
in production (crop year)		
in formation (crop year)		
Total number of trees (000)	Not available	
in production (crop year)		
new trees (crop year)		
Yield (crop year) (bags/ha)		
Density (crop year) (trees/ha)	Not available	
Retail tax on coffee (%)		
Additional taxes and levies		
on imports of green coffee	10%	
on imports of roasted coffee	15%	
on imports of soluble coffee	15%	
on exports of green coffee		
on exports of roasted coffee		
on exports of soluble coffee		

Fuente: OIC, 2011

Anexo 4; Datos de producción de café a nivel mundial por país, en sacos de 60 kilos cosechas 2000/01 al 2011/12.

ALL EXPORTING COUNTRIES TOTAL PRODUCTION CROP YEARS 2000/01 TO 2011/12 000 BAGS													
Country		2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12
Angola	(R)	50	21	57	38	15	25	35	36	38	13	35	50
Benin	(R)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bolivia, Plurinational State of	(A)	173	118	149	125	170	129	164	133	135	142	129	150
Brazil	(A/R)	31 310	31 365	48 480	28 820	39 272	32 944	42 512	36 070	45 992	39 970	48 095	43 484
Burundi	(A)	487	144	454	338	437	103	499	133	412	112	349	217
Cameroon	(R/A)	1 113	686	801	900	727	870	818	795	750	750	608	1 083
Central African Republic	(R)	113	68	92	43	29	23	114	43	60	93	95	120
Colombia	(A)	10 400	11 962	11 735	11 230	11 573	12 564	12 541	12 504	8 664	8 098	8 523	8 500
Congo, Dem. Rep. of	(R/A)	363	423	338	451	360	336	378	416	422	346	300	1 056
Congo, Rep. of	(R)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Costa Rica	(A)	2 293	2 127	1 893	1 783	1 887	1 778	1 580	1 791	1 320	1 450	1 588	1 773
Côte d'Ivoire	(R)	4 846	3 595	3 145	2 689	2 268	1 691	2 177	2 317	2 397	1 795	982	1 600
Cuba	(A)	312	285	239	224	154	52	51	7	12	22	26	100
Dominican Republic	(A)	467	387	455	351	491	310	387	465	645	352	378	500
Ecuador	(A/R)	872	893	732	766	938	1 120	1 167	1 110	691	813	854	875
El Salvador	(A)	1 751	1 686	1 438	1 477	1 437	1 502	1 252	1 505	1 450	1 065	1 859	1 330
Equatorial Guinea	(R)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethiopia	(A)	3 115	4 044	4 094	4 394	5 213	4 779	5 551	5 967	4 949	6 931	7 500	8 312
Gabon	(R)	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	2
Ghana	(R)	76	7	34	13	16	20	29	31	27	32	49	35
Guatemala	(A/R)	4 940	3 669	4 070	3 610	3 703	3 676	3 950	4 100	3 785	3 835	3 950	3 750
Guinea	(R)	400	236	328	366	316	525	473	323	505	502	354	450
Guyana	(R)	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Haiti	(A)	420	403	374	374	365	356	362	359	359	351	349	300
Honduras	(A)	2 667	3 036	2 496	2 968	2 575	3 204	3 461	3 842	3 450	3 575	4 326	4 500
India	(R/A)	4 370	4 604	4 776	5 534	4 159	4 090	4 563	4 319	3 950	4 764	5 033	5 333
Indonesia	(R/A)	6 987	6 833	6 731	6 404	7 536	9 159	7 483	4 474	9 612	11 380	9 129	8 250
Jamaica	(A)	37	31	37	37	21	34	40	20	32	25	21	30
Kenya	(A)	1 002	991	945	673	736	660	826	652	541	630	658	750
Lao, People's Dem. Rep. of	(R)	212	258	402	361	379	280	391	393	406	436	502	475
Liberia	(R)	12	12	12	5	6	5	7	7	14	8	9	10
Madagascar	(R)	362	147	445	435	522	599	587	614	728	457	525	575
Malawi	(A)	63	60	42	48	21	24	17	19	21	17	16	15
Mexico	(A)	4 815	4 438	4 351	4 201	3 867	4 225	4 200	4 150	4 651	4 200	4 850	4 600
Nepal	(A)				1	1	1	2	1	1	1	2	8
Nicaragua	(A)	1 595	1 115	1 200	1 547	1 130	1 489	1 425	1 903	1 442	1 831	1 804	2 100
Nigeria	(R)	49	44	50	46	45	69	51	42	50	34	42	50
Panama	(A)	170	160	140	172	90	176	173	176	149	138	116	120
Papua New Guinea	(A/R)	1 041	1 063	1 085	1 155	998	1 268	807	968	1 028	1 038	870	1 000
Paraguay	(A)	42	20	26	52	26	45	20	28	21	20	20	20
Peru	(A)	2 676	2 829	3 000	2 686	3 425	2 489	4 319	3 063	3 872	3 286	3 986	5 200
Philippines	(R/A)	341	263	255	293	355	432	441	446	587	730	189	350
Rwanda	(A)	273	296	320	266	450	337	351	224	369	258	316	267
Sierra Leone	(R)	49	79	42	36	15	60	31	40	86	91	33	70
Sri Lanka	(R)	33	32	34	37	32	35	33	33	31	32	37	35
Tanzania	(A/R)	809	624	824	612	763	804	822	810	1 186	709	800	750
Thailand	(R)	1 692	715	732	827	884	999	766	650	376	470	579	850
Timor-Leste	(A)	7	33	37	42	17	24	46	36	48	47	60	133
Togo	(R)	197	112	68	144	166	140	134	125	138	204	161	200
Trinidad & Tobago	(R)	16	16	17	16	15	15	12	12	11	11	10	10
Uganda	(R/A)	3 401	3 158	2 890	2 599	2 593	2 159	2 700	3 250	3 197	2 797	3 290	2 850
Venezuela, Bol. Rep. of	(A)	1 450	1 265	1 484	1 421	1 327	1 506	1 571	1 520	932	1 214	1 205	1 000
Vietnam	(R/A)	14 841	13 093	11 574	15 337	14 370	13 842	19 340	16 467	18 500	18 200	19 467	17 500
Yemen	(A)	64	62	57	193	206	203	207	165	188	109	135	200
Zambia	(A)	93	100	119	100	110	103	56	61	35	28	13	13
Zimbabwe	(A)	109	121	110	92	120	66	45	31	24	21	10	15
Total		112 983	107 732	123 216	106 334	116 333	111 352	128 972	116 650	128 293	123 435	134 241	130 970

Fuente: OIC, 2011

Anexo 5; Datos de producción de café a nivel mundial por país, en sacos de 60 kilos cosechas 1990/91 al 1999/00.

**TOTAL PRODUCTION
CROP YEARS 1990/91 TO 1999/00**

(000 bags)

Country		1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00
April group		40 795	42 503	46 879	40 735	40 907	30 009	44 315	39 764	51 020	60 699
Angola	(R)	50	79	78	33	77	62	71	64	85	55
Bolivia	(A)	123	107	123	57	122	152	133	153	150	184
Brazil	(A/R)	27 286	27 293	34 603	28 167	28 192	18 060	29 197	26 148	36 761	47 578
Burundi	(A)	487	667	620	393	664	434	401	250	492	351
Ecuador	(A/R)	1 504	2 124	1 185	2 069	2 376	1 888	1 993	1 191	1 206	1 198
Indonesia	(R/A)	7 441	8 463	5 577	7 301	6 280	5 180	8 235	7 922	7 385	6 264
Madagascar	(R)	982	933	1 122	442	641	785	849	624	992	427
Malawi	(A)	105	124	137	62	84	91	49	61	64	59
Papua New Guinea	(A/R)	963	747	900	1 019	1 139	1 002	1 089	1 074	1 352	1 387
Paraguay	(A)	131	80	54	70	25	23	26	23	58	20
Peru	(A)	937	1 200	1 762	665	1 179	1 871	1 806	1 930	2 102	2 744
Rwanda	(A)	535	484	639	444	22	329	293	193	223	307
Zimbabwe	(A)	252	201	78	12	106	131	174	130	149	125
July group		3 618	2 927	3 161	2 979	3 049	3 469	3 014	3 274	2 687	2 860
Congo, Rep. of	(R)	3	3	3	3	8	12	14	3	3	3
Cuba	(A)	414	302	284	285	284	285	366	300	280	328
Dominican Republic	(A)	880	321	638	604	730	886	519	941	487	607
Haiti	(A)	393	463	500	451	450	514	428	432	439	399
Philippines	(R/A)	974	1 018	920	875	877	850	890	935	677	622
Tanzania	(A/R)	932	790	786	734	679	897	764	624	739	842
Zambia	(A)	23	29	29	27	21	26	33	38	62	59
October group		48 840	56 133	47 352	48 285	49 925	53 501	55 807	56 657	54 436	66 447
Benin	(R)	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Cameroon	(R/A)	1 682	1 726	260	683	406	660	1 432	889	1 114	1 370
Central African Republic	(R)	175	125	134	166	250	108	208	114	215	241
Colombia	(A)	14 231	18 222	13 823	11 320	12 989	12 878	10 876	12 233	11 035	9 393
Congo, Dem. Rep. of	(R/A)	1 580	1 230	1 180	980	1 298	1 098	795	811	738	477
Costa Rica	(A)	2 562	2 760	2 998	2 259	2 496	2 684	2 126	2 500	2 293	2 409
Côte d'Ivoire	(R)	2 940	4 129	2 246	2 293	3 006	2 532	4 859	4 164	1 992	6 320
El Salvador	(A)	2 465	2 198	3 001	2 378	2 293	2 585	2 534	2 175	2 055	2 598
Equatorial Guinea	(R)	4	3	2	0	3	2	1	2	1	0
Ethiopia	(A)	2 909	3 061	1 794	2 865	2 537	2 860	3 270	2 916	2 745	3 505
Gabon	(R)	3	2	3	3	8	2	1	3	4	2
Ghana	(R)	38	76	37	45	57	57	32	27	54	89
Guatemala	(A/R)	3 271	3 497	4 318	3 536	3 787	4 002	4 525	4 219	4 893	5 120
Guinea	(R)	44	91	76	64	198	104	148	172	421	364
Guyana	(R)									1	1
Honduras	(A)	1 568	2 322	1 918	1 829	2 181	1 909	2 004	2 564	2 195	2 985
India	(R/A)	2 829	3 000	2 823	3 533	3 002	3 717	3 417	3 805	4 417	4 867
Jamaica	(A)	23	39	26	34	45	43	54	47	29	38
Kenya	(A)	1 485	1 514	1 316	1 328	1 663	1 664	1 247	882	1 173	1 502
Lao, People's Dem. Rep. of	(R)									171	239
Liberia	(R)	3	3	3	5	5	5	5	5	18	12
Mexico	(A)	4 674	4 727	3 401	5 023	4 159	5 300	5 110	4 802	4 801	6 219
Nicaragua	(A)	461	707	547	706	683	985	793	1 084	1 073	1 554
Nigeria	(R)	29	44	49	45	52	53	46	45	53	45
Panama	(A)	215	193	197	142	248	209	211	217	192	166
Sierra Leone	(R)	43	54	39	37	73	44	41	50	27	59
Sri Lanka	(R)	96	82	53	54	42	36	37	58	46	32
Thailand	(R)	757	1 469	1 255	1 275	1 399	1 317	1 404	1 293	916	1 273
Togo	(R)	161	433	86	195	176	84	291	221	321	263
Trinidad & Tobago	(R)	15	18	14	16	18	18	18	19	17	17
Uganda	(R/A)	1 955	2 088	2 185	3 142	2 393	3 244	3 419	3 440	3 386	2 862
Venezuela, Bol. Rep. of	(A)	1 230	1 015	1 225	1 307	926	1 364	1 200	986	1 001	734
Vietnam	(R)	1 390	1 308	2 340	3 020	3 532	3 938	5 705	6 915	6 970	11 631
Yemen	(R)									69	61
Total		93 253	101 562	97 392	91 998	93 881	86 979	103 136	99 695	108 143	130 005

Fuente: OIC, 2011

Anexo 6; Resultados de análisis de varianza para el área bajo la curva del progreso de la incidencia de roya del café

ANVA NO-Paramétrico y separación de medias con ABCPE de incidencia de roya del café

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: RANKABCP RANK FOR VARIABLE ABCP

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	2297760.60027056	382960.10004509	74.68	0.0001
Error	361	1851198.89972944	5127.97479149		

Corrected Total 367 4148959.50000000

R-Square	C.V.	Root MSE	RANKABCP Mean
0.553816	38.81294	71.60987915	184.50000000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	6	2297760.60027056	382960.10004509	74.68	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	6	2297760.60027056	382960.10004509	74.68	0.0001

ANVA NO-Paramétrico y separación de medias con ABCPE de incidencia de roya del café

General Linear Models Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: RANKABCP

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 361 MSE= 5127.975
 Critical Value of Studentized Range= 4.193
 Minimum Significant Difference= 43.216
 Harmonic Mean of cell sizes= 48.27766

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	271.79	56	X0
A	270.98	56	EP
A	237.94	32	LC
B	223.85	48	SG
C	176.36	40	C
D	101.61	88	R
D	65.54	48	J0

Anexo 7; Matriz de correlación de las variables recolectadas en el estudio de la epidemiología de la roya del café ocasionada por *Hemileia vastatrix* en las regiones central y suroccidental de Guatemala, 2009-2010.

Valores en color rojo corresponden a correlaciones inversas y los valores en color verde corresponden a correlaciones directas.

	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10	VAR11	VAR12	VAR13	VAR14	VAR15	VAR16	VAR17	VAR18	VAR19
VAR1 = Latitud																			
VAR2 = Longitud	-0.98																		
VAR3 = Altitud	-0.16	0.31																	
VAR4 = Temperatura	-0.29	0.32	-0.20																
VAR5 = Precipitación	0.57	-0.67	-0.32	-0.81															
VAR6 = pH suelo	0.51	-0.60	-0.55	-0.32	0.57														
VAR7 = Ca/Mg	0.01	-0.13	-0.58	-0.26	0.45	0.78													
VAR8 = (Ca+Mg)/K	0.39	-0.53	-0.47	-0.33	0.63	0.77	0.74												
VAR9 = Soros senescentes prom.	0.18	-0.32	-0.50	-0.55	0.71	0.36	0.24	0.27											
VAR10 = Soros nuevos prom.	0.12	-0.25	-0.73	0.56	-0.04	0.16	0.09	0.35	0.19										
VAR11 = P. incubación prom.	-0.29	0.43	0.83	0.32	-0.70	-0.56	-0.55	-0.41	-0.80	-0.34									
VAR12 = Incidencia roya inicial	-0.72	0.73	0.08	0.36	-0.65	-0.20	-0.07	-0.53	-0.09	-0.15	0.23								
VAR13 = Incidencia roya final	-0.47	0.46	-0.22	-0.06	0.00	-0.31	0.03	-0.50	0.34	-0.18	-0.44	0.36							
VAR14 = Incidencia roya máxima	-0.24	0.15	-0.64	0.21	0.02	-0.09	-0.02	-0.27	0.62	0.46	-0.64	0.34	0.71						
VAR15 = Incidencia roya mínima	-0.14	0.10	-0.10	-0.05	-0.11	0.36	0.10	-0.09	0.37	-0.05	-0.10	0.70	0.00	0.28					
VAR16 = ABCPI	-0.24	0.08	-0.63	-0.11	0.31	0.14	0.22	0.14	0.84	0.47	-0.68	0.23	0.46	0.83	0.39				
VAR17 = Tasa incremento max.	-0.05	-0.06	-0.59	0.08	0.31	-0.18	0.05	0.13	0.46	0.59	-0.59	-0.35	0.46	0.65	-0.46	0.62			
VAR18 = Tasa incremento prom.	-0.40	0.38	-0.14	0.36	-0.24	-0.72	-0.47	-0.45	0.14	0.39	-0.08	0.04	0.54	0.63	-0.37	0.44	0.78		
VAR19 = Densidad	-0.06	0.12	0.09	-0.12	-0.06	-0.27	-0.43	-0.73	0.37	-0.33	-0.20	0.42	0.65	0.57	0.41	0.27	-0.01	0.25	