

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL**



**Epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) durante las épocas seca y lluviosa en tres niveles altitudinales de El Salvador.**

**POR**

**Br: José Ángel Durán López**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRONOMO**

**SAN SALVADOR CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2013**

# **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:           ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIA:   DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO: ING. AGR. M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**

**SECRETARIO: ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO**

# **JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL**

---

**ING. AGR. LEOPOLDO SERRANO CERVANTES**

## **DOCENTES DIRECTORES**

---

**ING. AGR. M.Sc. ANDRÉS WILFREDO RIVAS FLORES**

---

**ING. AGR. DR. ADÁN HERNÁNDEZ**

## **COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

**ING. AGR. GUSTAVO HENRÍQUEZ MARTÍNEZ**

## RESUMEN

El presente estudio, se realizó en tres fincas, correspondientes a cada nivel altitudinal de la zona cafetalera del Centro-Occidente, de El Salvador. Las fincas seleccionadas fueron: en bajío, la finca Normandía, ubicada en cantón Santa Rosa, del municipio de San Juan Opico, departamento de La Libertad; en media Altura, finca San Antonio, situada en cantón Las Aradas, del municipio de Santa Ana; y estricta Altura, la finca El Olvido, ubicada en El Boquerón, municipio de Santa Tecla, La Libertad.

El objetivo de la investigación, fue estudiar la epidemiología, del hongo causante de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), principal enfermedad de este cultivo, que afecta los tejidos vivos de la hojas de los cafetos.

La metodología de campo, utilizada para la investigación fue, la propuesta por Avelino y Muller (1991); la cual consistió, seleccionar doce cafetos, en al centro de la finca. (Figura A-1)

Cada cafeto se estratifico, en partes baja, media y superior (Figura A-2); muestreándose 4 bandolas por estrato (Figura A-3). Los datos para determinación de la incidencia y severidad, se promediaron, en una matriz de doce; los cuales se tomaron en cada finca, uno por cada mes. Los datos así obtenidos, se analizaron por los modelos de regresión lineal simple, la tasa de infección aparente ( $r$ ), la curva de progreso de la enfermedad y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), y el coeficiente de determinación de regresión ( $r^2$ ), relacionándolos con los factores climatológicos. Se determinó el daño producido por la enfermedad en cada finca; determinándose que las variables epidemiológicas, de incidencia y severidad, para bajío, media y estricta altura fueron respectivamente: 11,102.5 y 53,283; 13,474 y 83,162 y de 1,141 y 1829, área bajo la curva de progreso de la enfermedad; de igual manera, la tasa de infección aparente ( $r$ ), los resultados fueron respectivamente, para cada estrato altitudinal, 4.63 y 4.68; 3.36 y 5.10; y de 0.79 y 1.22.

También se determinó que la defoliación depende, de la incidencia y severidad, respectivamente en un 68 y 62% para bajío; de 80 y 83% para media altura, y en estricta altura, no hubo defoliación. En bajío, la incidencia y severidad, se vieron influenciados por la temperatura, la lluvia y humedad relativa; para media altura a la lluvia y humedad relativa y en estricta altura, se encontró que la lluvia influyó en la severidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios padre**

Por haberme dado la energía y concedido capacidad necesaria para adquirir conocimientos en el desarrollo de mi carrera profesional.

### **A Jesucristo**

Como maestro por sus enseñanzas que fortalecen nuestra razón de aprender en el camino del bien.

### **A María Santísima**

Por acompañarme en todo momento y librarme de todo mal

### **A mi familia**

Por darme todo su amor, confianza, apoyo moral y económico

### **A mis asesores.**

Ing. Agr: M.Sc. Andrés Wilfredo Rivas Flores

Ing. Agr: Dr. Adán Hernández

Por proporcionarme sus conocimientos y apoyo incondicional en el desarrollo de éste trabajo

### **A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS Y AL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL.**

Por toda enseñanza recibida y por forjarnos durante un período como nuevos profesionales en las Ciencias Agrícolas.

### **A la Fundación Salvadoreña de Investigación del Café (PROCAFE)**

Por haberme proporcionado su ayuda y apoyo logístico en el trabajo de campo en la toma de datos.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS TODO PODEROSO.**

Quien me ha regalado la vida y me ha permitido emprender en conocimientos para lograr mi profesión.

### **A JESUCRISTO**

Que me dio el don de aprender y alcanzar mis metas profesionales.

### **A María Santísima**

Siempre nos inspira y nos acompaña en el camino del bien

### **A MIS PADRES.**

Con su amor, esfuerzo y sacrificio me permitieron obtener con éxito este triunfo

### **A MIS HERMANOS**

Que me apoyaron siempre con amor y sacrificio.

### **A LOS DOCENTES**

Por su don de enseñar y transmitir sus conocimientos.

### **A TODOS MIS AMIGOS(AS) Y COMPAÑEROS(AS) DE LA FACULTAD**

Por compartir buenos momentos y alegrías inolvidables que nos permiten avanzar hacia nuestra meta.

## ÍNDICE

Contenido.	Pag.
1. Introducción.	1
2. Revisión bibliográfica..	2
2.1. Importancia económica del café en El Salvador.	2
2.1.1. Demanda del café a nivel mundial.	3
2.2. Especies y variedades de café cultivadas en El Salvador..	3
2.2.1. Principales variedades cultivadas en El Salvador.	4
2.2.1.1. Bourbon.	4
2.2.1.2. Pacas..	4
2.3. La roya del café.	5
2.3.1. Origen de la roya del café.	5
2.3.2. La roya en Centroamérica.	5
2.3.3. La roya en El Salvador.	5
2.4. Sintomatología de la roya del café.	5
2.5. Clasificación taxonómica.	9
2.6. Epidemiología de la roya.	9
2.6.1. Condiciones epifitológicas de la roya ( <i>Hemileia vastatrix</i> ).	10
2.6.1.1. El patógeno.	10
2.6.1.2. El hospedero.	12
2.6.1.3. Condición climática.	13
2.6.1.4. Manejo agronómico.	13
2.6.2. El fenómeno climático y su relación con los sistemas cafetaleros..	14
2.6.3. La roya y su relación con el pico de cosecha.	14
2.6.4. Pérdidas de producción.	15
2.6.5. Cantidad de follaje y su relación con la incidencia de la roya.	16
2.6.6. La roya del cafeto: la enfermedad de mayor incidencia en los bosques cafetaleros.	16
2.6.7. La curva de progreso de la enfermedad.	17
2.6.7.1. La lluvia.	18
2.6.7.2. Temperatura.	18
2.6.7.3. Carga fructífera.	19
2.6.7.4. Periodo de cosecha.	20
2.6.7.5. El inóculo residual.	20
2.7. La roya anaranjada del cafeto en América Central.	20
2.8. Situación actual de la roya en El Salvador..	21

3. Materiales y métodos.	. . . . .	. 22
3.1. Método de campo.	. . . . .	. 22
3.1.1. Forma de muestreo de roya.	. . . . .	. 22
3.1.2. Características de las fincas.	. . . . .	. 23
3.2. Método estadístico.	. . . . .	. 24
4. Resultados y discusión.	. . . . .	. 26
4.1. Finca Normandía (bajo).	. . . . .	. 26
4.1.1. Relación incidencia y severidad con la precipitación.	. . . . .	. 28
4.1.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa.	. . . . .	. 29
4.1.3. Relación incidencia y severidad con la temperatura.	. . . . .	. 30
4.1.4. Relación incidencia y severidad con la defoliación.	. . . . .	. 31
4.1.5. Relación incidencia con la severidad.	. . . . .	. 32
4.1.6. Tasa de infección aparente (r).	. . . . .	. 32
4.1.7. Pérdida de frutos.	. . . . .	. 33
4.2. Finca San Antonio (media altura).	. . . . .	. 34
4.2.1. Relación incidencia y severidad con la precipitación.	. . . . .	. 35
4.2.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa.	. . . . .	. 36
4.2.3. Relación incidencia y severidad con la temperatura.	. . . . .	. 37
4.2.4. Relación incidencia y severidad con la defoliación.	. . . . .	. 38
4.2.5. Relación incidencia con la severidad.	. . . . .	. 39
4.2.6. Tasa de infección aparente (r).	. . . . .	. 39
4.2.7. Pérdida de fruto.	. . . . .	. 41
4.3. Finca El Olvido (estricta altura).	. . . . .	. 41
4.3.1. Relación incidencia y severidad con la precipitación.	. . . . .	. 43
4.3.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa.	. . . . .	. 44
4.3.3. Relación incidencia y severidad con la temperatura.	. . . . .	. 44
4.3.4. Relación incidencia y severidad con la defoliación.	. . . . .	. 45
4.3.5. Relación incidencia con la severidad.	. . . . .	. 46
4.3.6. Tasa de infección aparente (r).	. . . . .	. 46
4.3.7. Pérdida de frutos.	. . . . .	. 47
4.4. Programa de manejo de la roya del café.	. . . . .	. 47
5. Conclusiones.	. . . . .	. 49
6. Recomendaciones.	. . . . .	. 50
7. Bibliografía.	. . . . .	. 51
8. Anexos.	. . . . .	. 53

## ÍNDICE DE CUADROS

Contenido.	pag.
Cuadro 1. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas en los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en finca de bajío. . . . .	26
Cuadro 2. Nivel de severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de bajío. . . . .	27
Cuadro 3. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas en los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en finca de media altura. . . . .	34
Cuadro 4. Niveles de severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de media altura. . . . .	35
Cuadro 5. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas en los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en finca de estricta altura. . . . .	42
Cuadro 6. Nivel de severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de estricta altura. . . . .	42

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Contenido.	Pag.
<b>Fig. 1.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la precipitación en la finca Normandía (bajío). . . . .	.29
<b>Fig. 2.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la humedad relativa en la finca Normandía (bajío). . . . .	.30
<b>Fig. 3.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la temperatura en la finca Normandía (bajío). . . . .	.31
<b>Fig. 4.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la defoliación en la finca Normandía (bajío). . . . .	.32
<b>Fig. 5.</b> Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI Y ABCPS) de la roya del café en la finca Normandía (bajío) . . . . .	.33
<b>Fig. 6.</b> Curvas de incidencia y severidad de la enfermedad y su relación con la precipitación en la finca San Antonio (media altura). . . . .	.36
<b>Fig. 7.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya del café y su relación con la humedad relativa en la finca San Antonio (media altura). . . . .	.37
<b>Fig. 8.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya del café y su relación con la temperatura en la finca San Antonio (media altura). . . . .	.38
<b>Fig. 9.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la defoliación en la finca San Antonio (media altura). . . . .	.39
<b>Fig. 10.</b> Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS), en la finca San Antonio (media altura). . . . .	.40
<b>Fig. 11.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya en la finca y su relación con la precipitación en la finca El Olvido (estricta altura). . . . .	.43
<b>Fig. 12.</b> Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la humedad relativa en la finca El Olvido (estricta altura). . . . .	.44



## ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	pag.
<b>Cuadro A-1.</b> Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de bajo en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.54
<b>Cuadro A-2.</b> Valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitológico de la enfermedad desarrollados para la finca de bajo. . . . .	.54
<b>Cuadro A-3.</b> Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de bajo, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.55
<b>Cuadro A-4.</b> Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de media altura en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.55
<b>Cuadro A-5.</b> Valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitológico de la enfermedad desarrollados para la finca de media altura. . . . .	.56
<b>Cuadro A-6.</b> Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de media altura, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.56
<b>Cuadro A-7.</b> Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de estricta altura en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.57
<b>Cuadro A-8.</b> Valores de Área bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitológico de la enfermedad desarrollados para la finca de estricta altura. . . . .	.57
<b>Cuadro A-9.</b> Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de estricta altura, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012. . . . .	.58
<b>Cuadro A-10.</b> Cantidad de frutos registrados en junio (inicio) y en noviembre (final) dentro del mismo ciclo de producción en cada categoría de finca y sección del árbol. . . . .	.58
<b>Fig. A-1.</b> Esquema de muestreo para cada parcela (finca). . . . .	.59

<b>Fig. A-2.</b> Muestreo en cada el árbol, en su parte baja, media y superior.	. . . . .	.59
<b>Fig. A-3.</b> Vista superior de sección de bandolas de café a muestreadas en cada sección del árbol.	. . . . .	.59
<b>Fig. A-4.</b> Forma de muestreo en las bandolas.	. . . . .	.60

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del café en El Salvador, se desarrolla en tres estratos altitudinales, con características climáticas y condiciones propias, que los identifica. En este contexto se presenta la roya del cafeto, enfermedad causada por el hongo, *Hemileia vastatrix*, la cual está causando serios daños a la caficultura salvadoreña; debido a que su efecto repercute directamente en la formación del grano y consecuentemente, reduce severamente la producción; influyendo directamente en los ingresos y rentabilidad del caficultor. Además el cultivo del café, desde el punto de vista social, representa generación de empleo e ingresos, para una gran cantidad de familias del campo y de la ciudad. Así mismo es fuente de divisas para nuestro país, sin quitar meritos al consumo nacional del café, así como su importancia ambiental.

Esta enfermedad que fue detectada por primera vez, a finales de 1979, en la finca California, jurisdicción de Santiago de María Usulután, siendo una enfermedad cuarentenaria, policíclica y de carácter bianual, conociéndose a su vez, sus efectos; tiene como ya se describió anteriormente, una relación con los niveles de producción, motivo por el cual es de vital importancia estudiarla, para un mejor conocimiento de su comportamiento, en las condiciones ambientales de nuestro país, y así poder aplicar los resultados obtenidos, en el manejo integrado del cultivo, considerando lo antes descrito, su estudio la epidemiología de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), tanto en las épocas secas y lluviosa, y su relación con los factores ambientales de mayor incidencia en los tres estratos altitudinales de la zona cafetalera del país, durante el ciclo productivo, comprendido de mayo de 2011 hasta abril de 2012. Durante este periodo se determinó, que la enfermedad, no tiene el mismo comportamiento, en cada estrato altitudinal; sino que responde a un factor específico, para que se desarrolle la epifítia. Encontrándose que al menos un factor influyó en el desarrollo de la enfermedad (incidencia y severidad); sea éste, la precipitación, la temperatura y humedad relativa; según la época del año, reflejándose, en los resultados de las pruebas estadísticas y la curva de progreso de la enfermedad.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Importancia económica del café en El Salvador

El cultivo del café es un rubro de mucha relevancia social, económica y ambiental, para el país, superando a otras alternativas agrícolas de producción; ya que contribuye en la sostenibilidad y conservación de alrededor de 217,600 mz de suelos altamente vulnerables (PROCAFE, 2010a).

El café presenta un importante aporte al Producto Interno Bruto de El Salvador a pesar de una pérdida relativa en el impacto dentro de la economía, favorecida por la evolución de El Salvador hacia una de las economías más libres del mundo que ha permitido la reconversión de los sectores productivos (BCR, 2008).

A continuación se resaltan algunos aspectos que recalcan la importancia socioeconómica del café para El Salvador:

En el año 2007, el café representó el 1.5% del Producto Interno Bruto y el 12.0% del PIB Agropecuario. En un estudio se determinó que el PIB del sector agropecuario aumentó de 13.3% a 22.8% al ajustarlo por su aporte agroindustrial (Consejo Nacional del Café, 2009).

Las exportaciones de café representaron en 2008 un 6.7% del total de exportaciones del país, aun cuando la diversificación de exportaciones y la disminución en la productividad del parque cafetalero han minado el desempeño de las primeras. La actividad cafetalera promedió entre los años 1995 y 2007 represento un 8.3% de las exportaciones totales de El Salvador (PROCAFE, 2010b).

Para el año 2010 las expectativas en el mercado internacional fueron positivas muestra de ello es que en junio del mismo año el quintal se comercializaba a \$160.00. Entre enero y febrero del presente año (2011) el valor se disparó en \$ 20.00, ya que el 31 de enero el precio cerró a 241.86 y al 18 de febrero alcanzo los \$ 264.15 (Velasco, 2011).

En el año 2008 el 27% aproximadamente de los fondos de créditos destinados por la Banca y Financieras al sector agropecuario fue para el sector cafetalero. Si hablamos únicamente del subsector agricultura el porcentaje representó el 47% de total de créditos. El monto de créditos del sector cafetalero que asciende a \$55 millones y representó un 1.1% del total de créditos totales del país (BCR 2008).

Para El Salvador, el café ha sido uno de los rubros agrícolas más importantes por su capacidad de generar empleos en 136 municipios; beneficiando al 52% de los 262 municipios del país, abonando a la seguridad alimentaria y social, a un buen número de familias que habitan en la zona rural; atenuando al mismo tiempo las migraciones rurales hacia las zonas urbanas. Se puede decir que en la caficultura descansa históricamente, gran parte del desarrollo económico, logrado por otros sectores como: el financiero, comercio y otros servicios, que actualmente son soporte relevante para la economía del país (PROCAFE, 2010b).

La estabilidad socio política de un país, estriba en la disponibilidad y acceso a fuentes de trabajo para la población. No tiene discusión que el café ha sido un rubro que demanda mucha mano de obra para obtener un producto de excelente calidad y ser comercializado en el mercado internacional, para generar divisas. En el año cosecha 2009/10, se emplearon más de 21 millones de jornales, que representaron 86 mil empleos rurales permanentes. En este contexto se puede mencionar que en el ciclo 2009/10, para la producción y recolección del café en las fincas, se emplearon el 91% de la mano obra demandada, de la cual, el 37.9% se utilizaron en la fase agronómica, 39.7% en la fase de recolección del grano y 13.4% se destinaron a la administración; mientras que en la fase agroindustrial (Beneficiado) únicamente se emplearon el 9.0%. Si se traduce en unidades, Técnico PS y E-Estadísticas días-hombres (d/h), se puede decir que en el ciclo cafetalero 2009/10, se demandaron 21.5 millones, que al convertirlos a empleos permanentes suman un total de 86,220 empleos, favoreciendo a igual número de familias (PROCAFE, 2010b).

#### 2.1.1. Demanda del café a nivel mundial

El consumo mundial de café, puede crecer este año 2010 (según expectativas para esa fecha,) más de lo previsto, a 134 millones de sacos de 60 kilos; si la tendencia actual se mantiene. La OIC (Organización Internacional del Café) tenía un pronóstico previo para el consumo mundial de entre 130 y 132 millones de sacos de 60 kilos (PROCAFE, 2010b).

#### 2.2. Especies y variedades de café cultivadas en El Salvador

***Coffea arábica***. Constituye la especie más importante en el mundo. Es un tetraploide ( $2n=44$  cromosomas), mientras que las especies de Robusta son diploides ( $2n=22$  cromosomas); por ello se cree que son originarios de cuatro especies diploides conocidas en el continente africano (Enciclopedia agropecuaria, 1995).

El **C. canephora**: Produce el denominado café Robusta, de regular calidad, pero cuyo consumo ha aumentado los últimos años con las mezclas de cafés solubles. Originario de Zaire y Guinea. Por su resistencia a la roya, se le hicieron trabajos de mejoramiento y ha llegado a tener importancia en el Oriente y África. Hay híbridos entre **C. canephora** y **C. congensis**, de buenos rendimientos, llamados conugas (Enciclopedia agropecuaria, 1995).

El **C. liberica** o café de Liberia: Es originario de regiones húmedas y semiáridas de Zaire y Guinea. No ha alcanzado mayor importancia como cultivo comercial y ha manifestado poca resistencia a la roya (Enciclopedia agropecuaria, 1995)

Las variedades de café comerciales su principal base genética es **Coffea arábica** mientras que las variedades pertenecientes a **C. canephora** y **C. liberica** su importancia es como recurso filogenéticos (PROCAFE, 2010a).

#### 2.2.1. Principales variedades cultivadas en El Salvador

##### 2.2.1.1. Bourbon.

Es una mutación espontánea del **Coffea arábica** es una planta de tamaño promedio alto y coloración del brote terminal verde, laterales con buen vigor y entrenudos largos. La altura recomendada para el cultivo es arriba de 1000 msnm, en zonas de media altura y estricta altura; presenta una productividad promedio entre 24.40 y 55.15 qq oro/ mz (PROCAFE, 2005). En nuestro país, el área cultivada de esta variedad es de unas 147,900 mz de extensión, correspondiente a un 68% del área cultivada de café (PROCAFE, 2005).

##### 2.2.1.2. Pacas.

Es una variedad que se originó de la mutación de la variedad Bourbon y esta fue reportada en la zona de Santa Ana en 1949. Se caracteriza por ser de porte bajo, laterales aceptablemente largos, entrenudos más cortos que las variedades Bourbon o Tekisic y hojas de color verde oscuro. Estas características favorecen su cultivo en distanciamientos cortos, por lo tanto la densidad de plantas por manzana es mayor; la altitud recomendada oscila entre 500 y 1000 msnm. La productividad promedio por manzana ronda entre 24 y 70 qq oro/ mz (PROCAFE, 2005). Esta variedad se encuentra cultivada en unas 63,200 mz, correspondiente a un 29%, de la superficie cultivada, en nuestro país (PROCAFE, 2005).

### 2.3. La roya del café

La roya del café es una de las enfermedades de mayor importancia económica a nivel nacional como a nivel mundial, por lo que ha sido objeto de muchas investigaciones (ISIC, sf y CATIE, 1992).

La roya del cafeto es causada por *Hemileia Vastatrix*, un hongo que pertenece a la familia de las pucciniáceas de las uredinales. El hongo produce manchitas redondeadas amarillo-anaranjadas y polvorientas en el envés de las hojas (Avelino, 1991).

#### 2.3.1. Origen de la roya del café

La roya del café fue reportada por primera vez en 1861 en el café silvestre cerca del lago Victoria en África oriental. En 1867 productores en Ceilán (isla asiática), el mayor productor del mundo, tomó nota de la aparición de una enfermedad. En 1879 la enfermedad estaba causando daños de tal manera que el gobierno de Ceilán hizo un llamamiento a los británicos a enviar a alguien para investigar la enfermedad y sugerir una cura (IICA, 1975a).

#### 2.3.2. La roya en Centroamérica

En 1970, la roya del café fue descubierto por primera vez en las Américas, cerca de Itabuna de Bahía en el Estado, Brasil y en 1973 se había extendido a importantes zonas productoras del sur y Centroamérica (Schieber, 1975).

#### 2.3.3. La roya en El Salvador

Paulatinamente todos los países del área centroamericana, fueron afectados por la roya del café; en El Salvador fue reportada a finales del año 1979, (ISIC, sf)

### 2.4. Sintomatología de la roya del café

La roya del café es un parasito obligado que afecta las hojas vivas de la especies del genero *Coffea*. De las especies cultivadas, *C. arábica* es la más atacada (Avelino, J; *et al.* 1999).

Al comienzo de la enfermedad, se puede observar en el área foliar infectada, un diámetro de más o menos 3 mm en círculo, pero que gradualmente aumenta el tamaño hasta dos centímetros o más, y puede unirse con otras infecciones, para formar una lesión más o menos irregular, que puede abarcar una gran parte de la superficie foliar. Aun antes que el

tejido foliar se torne marrón, las esporas pueden aparecer aún más pálidas en la masa central de la lesión y pueden volverse hasta blancuzcas (Rayner 1977).

La enfermedad, se caracteriza por presentar pequeñas manchas redondeadas, amarillo naranja y polvorientas 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. Si hay esporulación abundante, un ligero toque de la hoja puede hacer que una nube de esporas se desprenda (Rayner 1972).

La germinación de las uredospóras en el envés de una hoja de cafeto mojada, puede comenzar solamente en una hora. Poros germinales se forman en dos y a veces cinco puntos equidistantes, por adelgazamiento del exosporio, luego sale un tubo germinativo en forma de dedo, con ápice redondeado, con una ligera constricción en el punto de salida. Este tubo permanece sin ramificarse por algún tiempo, pasando a él, el contenido anaranjado y granulado de la espora. Después pueden formarse ramificaciones; algunas de ellas son cortas, otras se extienden considerablemente, pero en general el crecimiento es limitado. Cuando alguna parte del tubo germinal ramificado hace contacto con un estoma, se forma un apresorio. Este consiste de una vesícula ovoide o piriforme, en forma de saco. Casi todo el contenido coloreado de la hifa pasa al interior del apresorio, el cual puede estar separado mediante un tabique. En el lado inferior del apresorio se forma una hifa penetrante (hifa de infección) la cual crece en el interior de la cavidad subestomáticas a través del ostíolo (Subero, sf y Rayner, 1977).

En el haz foliar, el crecimiento de los tubos germinales es menos vigoroso, pero se extiende y ramifica más. Es posible que se forme en este caso un apresorio, que puede producir uno o más procesos y hasta se puede desarrollar un apresorio secundario. Eventualmente todo se muere sin haber ocurrido la penetración (Subero sf).

Una vez que la hifa de infección ha llegado hasta la cavidad subestomáticas, se produce un ensanchamiento en forma de vesícula, y de ahí parten hifas ramificadas, la ramificación es con frecuencia extremadamente regular. Las hifas crecen entre las células del mesófilo y penetran en ellas mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovales, reniformes, estas expansiones son los haustorios. Generalmente hay uno o dos

haustorios en cada célula hospedante, pero a veces existen en número mayor (Rayner 1977, Subero sf).

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

Las hifas forman masas entrelazadas de micelio, en las cavidades subestomáticas y a través del poro estomatal crecen fascículos de filamentos finos, los cuales se hacen más gruesos sin romper la epidermis de la región del estoma. Los filamentos divergen y se expanden un poco al llegar afuera; estas ramificaciones formarán las uredospóras. Las teleutósporas se forman raramente. Estas han sido encontradas únicamente en plantas vivas procedentes de Ceilán y África. Su formación es igual a la de las uredospóras entre las cuales pueden estar entremezcladas, se consiguen únicamente en una etapa avanzada del ciclo, cuando la mancha ha dejado de extenderse y los uredospóras (pústulas) han adquirido su total desarrollo (Rayner 1977, Subero sf).

En las primeras investigaciones sobre la germinación de las uredospóras, se encontró que ésta ocurre entre 12 y 24 horas y en 48 horas; ya se forman los apresorios. Los síntomas aparecen a los 14 días después de la inoculación, y la esporulación comienza después de 2 a 4 días de haber aparecido los síntomas. En algunas investigaciones se ha determinado que se requiere agua para la germinación de las uredospóras, y que ésta ocurre entre 2,6 y 4,7 horas a 23 °C, con un mínimo de una hora; la formación de apresorios toma de 6,5 a 8,5 horas con un mínimo de 5,3 horas (Rayner, 1972).

También se ha determinado en otra investigación, que uredospóras colocadas en una gota de agua estéril e incubada a 24°C inician su germinación después de 3 a 4 horas, llegando a 10-15% de germinación, y alcanzando de 60 a 85% de germinación después de 6 horas. Cada uredospóras produce por lo menos un tubo germinativo, algunas veces dos y rara vez más. Después de 3 a 4 horas, los tubos germinativos pueden crecer de 20 a 140 micrones, y después de 8 horas pueden alcanzar entre 85 y 250 mm. En algunas ocasiones se ramifican en distintas direcciones. En los ápices de los tubos germinativos y al final de las ramificaciones se forman los apresorios (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).

Los primeros síntomas visibles de la enfermedad, se manifiestan 30 días después que la uredospóras han germinado en el envés de las hojas y ha penetrado a través de la hoja o por los estomas de la misma, (Rayner 1972, Subero sf).

En los estados muy tempranos se nota sólo una mancha pálida, amarillenta, en el envés de la hoja. Esta mancha es traslúcida 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 porque forman esporas (Rayner, 1972).

Cuando las manchas de la hoja infectada por el hongo envejecen, su centro muere, se torna marrón oscuro y se seca. La formación de esporas en estas áreas muertas cesa y con frecuencia las esporas presentes tienden a volverse grisáceas y pueden, en gran parte, desaparecer. Es común que antes de que el tejido foliar se torne marrón, las esporas pueden aparecer más pálidas en la masa central de la lesión, perdiendo su tinte anaranjado. El porcentaje de esporas con contenido hialino, aumenta hacia el centro de la lesión y la pérdida de color no se debe necesariamente al envejecimiento de las esporas insitu, ya que al ser removidas puede producirse una nueva generación de esporas hialinas. La pérdida del color amarillento-anaranjado típico de las esporas puede acelerarse con la presencia de un hongo blancuzco, parasítico, *Verticillium hemileia*. 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 (Rayner, 1972).

Las lesiones comúnmente pueden ser limitadas por la nervadura principal y con menos frecuencia por una vena lateral, pero a veces estas barreras apenas retardan la expansión de una lesión o tienen poco efecto. La apariencia exacta de una lesión puede variar de acuerdo con la variedad del cafeto, según la susceptibilidad. Tales variaciones pueden afectar el tamaño de las lesiones, la proporción del área que muere y el espesor de la capa de polvo formada por las esporas a veces se pueden apreciar una zonificación circular de la parte amarillo-naranja de las lesiones (Rayner, 1972).

Cuando hay áreas grandes de la hoja infectada por la enfermedad, las áreas adyacentes, no infectadas, también pueden secarse y morir, afectando con frecuencia la hoja entera. Aun cuando sólo haya unas pocas lesiones, la hoja a menudo se reduce mucho y puede caerse a temprana edad (Rayner, 1972 y Avelino, 1991).

Como consecuencia de esto y de la abscisión de hojas muy dañadas, un árbol afectado severamente puede perder gran parte de su follaje, lo que a su vez puede conducir a una muerte descendente más o menos pronunciada 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 y Avelino, 1991).

## 2.5. Clasificación taxonómica

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), pertenece a la familia Pucciniaceae. La familia es definida por las características de las teliosporas usualmente pediceladas y lateralmente libres, o si lateralmente unidas, entonces pediceladas.

La clasificación del hongo causante de la roya del cafeto es la siguiente:

División:	Eumycota
Subdivisión:	Basidiomycotina
Clase:	Basidiomycetes
Subclase:	Teliomicetidae
Orden:	Uredinales
Familia:	Pucciniaceae
Género:	<b><i>Hemileia</i></b>
Especie:	<b><i>Vastatrix</i></b> (Rayner, 1972)

## 2.6. Epidemiología de la roya

En general todas las especies de café son atacadas en mayor o menor grado por *H. vastatrix*, como también las especies silvestres. La planta de café es susceptible al ataque de la roya durante todas las etapas de su desarrollo, desde el estado cotiledonal hasta la etapa productiva en el campo (Schierber, 1975).

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 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 inóculo inicial indirectamente (Schierber, 1974).

#### 2.6.1. Condiciones epifitológicas de la roya (*Hemileia vastatrix*)

El brote de un ataque y sus diferentes niveles de incidencia y severidad de roya y el posterior progreso de la enfermedad dependen de la ocurrencia simultánea de cuatro factores, cuyas características de cada uno se detalla a continuación.

##### 2.6.1.1. El patógeno

La presencia del hongo capaz de parasitar células vegetales vivas, lo que implica uno de los requerimientos nutricionales muy especiales, que hacen que el hongo un parasito obligado, que no puede sobrevivir en suelo o en material vegetal inerte, que hasta ahora ha sido imposible cultivar en el laboratorio (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

Su ciclo inicia con la etapa de diseminación, por medio esporas de tamaño microscópico (30 micras de largo por 20 de ancho), denominadas urediniosporas, que producidas a grandes cantidades, corresponden al polvillo amarillo o naranja, que se visualiza sobre el envés de las hojas característico de la enfermedad (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

La etapa de germinación, es el proceso donde la espora una vez depositada en el envés de la hoja, emite de uno a cuatro tubos germinativos, en un periodo de 6 a 12 horas. Para esta etapa, el hongo requiere de una capa de agua, condiciones de poca o ninguna luminosidad, y temperaturas inferiores a los 28°C y superiores a los 16°C. El tubo germinativo crece hasta encontrar los estomas, que son aberturas naturales de la hoja para el intercambio gaseoso en la respiración (Rivillas Osorio, CA *et al.* 2011).

La roya del caféto (*Hemileia vastatrix*), posee un micelio que se encuentra completamente dentro del mesófilo, y consiste de hifas hialinas en abundancia, de aspecto tortuoso y frecuentemente ramificado en forma muy irregular. El diámetro de las hifas es bastante uniforme y oscila entre 5 y 6 mm. Presentan septas que están separadas a veces por intervalos grandes, especialmente en las hifas que crecen rápidamente. Algunas veces el contenido de las hifas tiene una coloración anaranjada-rojiza (Rayner, 1972).

Las hifas crecen entre las células del mesófilo y penetran en ellas mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovales, reniformes o un poco irregulares, 7 a 8 x 4,5  $\mu\text{m}$ , que contienen citoplasma denso con uno a dos gránulos refringentes. Estas expansiones constituyen los haustorios y sirven probablemente como órganos de absorción de alimentos (Rayner, 1972).

El micelio del hongo es más abundante en el parénquima esponjoso de la hoja, y en las especies y variedades más resistentes de café, queda confinado en esta parte del mesófilo. En las variedades más susceptibles, el micelio tiende a penetrar el tejido de empalizada y hasta puede enviar haustorios a las células de la epidermis superior (Rayner, 1972).

Las hifas forman una masa entretejida de micelio en las cavidades subestomáticas. De estas masas crece un fascículo de filamentos finos llamados “esterigmas”, que emergen a través de las estomas, dando lugar a las esporas. La masa de esporas es bien visible a simple vista, por presentar aspecto de un polvillo anaranjado. La forma de las uredospóras maduras varía un poco, según su posición en el haz de estas estructuras. Generalmente son angostas y triangular-redondeadas en un corte transversal. La pared más corta, que generalmente está orientada hacia afuera del grupo, es convexa a través del ancho de la espora y también, en menor grado, a lo largo. Las dos paredes laterales, que normalmente están en contacto con otras esporas del grupo son casi planas, con excepción del ápice y base de las esporas, que son redondeadas (Rayner, 1972).

El número de uredospóras producidas es muy elevado, se han contado 150.000 en una instancia en una sola lesión. Al golpear una lesión a intervalos de 2 a 3 semanas, se ha logrado liberar al aire un total de 366.100 esporas durante tres meses, desde el comienzo de la producción (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 teleutósporas o teliosporas. Estas son, al principio similares a las uredospóras jóvenes, pero se quedan más pequeñas y lisas, y toman una forma casi globosa. Las teleutósporas tienen forma bastante irregular cuando están completamente desarrolladas, pero generalmente tienden a ser esféricas, achatadas y hasta con forma de nabo, con paredes gruesas. La parte central del extremo opuesto de este tipo de esporas es un poco aplanado, de él sobresale frecuentemente una protuberancia en forma de papila redondeada. El contenido de las teleutósporas es granular y de un fuerte color anaranjado-rojizo. Está unida al soro (pústula) mediante un pedicelo

corto. Miden de 15 a 18  $\mu\text{m}$  de longitud incluyendo la protuberancia apical, y en su parte más ancha tienen un diámetro de 18 a 24  $\mu\text{m}$  (Rayner, 1972).

Las teleutósporas se producen solamente en raras ocasiones y no se conocen las circunstancias que dan origen a su formación. Estas esporas fueron observadas por primera vez en material procedente de Sumatra, en 1878, en Ceilán fue observada en 1880. Luego ha sido reportada en varios otros países. El papel de las teleutósporas, si realmente lo tienen, es desconocido (Rayner, 1977).

**La etapa de colonización.** Una vez ha penetrado el hongo desarrolla sus estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con la células vivas donde extraen sus nutrientes para su crecimiento. Estas células pierden su coloración natural y se empiezan a apreciar zonas cloróticas o amarillentas en la hoja, que corresponden a los primeros síntomas de la enfermedad. Este tiempo transcurrido hasta ese instante, se denomina *periodo de incubación* que puede variar entre 18 y 24 días, según los niveles de sombra (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

**Etapa de reproducción.** Luego de transcurridos los 30 días, después de la colonización, el hongo esta suficiente maduro como para diferenciarse en estructuras llamadas soros, encargados de producir nuevas urediniosporas a razón de 1,600 por  $\text{mm}^2$  de hoja por un periodo de 4 a 5 meses. Una vez dispersadas, pueden iniciar nuevamente el ciclo. El tiempo transcurrido desde la infección, hasta la producción de esporas, se denomina periodo de latencia. El ciclo de vida del hongo puede repetirse muchas veces dentro de un cultivo, durante el mismo periodo de cosecha, por lo que se considera como una enfermedad policíclica (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

#### 2.6.1.2. El hospedero

Especies como ***Coffea arábica***, donde existe una gran cantidad de variedades tradicionales, (Borbón y Catura), todas ellas carentes de resistencia genética y muy susceptibles a la roya del café, y asociado a un estado fisiológico de la planta, puede incrementar o reducir la susceptibilidad a la enfermedad. Así como un limitado desarrollo de raíces por el efecto de suelos arcillosos, ataque de nematodos o palomilla, o mal formaciones desde el almacigo, con estrés en el sistema radical o deficiencias nutricionales, por escasa o ninguna fertilización; y dentro de este estado fisiológico, produce una gran cantidad de frutos, de donde las exigencias a las hojas, en el proceso de llenado de frutos es mayor, bajo estas

condiciones los ataques de la roya puede ser mayor. Por esta razón, un año de mayor producción, que coincide con un ataque severo; y un año con disminución en la producción, la enfermedad se ve reducida (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

#### 2.6.1.3. Condición climática

El hongo ***Hemileia vastatrix*** necesita condiciones muy particulares para parasitar las hojas de la planta del café. En especial, requiere de la salpicadura de la lluvia para iniciar su proceso de dispersión, entre hojas y entre plantas, así como de una película de agua en el envés de las hojas para poder germinar, todo esto acompañado de una temperatura entre 16 y 28°C y condiciones de brillo solar (luminosidad), (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

En consecuencia, ambientes con precipitaciones constantes, especialmente en horas de la tarde o noche; con ocurrencia de cielos nublados que implica temperaturas muy altas después del mediodía, o de temperaturas muy bajas en horas de la madrugada, son propios para el desarrollo de epidemias fuerte de roya. Si los periodos lluviosos coinciden con las etapas de formación de frutos y de abundante follaje, entonces ocurren momentos de mayor susceptibilidad del follaje a la infección (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

#### 2.6.1.4. Manejo agronómico

El hombre juega un papel importante en la aparición y desarrollo de la enfermedad, cuando ejecuta de manera inapropiada o inoportuna actividades propias de manejo del cultivo, entre ellas resultan.

Permitir el crecimiento descontrolado de arvenses, que además de competir con el café por nutrientes pueden generar alta humedad relativa en el medio.

Fertilización escasa o nula, que afecta principalmente a los cafetos de plena exposición solar.

Sombra excesiva que mantiene rangos de temperatura máximos y mínimos muy estrechos que favorece una humedad relativa alta y constante.

Altas densidades y/o proliferación de múltiples chupones (brotes que crecen de la base o tronco del árbol).

Aplicaciones de fungicidas de manera tardía, por fuera de la epidemia, subdosificadas o sobredosificadas. Así como las actividades de cosecha, la poda pepena y repela (Rivillas Osorio, CA; *et al.* 2011).

### 2.6.2. El fenómeno climático y su relación con los sistemas cafetaleros

La Organización Internacional del Café (OIC), urgió en Guatemala a los productores a mejorar la calidad e incrementar la producción del aromático de altura, para encarar la cada vez más creciente demanda mundial, debido a que se están agotando las existencias (El Universal, 2010).

Actualmente la población mundial demanda cantidades industriales de café, de tal manera que la necesidad de mejorar la producción de las cosechas es inminente; también, en el mundo entero, los avances tecnológicos y las políticas encaminadas a mejorar, en todos los sentidos el subsector cafetalero en los países que lo producen, están dadas; únicamente existe un problema, el cambio climático, que está incidiendo sobre los cafetales, no solamente de Centro América, sino en Brasil, Colombia y otros países productores de Sudamérica, produciendo fenómenos como heladas, sequias y desequilibrios sinérgicos, con los demás elementos y organismos naturales presentes en el agroecosistema cafetalero. De tal manera que el cambio climático, está tomando su lugar en los nichos ecológicos cafetaleros y en un futuro se verá revolucionada la manera de producir café; motivo de las acciones del hombre por efectos directos o indirectos del clima (El Universal, 2010).

**Luz.** La luz es un factor importante en la germinación del hongo. Esto fue demostrado por primera vez por Berk (1889), que encontró en un portaobjeto; aunque expuesto a la luz difusa en un laboratorio, a una distancia de la ventana era completamente inhibida, la germinación del hongo Favor (1910), citado por IICA, *et al* 1975, encontró que había germinación con luz débil. El efecto observado en campo durante el día, las intensidades de luz en el envés de las hojas podrían bajar más del punto en el cual se produce la inhibición del crecimiento del hongo (IICA, 1975a).

### 2.6.3. La roya y su relación con el pico de cosecha

Por razones aún no conocidas, ocurre mayor severidad del ataque de la roya durante los años de mayor producción (Zambolim, 1992).

Para que la planta llegue a tener grandes cantidades de producción de grano, es necesario que la cantidad de compuestos y nutrientes presentes en sus hojas también sea grande. De esta manera cuando la planta tiene sus capacidades productivas al máximo, traslada con eficiencia también, todos sus nutrientes y compuestos a las yemas para producir el grano. Es

esta etapa cuando la planta posee hojas más susceptibles al daño por roya (Avelino y Muller, 1991).

La susceptibilidad de las hojas a la roya anaranjada, varía en función de la carga fructífera. Esto fue corroborado en Guatemala, donde se obtuvo una relación positiva muy significativa al nivel de probabilidad de 0.01%, entre la carga fructífera del cafeto, la cual fue evaluada en junio después de la caída fisiológica de los frutos y la infección que este sufrió. Un 50% de la variabilidad de la infección observada fue atribuida al efecto de la carga fructífera (Avelino, J; *et al.* 1999).

La susceptibilidad del cafeto pareciera incrementarse no solamente en las plantas con una carga fructífera importante si no también en una misma planta a medida que se desarrolla el fruto. Esto se traduce al momento de la recolección del café por un paralelismo marcado entre el avance de la cosecha y el avance de la epidemia. El crecimiento acelerado de la epidemia ocurre cuando la cosecha está bien establecida. Finalmente el máximo de la infección se encuentra al final de la cosecha (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.6.4. Pérdidas de producción.

Varios fueron los intentos para evaluar las pérdidas de producción provocadas por la roya anaranjada en la zona de Mesoamérica. La idea era no solamente de cuantificar las pérdidas, sino también determinar los umbrales económicos. En otros términos se trataba de evaluar, que a partir de qué nivel de infección, se tenían pérdidas de producción, que justificaban el uso del control químico. En ningún trabajo se logró alcanzar este último objetivo. Se tienen intentos frustrados tanto en México como en El Salvador, Guatemala y Honduras. A pesar de las dificultades algunos autores lograron estimar las pérdidas, aunque el grado de precisión no fuera elevado. En Guatemala Avelino y sus colaboradores (1993), en un experimento específico de pérdidas de producción, estudiaron individualmente 50 plantas, 25 de las cuales fueron protegidas con fungicida. Se encontraron pérdidas de producción de 21%, como resultado de una infección acumulada de 16%, en hojas jóvenes enfermas, comparándolas con plantas totalmente sanas. En este trabajo también se determinó como se origina la pérdida. La enfermedad que ataca sobre todo a las plantas productivas, aumentó notablemente la caída de las hojas. La defoliación de las bandolas enfermas, redujo el crecimiento de estas. Por ende, el número de frutos llevados al año siguiente también disminuyó. Esto evidencio que la roya anaranjada, acentúa el ritmo bienal de la producción. Los daños evaluados en estos trabajos, justifican el uso del control

químico, el cual es rentable aun empleando productos onerosos como los sistémicos (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.6.5. Cantidad de follaje y su relación con la incidencia de la roya

En experimentos realizados, se ha observado que en una atmósfera calmada, cada fascículo de uredospóras que brotaba por un estoma, formaba cadenas de uredospóras colgando hacia abajo, las que se caían con el menor movimiento de la hoja y llevadas por el viento (Rayner, 1972).

También 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 del haz, eran lavadas por el agua alrededor de los bordes y depositadas en la superficie inferior; donde germinaban y producían infecciones. Finalmente se insinuó que una manera como las esporas podrían llegar al envés de las hojas, era mediante vientos violentos que las llevaban hacia arriba, siendo las hojas, entonces salpicadas con gotas de lluvia que contenían esporas (Rayner, 1972).

Se ha estimado que la tasa de caída de las esporas de roya en el aire, es de 20cm/seg, para grupos de esporas y para esporas individuales de 10 cm/seg, y que estas esporas liberadas, no se desplazan muy lejos, sino que tienden a precipitarse en las inmediaciones de su punto de origen. Sin embargo, en investigaciones llevadas a cabo en Brasil, se concluyó que las esporas de *H. vastatrix*, se encuentran en el aire a razonable altitud y son transportadas a grandes distancias por las corrientes aéreas. Estos resultados fueron confirmados en Kenia, donde también se encontró que durante y después de las lluvias, la cantidad de esporas que permanecen en el aire es casi nula, y que las esporas son arrastradas del aire hacia el suelo, por las gotas de agua o como núcleo de condensación de agua (Rayner, 1972 y Subero, sf).

Un factor importante a considerar en los índices de infección, es la densidad foliar de los cafetos. Los índices de infección más elevados, se dan en cafetos con mayor densidad foliar en comparación con aquellos en que esta es menor (ISIC, sf y MAG, sf).

#### 2.6.6. La roya del cafeto: la enfermedad de mayor incidencia en los bosques cafetaleros

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), está considerada como la enfermedad más importante del cultivo del cafeto, y una de las de mayor importancia en el mundo,

encontrándose entre los siete elementos nocivos de mayor importancia económica y en cuarentena en la producción agrícola mundial (Rayner, 1972).

Esta enfermedad también ataca al follaje de la planta de cafeto donde produce manchas y una fuerte defoliación de la planta, la etapa de mayor incidencia es al punto de la cosecha. Por lo cual cualquier muestreo debe realizarse en esta época, asegurando así ver la máxima expresión del daño y de la capacidad de la enfermedad en cualquier cafetal donde se encuentre (Rayner, 1972).

Un estudio que se realizó para analizar la influencia de los principales factores climáticos en el comportamiento de la roya se puede apreciar en el caso de distintas zonas a partir de febrero, en donde el índice de infestación disminuye por debajo de 10, coincidiendo esto con un aumento de las temperaturas (Rayner, 1972 y Avelino, 1991).

Las epidemias de roya, están sujetas a variables medio ambientales, tales como: la temperatura, el viento, la precipitación de agua; la radiación solar los tiempos de sequía y tiempos de lluvia, e incluso a circunstancias indirectas de cambios en las variables ambientales, como el apareamiento de otras enfermedades, insectos y microorganismos en un área específica y que podrían ejercer influencia en las epidemias de roya, ya sea positiva o negativamente para la agricultura. Los efectos del clima en el comportamiento de la vida en general, ejercen mayor grado de influencia. En el nacimiento, crecimiento y reproducción de los seres vivos se dan una serie de requerimientos específicos en cuanto al ambiente, los cuales si no se cumplen la vida no se presenta, se extingue o en otros casos sufre procesos en los cuales se acomoda al medio ambiente y a los cambios de éste por medio de un fenómeno denominado "adaptación ambiental". Este caso no es ajeno a la roya del café, hongo fitopatógeno, cuyos requerimientos climáticos varían según la cepa de roya que se esté tratando (Rayner, 1972).

#### 2.6.7. La curva de progreso de la enfermedad.

En México también se estudió precisamente el desarrollo de la enfermedad, a escala de la planta. La epidemia comenzó a partir de las hojas viejas, localizadas en el interior debajo del cafeto, y poco a poco alcanzó las hojas jóvenes de las bandolas, en las partes más externas y altas de la planta. Como en los demás países de influencia tropical, donde existe una época de lluvias, se describen cuatro fases anuales en el desarrollo de la epidemia: la primera fase de crecimiento lento, generalmente observada entre mayo y agosto, seguida de

la segunda fase de crecimiento acelerado entre agosto y diciembre, hasta llegar al máximo de infección (tercera fase) y finalmente el descenso. Las diferentes investigaciones que se llevaron a cabo, mostraron que tanto el desarrollo, como la amplitud de la curva de progreso de la enfermedad estaban relacionados con cinco factores principales: la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha y el inoculo residual (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.6.7.1. La lluvia.

La importancia de la distribución e intensidad de las lluvias, donde existe una regresión lineal entre la intensidad pluviométrica y la dispersión de la uredospóras. Generalmente, lluvias con intensidades arriba de 7mm provocarían condiciones de dispersión de esporas. Estudios realizados en Brasil, con una latitud aproximada de 21° y una altura de 621m, entre los meses de octubre a marzo, se reunían las condiciones de temperatura y precipitación más favorables, para que el hongo se desarrollara, encontrándose índices medios de incubación que oscilan entre 27 y 28 días (MAG e ISIC, *sf* y Avelino, J; *et al.* 1999).

La duración y frecuencia de las lluvias, proporcionan humedad a las hojas, dando consecuentemente condiciones favorables para que ocurran nuevas infecciones. La intensidad de las lluvias, también es un factor importante en el proceso de liberación y dispersión de las esporas. Lluvias intensas y continuas elevan los niveles de infección, y por otra parte, ayudan a lavar las esporas hacia el suelo. Periodos lluviosos cortos, que favorecen la liberación, dispersión e infección inicial, seguidos de periodos secos, son muy favorables, permitiendo un ascenso de la curva epidemiológica. El rocío, es otro factor que contribuye a la rápida germinación de las esporas del hongo (MAG e ISIC, *sf*).

El agua líquida, actúa a nivel de la germinación en la primera fase, generalmente observada entre Mayo y Agosto, seguida de una fase de crecimiento acelerado entre agosto y diciembre (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.6.7.2. Temperatura.

La exposición previa, bajo condiciones húmedas, a temperaturas alrededor o ligeramente bajo el mínimo para la germinación (15-17.5°C), aumento la tasa de germinación, al transferir las esporas a una tasa más alta de temperatura, más allá del valor de la tasa observada, cuando se comenzó la exposición, en condiciones húmedas a esa temperatura más alta. Por

ejemplo una exposición con humedad a 22°C, mostro un 10% de germinación después de 9 horas y un crecimiento de 1.30% cada hora acumulada (Rayner 1977).

De acuerdo al ciclo biológico del hongo y los factores climáticos que favorecen su desarrollo, la curva epidemiológica sigue el ritmo de las temperaturas y las lluvias, de tal manera, que se distinguen tres fases: un inicio lento de la enfermedad, luego una rápida evolución hasta llegar al máximo desarrollo y finalmente un rápido descenso debido a la caída de las hojas (MAG e ISIC, sf).

En conclusión, el estímulo de germinación, está relacionado con el tiempo y los niveles de temperatura de exposición. El nivel de germinación y reproducción de esporas de hongos es mayor, a medida que se aumenta los grados de temperatura, y el tiempo de exposición, lo que demuestra que, principalmente la temperatura, a una humedad relativa similar, influye sobre el crecimiento del hongo (Avelino y Muller, 1991).

#### 2.6.7.3. Carga fructífera.

La susceptibilidad de las hojas a la roya anaranjada, varía en función de su carga fructífera. Esto fue corroborado en Guatemala, donde se obtuvo una relación positiva muy significativa, al nivel de probabilidad del 0.01%, entre la carga fructífera del cafeto, la cual fue evaluada la infección posterior que este sufrió en junio, después de la caída fisiológica de los frutos; Avelino (1993). Un 50% de la variabilidad de la infección observada, fue atribuida al efecto de la carga fructífera. Lo anterior permite explicar las observaciones hechas, tanto en México Holguín (1987), como en El Salvador, Moreno de Alas (1990) y Guatemala, Avelino (1993), donde se indicó que la epidemia de la roya anaranjada, tenía un comportamiento bienal paralelo al ritmo bienal de la producción. El paralelismo observado entre infección y producción, en ocasiones puede conducir a subestimar el efecto de la enfermedad, pues después de un año de mucha cosecha, siempre se espera un año de baja producción, con o sin roya anaranjada. Sin embargo, que la enfermedad si causa pérdidas, y el control es necesario, aunque estas no sean tan útiles en fases menos productivas del cafeto, especialmente en caso de plantas recién recepadas (Avelino, J; *et al.* 1999).

Se ha observado que las plantas con mayor producción son más sensibles al ataque del hongo. Este fenómeno también se ha notado en cafetos con nutrición deficiente. Lo anterior indica que en años de alta producción y condiciones climáticas favorables al desarrollo del

hongo, es necesario proporcionar a los cafetos un mayor cuidado en lo que respecta a nutrición y control de la enfermedad (MAG e ISIC, sf).

#### 2.6.7.4. Periodo de cosecha.

La susceptibilidad del cafeto, pareciera incrementarse, no solamente en plantas con una carga fructífera importante, sino también en una misma planta, a medida que se desarrolla el fruto. Esto se traduce al momento de la recolección del fruto, por un paralelismo marcado entre el avance de la cosecha y el avance de la epidemia. El principio de la epidemia coincide con el inicio de la cosecha. Este paralelismo podría ser el resultado, del gran movimiento de personas en los cafetales, durante la época de recolección, lo que favorece la diseminación de las uredosporas. También podría deberse, a que el desarrollo del fruto, responde simplemente a los mismos estímulos exteriores (clima), que al de la epidemia de la roya anaranjada (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.6.7.5. El inóculo residual.

Son pocos los experimentos que se llevan a cabo, con el fin específico de estimar el efecto del inóculo residual, sobre el desarrollo posterior de la epidemia. Sin embargo fue evidenciado en México por Avelino (1991), comprobando que toda la infección presente a principio del año, se ubica en las hojas viejas del cafeto, hojas formadas en la época de lluvia del año, anterior al estudio, mientras que las hojas nuevas estaban completamente sanas (Rivillas Osorio, CA: *et al.* 2011).

La cantidad del ataque posterior a las lluvias, depende en alto grado, a la cantidad del inóculo existente al inicio de ellas. Si este es bajo, tiende a elevarse gradualmente, pero si el potencial del inóculo es alto, el índice máximo de infección es alcanzado rápidamente (MAG e ISIC, sf).

### 2.7. La roya anaranjada del cafeto en América Central.

Más de veinte años después que se detectara por primera vez la roya anaranjada del cafeto en Nicaragua y después de muchos temores, campañas de sensibilización, erradicación y control, gastos necesarios e innecesarios, múltiples investigaciones, la roya anaranjada ha dejado de ser un tema movilizador, y podría pensarse que el tema está resuelto. Conociendo tanto sobre la enfermedad y habiendo métodos de control comprobados, ¿Cómo explicar entonces las epidemias graves que han ocurrido en la región, en los últimos años (las más

sonadas: Costa Rica, 1989-90, Nicaragua 1995-96, Honduras 1995-96)? ¿exceso de confianza y / o falta de conocimiento de los productores, descuido de las fincas por limitaciones económicas, falta de adopción de recomendaciones de control demasiado homogéneas, escasa renovación de materiales susceptibles por variedades resistentes, falta de investigaciones en este campo, o incluso cambios climáticos? Parte o totalidad de estas razones son de considerar. Más de veinte años después, la roya anaranjada ya no es un mito, es una realidad, bien establecida en el paisaje centroamericano, que amerita una atención permanente del sector cafetalero (Avelino, J; *et al.* 1999).

#### 2.8. Situación actual de la roya en El Salvador.

La roya del café no es un mito, es un problema real en nuestra región y en especial en nuestro país; situación que más allá de los discusiones que se puedan hacer del tema, el problema parece ser más grave, de lo que se puede aseverar; la roya del café está afectando con mayor grado o agresividad todos las categorías climáticas existentes en este sector productivo salvadoreño. La roya no se presentaba en Estricta Altura, ahora se reporta su presencia y afectación en esta categoría, aunque el daño no haya sido alto o bajo lo importante, es que el ataque del hongo tenga alguna repercusión, en la caficultura de El Salvador, ya que este sector tiene importancia económica, social y ambiental<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Hernández, A. 2012. Situación actual de la roya del café. Santa Tecla, SV. (Comunicación personal). Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron tres métodos de investigación, para la realización de este trabajo, los cuales son:

#### 3.1. Método de campo.

Se utilizó la metodología propuesta por Avelino (1991). Se seleccionaron tres fincas, una en cada estrato altitudinal. En cada finca se delimitó al centro de la parcela, tres surcos de cuatro cafetos cada uno, para un total de 12 (Figura A-1). Los cafetos se numeraron del uno al doce y se muestrearon una vez por mes durante 12 meses. Las cuales se georreferenciaron, con sistema de posicionamiento global (GPS), para tener su ubicación exacta.

##### 3.1.1. Forma de muestreo de Roya

Cada uno de los doce cafetos se estratificó en: tres niveles altitudinales: parte alta, media y baja (Figura A-2). En cada estrato se tomaron, cuatro bandolas (Figura A-3), y en cada una se hizo un conteo cada 30 días de: a) hojas viejas, b) hojas nuevas (Figura A-4), c) cantidad de hojas enfermas por árbol (incidencia) por roya, d) número de pústulas de roya por árbol (severidad), en el caso del conteo de hojas nuevas, se tomaron en cuenta las que surgieron hasta el mes de noviembre ya que las siguientes corresponden al siguiente ciclo de producción. Las visitas para toma de datos, se realizaron mensualmente en cada una de las fincas en las fechas comprendidas, entre los días 10 y 15 de cada mes, a excepción del mes de octubre; ya que en ese mes, fue la tormenta 12E, que afectó el territorio nacional, del 10 al 22 de octubre de 2011 y por medidas de seguridad no se salió en la fecha programada, sino que hasta el día 24 y 25 del mismo mes.

Además se hizo un conteo de frutos, y nudos fructíferos en el mes junio para medir inicialmente la producción de frutos y en el mes de noviembre (Cuadro A-10), se verificó, de esta manera, cuantos frutos, se llegó a la cosecha.

### 3.1.2. Características de las fincas

#### a) Finca Normandía (Bajío)

Está ubicada en Cantón Santa Rosa, jurisdicción del municipio de San Juan Opico, departamento de La Libertad, a una altura de 538 msnm y coordenadas 240956 y 1533552 UTM (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, en metros). Los promedios anuales de temperatura de 24°C, humedad relativa de 76% y precipitación de 1688 mm. La parcela seleccionada, era de topografía semiplana, con un suelo de textura franco arenoso, de color pardo café, con buena cobertura de materia orgánica. Los niveles de sombra del cafetal fueron de un 50%, los arboles de sombra predominantes eran del genero **Inga** y leguminosas papilionáceas. La variedad sembrada, de café es Pacas en un 100%, y la edad de la plantación, aproximadamente 30 años. El manejo de la finca, se enfocaba principalmente, al control de malezas dos veces al año, raleo de sombra y fertilización química foliar.

#### b) Finca San Antonio (Media Altura)

Está ubicada en Las Aradas, jurisdicción del municipio y departamento de Santa Ana, a una altura de 831 msnm y coordenadas 0225922 Y 1541502 UTM (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, en metros). Con promedios anuales de temperatura de 22°C, humedad relativa de 71% y precipitación de 1780mm. La topografía es semiplana; el suelo es de textura franco limoso, de color café oscuro, con moderado contenido de materia orgánica. Los niveles de sombra de fueron del 60%, y las especies de árboles de sombra son de los géneros **Manguífera, Inga y Cedrela**. La variedad de café era Pacas en un 100%, la edad promedio de la plantación es de 20 años. El manejo de la finca, se orienta principalmente al control de malezas dos veces al año; manejo de los niveles de sombra, fertilización química foliar, control de la broca del café y aplicación de cal dolomita, después de la cosecha del grano.

#### c) Finca El Olvido (Estricta Altura).

Está ubicada en el cantón El Boquerón, jurisdicción del municipio de Santa Tecla, del departamento de La Libertad; a una altura de 1554 msnm y coordenadas 0254968 y 1520396 UTM (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, en metros). Con promedios anuales de temperatura de 20°C, humedad relativa del 79% y precipitación de 1860mm. La topografía es moderadamente inclinada a muy inclinada; el suelo es de

textura franco arenosa, de color café a negro, con moderado contenido de materia orgánica. Los niveles de sombra fue de 25%, las especies de árboles de sombra son del género, *Inga*. La variedad de café es Bourbon en un 100%, la edad promedio de los árboles de café promedia los 35 años de siembra del cafetal. El manejo de la finca se encamina principalmente al control de malezas dos veces al año, fertilizaciones al suelo y foliar, aplicación de cal dolomita después de la cosecha del grano y poda de árboles de café de forma rotativa cada dos o tres años.

Los datos climatológicos obtenidos (temperatura y humedad relativa) del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET, 2012), fueron los promedios mensuales y la precipitación fue el total registrada en cada finca, cada uno se relacionó con cada variable de la enfermedad (incidencia y severidad).

### 3.2. Método estadístico:

Se utilizó el método de estadística descriptiva y el modelo de análisis de regresión lineal simple, se relacionó la influencia de los factores climáticos; precipitación, humedad relativa y temperatura, con los niveles de incidencia y severidad, relativos de las hojas enfermas y pústulas por árbol, obtenidos de cada finca. Además se determinó la relación entre, incidencia, severidad y caída de frutos.

Los datos mensuales obtenidos, tanto por los muestreos, como los datos de precipitación, temperatura y humedad relativa respectivamente; se promediaron en una matriz de 12 datos, luego se procesaron y analizaron por medio del modelo de regresión lineal simple ( $y = a \pm bx$ ) en donde se evaluó cada caso, los niveles de incidencia y severidad, versus las variables meteorológicas de; temperatura, humedad relativa y precipitación respectivamente; relacionándolas con 60-90 días posteriores a los niveles de incidencia y severidad encontrados, donde la infección inicial y posterior geminación producida por efecto de cada factor, en ese preciso momento se expresa como pústula definitiva 60-90 días, posteriores a la infección inicial de la enfermedad. Los parámetros epifitológicos como tasa de infección aparente ( $r$ ) y la curva de progreso de la enfermedad ( $cpe$ ), se trabajaron por medio de un modelo logarítmico de desarrollo de enfermedad (modelo logístico:  $y = \ln [x / (1-x)]$ ) y por el modelo de área bajo la curva de progreso de la enfermedad ( $abcpe = \sum (y_i + y_{i+1}) / 2 (t_{i+1} - t_i)$ ), lo que permitió, conocer las unidades de enfermedad alcanzadas por el cultivo, durante el tiempo de estudio. Esto permitió conocer las fases de desarrollo de la enfermedad, en cada

finca y poder generar estrategias de manejo, de acuerdo a las curvas de desarrollo y las variables climáticas. Además del conteo de frutos se hizo un análisis estadístico descriptivo paramétrico y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), donde se precisó la caída o pérdida de frutos de café.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1. Finca Normandía (Bajío)

Los resultados de incidencia y severidad se presentan en los cuadros 1 y 2.

El cuadro 1, muestra los niveles de incidencia en hojas viejas y nuevas; determinándose que, en el mes de mayo de 2011, la presencia de roya en hojas viejas estaba con un promedio, de 2.20 hojas enfermas, decreciendo en los meses subsiguientes, hasta que desapareció, prácticamente en septiembre del mismo año, como resultado de la caída de las hojas. Con esto se demuestra, que el inóculo inicial de la enfermedad se encuentra en las hojas viejas; de las cuales se dispersa el inóculo, infestando e infectando las hojas nuevas. Estos resultados coinciden con lo que describen, Avelino (1991) y Rivillas Osorio, *et al* (2011), que mencionan que el inóculo inicial, se encuentra en las hojas viejas del año anterior, las cuales infestan e infectan a las nuevas.

En el caso de las hojas nuevas, se encontró en el mes de mayo de 2011, un promedio de 3.00 hojas enfermas y se mantuvo en un nivel bajo, hasta el mes de septiembre del mismo año; pero comenzó a crecer en octubre del mismo año y alcanzo un máximo de 140.20 hojas enfermas, para el mes de enero del año 2012 y a partir de ahí, comenzó a descender. Datos similares a lo que describen, MAG e ISIC (sf), aunque con un desfase de un mes. Avelino, *et al* (1999), describen este fenómeno, donde explican que la fase de desarrollo lento, se presenta de mayo a julio, en seguida la de fase de crecimiento acelerado, hasta el mes de noviembre y la cúspide, en el mes de diciembre del mismo año, y posteriormente, la fase de descenso. En cuanto a la ubicación de las bandolas en el árbol, el comportamiento de la incidencia, fue similar en los niveles; baja, media y alta de los cafetos, contrario a lo que afirmaban estos autores, anteriormente mencionados, que la incidencia y severidad de la enfermedad, se presentaba en mayor proporción, de la parte baja hacia la superior.

Cuadro 1. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas en los meses de mayo de 2011 hasta abril de 2012 en finca de bajío.

Ubicación de bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de hojas enfermas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	1.0	0.2	0.3	0	0	0	1.3	0.2	0.3	0	0.3	1.2	3.6	10.7	41.5	18.3	16.6	9.4
Media	0.6	0.3	0.6	0.6	0	0	0.9	0.4	0.7	0.7	0.4	1.5	4.3	15.4	53.3	26.5	21.4	12.4
Baja	0.6	0.9	0.7	0	0.1	0	0.8	1	0.8	0	0.3	0.9	5.1	14.7	45.4	22.4	20.3	16.1
<b>TOTAL</b>	<b>2.2</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0</b>	<b>3.0</b>	<b>1.6</b>	<b>1.8</b>	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>3.6</b>	<b>13.0</b>	<b>40.8</b>	<b>140.2</b>	<b>67.2</b>	<b>58.3</b>	<b>37.9</b>

El cuadro 2, relacionado con la severidad en las hojas viejas y nuevas, muestra un promedio de 2.90 pústulas en hojas viejas por árbol, y descendiendo paulatinamente hasta desaparecer en el mes de octubre; como producto de la caída de las hojas. Es de mencionar que en este tiempo, es suficiente para que se infesten e infecten las hojas nuevas de los árboles.

En el caso de las hojas nuevas, se encontró en el mes de mayo de 2011 un promedio de 3.5 pústulas por árbol y se mantuvo bajo hasta el mes de septiembre del mismo año, sin embargo a partir de octubre y noviembre mostró, un crecimiento acelerado, encontrándose un promedio de 38 pústulas en noviembre, alcanzando un máximo de 846 pústulas en enero del 2012, y comenzó a descender hasta que terminó con 122.4 en abril; situación que concuerda con los resultados de Avelino *et al* (1999). Además se muestra un alto valor de inoculo residual, para el siguiente ciclo de producción; evidenciado que la epifítia puede tener mayor repercusión. En relación al comportamiento de la severidad, en la ubicación de las bandolas en el árbol, fue similar en las tres estratos del árbol, contrario a que se decía que se presentaba en proporciones significativamente mayores de las secciones bajas y que disminuía gradualmente en las partes más altas del árbol, según Avelino y Muller (1991).

Cuadro 2. Nivel de la severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de Bajío.

Ubicación de bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de pústulas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Hago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	1.3	0.2	0.3	0	0	0	1.5	0.2	0.3	0	0.4	5.3	10.6	51.5	262	120	53.8	24.9
Media	0.8	0.3	0.7	0.7	0	0	1.1	0.4	0.7	1.5	0.6	5	14.3	47.8	310	177.7	67.8	51.2
Baja	0.8	1.1	0.8	0	0.1	0	0.9	1.1	0.8	0	0.4	1.2	13.1	42.8	274	121.8	63.6	46.3
<b>TOTAL</b>	<b>2.9</b>	<b>1.6</b>	<b>1.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.1</b>	<b>0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>11.5</b>	<b>38.0</b>	<b>142.1</b>	<b>846</b>	<b>419.5</b>	<b>185.2</b>	<b>122.4</b>

A continuación se describe cada uno de los análisis de regresión lineal simple en cada finca, según nivel altitudinal de cada finca; relacionando, los niveles de incidencia y severidad, con los factores climáticos de: precipitación, humedad relativa y temperatura. Determinándose si existe regresión, y si el factor influye directamente o no, con los niveles de la enfermedad; según la variación de cada factor y coeficiente de determinación, para medir el porcentaje de influencia, en la evolución de la incidencia y severidad de la enfermedad en el periodo comprendido de mayo de 2011 hasta abril de 2012, en bajo, media y estricta altura.

#### 4.1.1. Relación incidencia, severidad con la precipitación.

Los resultados de la variable precipitación y sus niveles, no presentaron diferencias estadísticas significativas, en los niveles de incidencia de roya, mientras que en la severidad de la enfermedad mostró mayor valor; lo que evidenció que la precipitación influye en mayor medida, en la dispersión de esporas; lo que genera nuevas pústulas, derivadas de las ya existentes. Este resultado coincide con Avelino *et al* (1999), quien describe, que la lluvia incide en la dispersión de esporas; fenómeno que aumenta el número de pústulas en una misma unidad foliar y hojas adyacentes.

Por otra parte, el análisis de correlación, mostró que la precipitación influyo en 28% en la incidencia y en 34% en la severidad de la enfermedad; lo que demuestra que la precipitación influyo considerablemente, en la epifitiología de la roya del cafeto; sin embargo es de recalcar, que existen otros factores, que en interactuaron con el factor lluvia, en el desarrollo de la enfermedad; situación similar a lo que afirma Rayner (1972), que al menos un factor ambiental influye en el desarrollo de la enfermedad. Es de hacer notar que la proporción restante, puede ser atribuida también a la interacción, con la humedad relativa, temperatura y otros factores como el manejo y hospedero.

La figura 1, muestra la curva de progreso de la incidencia y severidad de la enfermedad, y su relación con la precipitación, donde se observa el crecimiento proporcional en ambas variables, inmediatamente al disminuir los niveles de precipitación. Seguramente al finalizar las lluvias, queda una humedad relativa alta, permitiendo que las esporas, que durante las lluvias se dispersaron; estas a la vez germinaron y tuvieron un crecimiento lento estas invadiendo los tejidos internos de las hojas, situación que al dejar de llover genero las condiciones optimas para el apareamiento de las pústulas. En relación a lo descrito, MAG e ISIC (sf) mencionan, que las lluvias intensas y continuas elevan los niveles de infección, y por otra parte, ayudan a lavar las esporas hacia el suelo, sin embargo estos mismos autores afirman que periodos lluviosos cortos, seguidos de periodos secos son muy favorables al ascenso de la curva epidemiológica; además el rocío es otro factor que favorece la germinación de esporas.

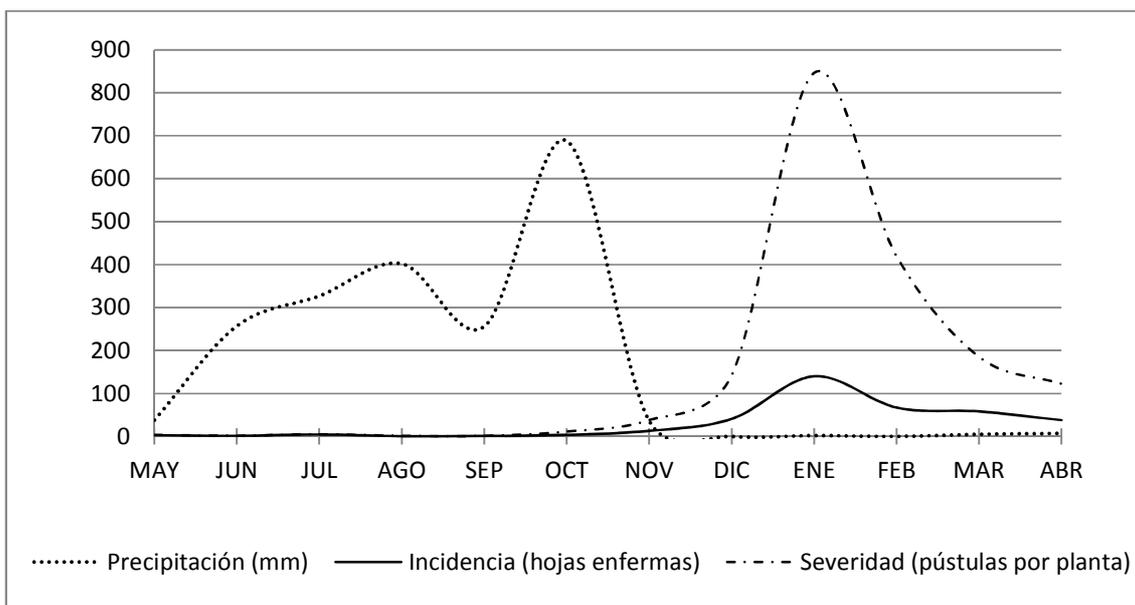


Figura 1. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la precipitación en la finca Normandía (bajío)

#### 4.1.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa.

La relación de la humedad relativa y comportamiento epifitológico de la roya del cafeto, en las curvas de incidencia y severidad (Cuadro A-1), en el periodo de mayo de 2011 hasta abril de 2012, no presento diferencias estadísticas significativas en la incidencia y la severidad; sin embargo en el análisis de regresión, se encontró, que la humedad relativa influyó en un 24% ( $r^2= 0.24$ ), en la incidencia y en un 23% ( $r^2= 0.23$ ), en la severidad de la enfermedad. Además como se muestra en la Figura 2 y Cuadro A-1, en el periodo de julio a octubre del año 2011, se presentaron cifras 87 a 88% de humedad relativa, cifra que favorece la germinación de esporas. Este resultado es similar a lo que describe Moreno de Alas *et al*, citado por ISIC Y MAG (sf), que expresan que, las esporas germinan dentro de un rango de 83 a 89% de humedad relativa, las cuales en esta finca estuvieron dentro de este rango, por lo que se demuestra con los resultados, que ésta tuvo su efecto.

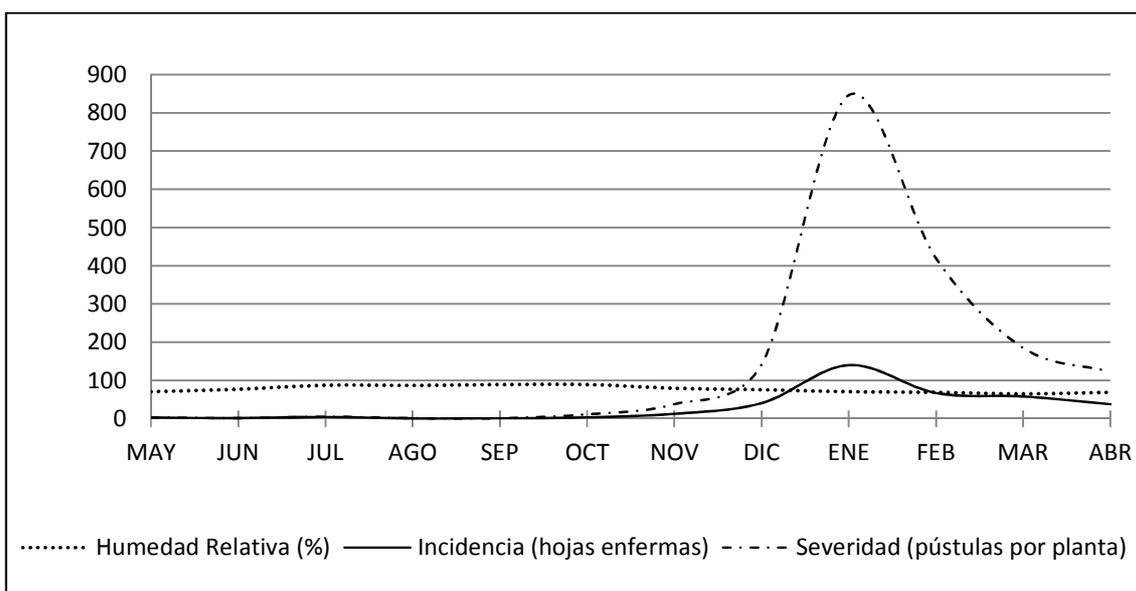


Figura. 2. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la humedad relativa en la finca Normandía (bajío).

#### 4.1.3. Relación incidencia y severidad con la temperatura.

Los resultados de relación y comportamiento epifitiológico de la roya del cafeto, en la incidencia y severidad, con respecto a la temperatura registrada (Cuadro A-1), en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012, reflejan que la temperatura, estadísticamente influyo significativamente en la incidencia de la enfermedad, no así en la severidad; sin embargo en el análisis de regresión muestra que la temperatura, influyo en un 42% ( $r^2 = 0.42$ ), en la incidencia y en un 29% ( $r^2=0.29$ ), en la severidad; lo que demuestra que la temperatura, además de otros factores, influye proporcionalmente en desarrollo de la enfermedad. Además durante la fase de crecimiento lento de la enfermedad, la temperatura rondó los 25°C (figura 3), cifra que favoreció la germinación de esporas del hongo.

De acuerdo a lo documentado, investigado por Avelino y Muller (1999), las esporas germinan dentro de un rango de 16 a 28°C de temperatura, durante las horas del día, siempre y cuando exista penumbra y humedad adecuada. Además en una hoja mojada, la germinación puede comenzar solo en una hora, según lo describe Subero (sf), el cual es un periodo corto, que pudo presentarse durante los días del periodo comprendido de mayo a octubre del año 2011, donde ocurrieron las temperaturas optimas, coincidiendo niveles de sombra y estación del año adecuada, además de la susceptibilidad del hospedero, produciendo infestación e infectación de los cafetos, lo que permitió que la enfermedad se desarrollara.

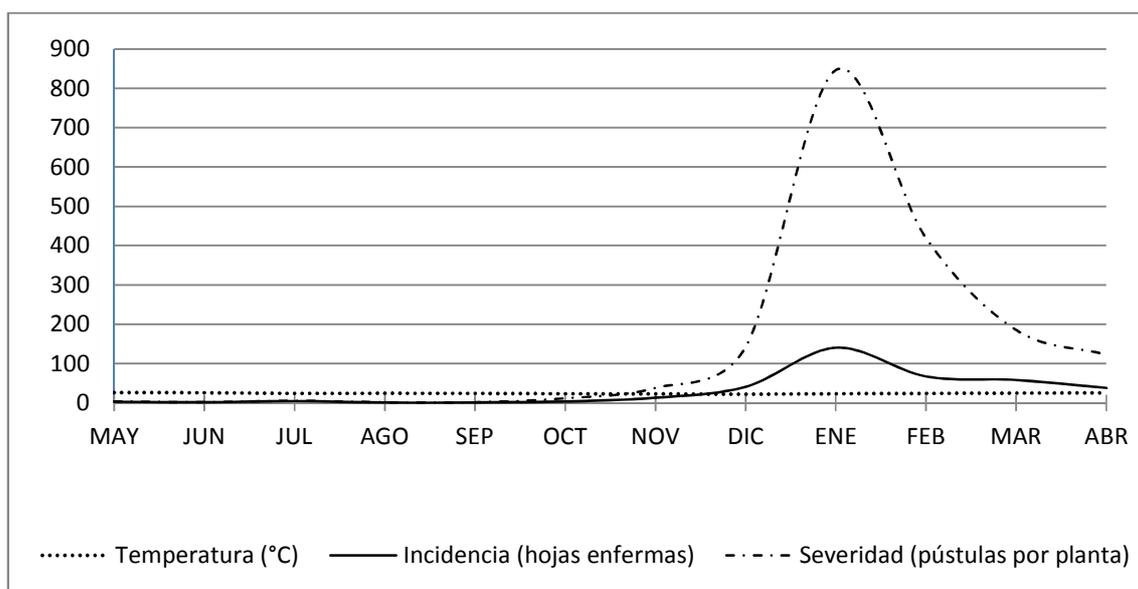


Figura. 3. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la temperatura en la finca Normandía (bajío).

#### 4.1.4. Relación incidencia y severidad con la defoliación.

El estudio de la relación y comportamiento epifitológico de la roya del cafeto relativo a la incidencia y severidad, con respecto a la defoliación (disminución en el número de hojas), en el periodo de mayo de 2011 hasta abril de 2012, se demuestra en los resultados encontrados, que reflejan, que los niveles de incidencia y severidad, disminuyen significativamente el número de hojas presentes en los cafetos, a partir del mes de diciembre (Cuadro A-1); lo que demuestra, que la roya produce defoliación en los arboles de café, producto de la muerte generalizada de los tejidos de las hojas. Además la prueba de regresión indica, que la incidencia de roya, influyó en un 68% ( $r^2=0.68$ ) en la defoliación registrada; mientras que la severidad, impacto en un 62% ( $r^2=0.62$ ), en la defoliación. También se observó, que, cuando los niveles de severidad son altos, en las hojas se forman, áreas infectadas grandes, como producto de la unión de varias pústulas de roya, y las áreas adyacentes no afectadas, también tienden a secarse o morir, afectando con frecuencia la hoja entera, lo que produce la abscisión en su misma proporción; resultados coinciden con los encontrados Rayner (1972), Avelino y Muller (1991).

La figura 4, muestra como disminuye el número de hojas cuando los niveles de incidencia y severidad muestran su crecimiento acelerado.

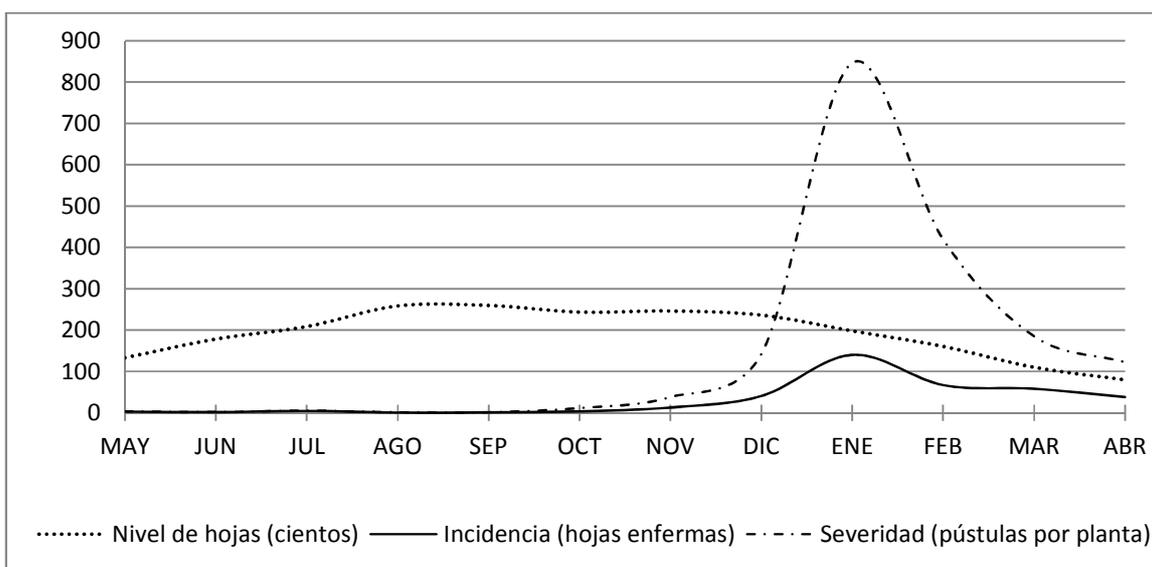


Figura 4. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la defoliación en la finca Normandía (bajío).

#### 4.1.5. Relación incidencia con la severidad.

En este análisis se demuestra estadísticamente, que la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), dependió significativamente de la incidencia de la misma, como se demuestra en el análisis de la precipitación, que ésta, influye en mayor medida en la severidad ( $r^2= 0.34$ ), provocada por la dispersión por salpicadura producida por la lluvia.

En términos numéricos, se muestra que la severidad, dependió en un 95% ( $r^2=0.95$ ) de la incidencia, ya que esta última, es fuente de inóculo que infesta e infecta áreas y hojas adyacentes; estos resultados son similares a los descritos por Avelino (1991) y Rivillas Osorio, *et al* (2011).

#### 4.1.6. Tasa de infección aparente (r)

La velocidad de infección promedio (Cuadro A-3), tuvo un crecimiento proporcional al inóculo inicial en la incidencia ( $r= 4.63$ ), y severidad ( $r=4.68$ ), de la epidemia de la roya del café. En la severidad, es levemente superior la tasa de infección de la enfermedad, debido a los factores que favorecen más a la severidad dado; el caso que ésta última depende de la incidencia, y ésta procede como fuente de inóculo inicial, para que la lluvia disperse las esporas, y estas unidades infestivas e infectivas, aumentan el número de pústulas por unidad foliar; además también favorecida por la temperatura, en esta categoría de finca.

Lo antes descrito concuerda, que tuvo concordancia con lo que describen Avelino (1991), y Rivillas Osorio, *et al* (2011).

En la figura 5, se muestra el comportamiento de la enfermedad: crecimiento lento y acelerado, la cúspide y el descenso de la incidencia y severidad, en las hojas infectadas, lo cual reveló que ambos parámetros coinciden proporcionalmente en las épocas de crecimiento, no así en la intensidad, para cada parámetro epifitiológico (Cuadro A-2). Por lo tanto la enfermedad mostró, la etapa lenta de mayo a octubre de 2011, mientras que la fase de desarrollo acelerado entre los meses de noviembre y diciembre del mismo año y la cúspide, se produjo en enero de 2012 y la fase de descenso posteriormente. Por otra parte, como se observa en la figura 5, el Área Bajo la Curva de Progreso de la Severidad (ABCPS), es muy superior a la de la incidencia (Cuadro A-2). La lluvia principalmente favorece más a la severidad, aun cuando, naturalmente existen otros factores como, el viento y el manejo agronómico que influyen en cierta medida también.

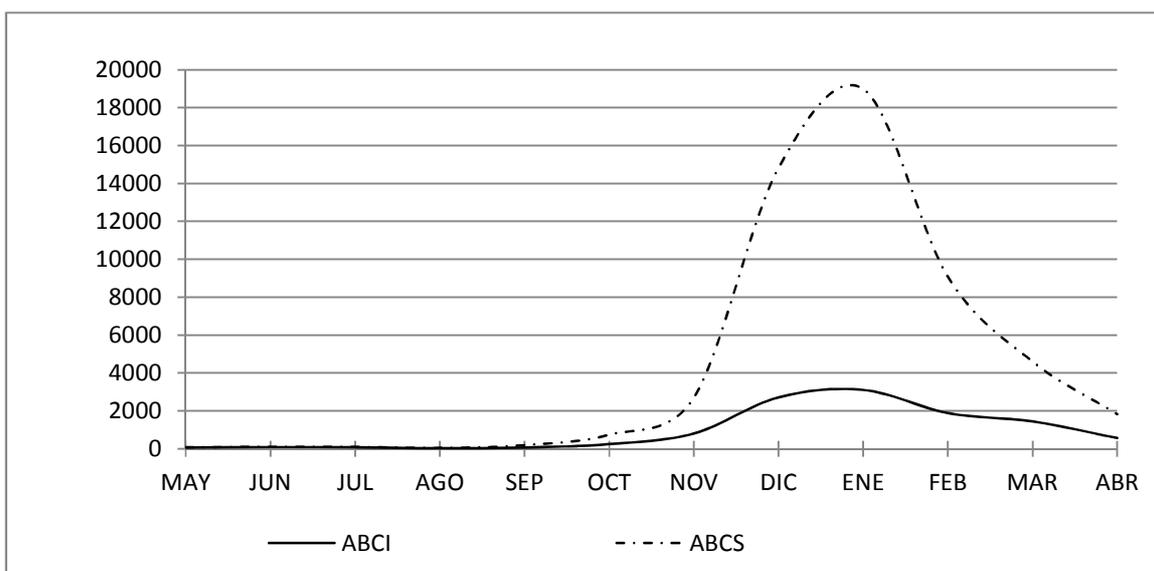


Figura 5. Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI Y ABCPS) de la roya del café en la finca Normandía (bajío).

#### 4.1.7. Pérdida de frutos

Según los resultados obtenidos, en el conteo de frutos; se obtuvo una leve disminución de éstos, previo a la cosecha (Cuadro A-10). El conteo se realizó, cuando éstos estaban en formación (Junio) y en su fase de madurez antes de la cosecha (Noviembre). En este caso se registró poca pérdida, porque probablemente en esa fecha, la enfermedad iniciaba su

etapa de crecimiento acelerado y no produjo mayor efecto negativo. Sin embargo el resultado indica, que la disminución, si dependió directamente ( $r^2=0.99$ ), de la enfermedad. Al respecto, Avelino y Muller (1991), indican que la enfermedad causa efectos negativos en el llenado y cuajado de los frutos, disminuyendo la producción.

#### 4.2. Finca San Antonio (media altura)

Los resultados de incidencia y severidad se presentan en los cuadros 3 y 4. El cuadro 3, muestra el nivel de infección encontrada en hojas viejas y nuevas; en las hojas viejas, se encontró un nivel de 3.10 hojas infectadas en promedio y con decrecimiento consecutivo; desapareciendo en el mes de octubre de 2011, debido a la caída total de hojas (Cuadro 3). De esta manera se confirmó que el inóculo inicial se encuentra en las hojas viejas, tal como lo que descrito por Avelino y Muller (1991).

Sin embargo, en el caso de hojas nuevas, los niveles de incidencia promedio (mayo y meses posteriores) encontrados al inicio fueron superiores en relación a las hojas viejas; ya que en mayo fue de 6.5 hojas enfermas; manteniendo un crecimiento continuo y progresivo, a partir de julio, alcanzando un nivel máximo en noviembre, de 85.70 hojas enfermas; decreciendo a partir de diciembre. En cuanto a los valores encontrados en cada estrato altitudinal del árbol, fueron levemente mayores en las partes baja y media del árbol. Situación similar a lo descrito por Avelino (1991), que la enfermedad inicialmente, se presenta en mayor intensidad en las parte bajas del árbol y asciende a las partes más altas posteriormente.

Cuadro 3. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de media altura.

Ubicación bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de hojas enfermas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	1.4	0.4	0.6	0	0.1	0	2.3	1.7	1.9	5	7.8	16.1	19.5	18.8	18.8	11	8.3	3.7
Media	0.8	0.7	0.4	0.6	0	0	2.6	1	2.4	7.3	14.2	26.4	31.6	26.4	18.7	16.1	9.3	5
Baja	0.9	0.6	0.9	0.1	0.1	0	1.6	1.7	3.4	9.8	19.9	27.5	34.6	26.8	14.2	15.8	12	3.8
<b>TOTAL</b>	<b>3.1</b>	<b>1.7</b>	<b>1.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>	<b>6.5</b>	<b>4.4</b>	<b>7.7</b>	<b>22.1</b>	<b>41.9</b>	<b>70.0</b>	<b>85.7</b>	<b>72.0</b>	<b>51.7</b>	<b>42.9</b>	<b>29.6</b>	<b>12.5</b>

El cuadro 4, muestra similitud a los niveles de severidad encontrados en hojas viejas, en los niveles de incidencia presentados en el cuadro 3. El nivel promedio de severidad inicial fue de 4.40 pústulas por árbol, disminuyendo, hasta que las hojas viejas se cayeron por completo en el mes de octubre (Cuadro 4). Donde se confirma de igual manera que, la enfermedad se encuentra en hojas viejas, la cual disminuye paulatinamente, según se

produce la defoliación o caída de éstas en mayor medida en agosto y septiembre. Resultado, coincide con lo que mencionado por Avelino y Muller (1991); pues el inoculo encontrado en las hojas viejas, infesta e infecta a las hojas nuevas.

En las hojas nuevas, se encontró una severidad promedio, de 7.60 pústulas por árbol, en el mes de mayo; y se observó un leve crecimiento hasta el mes de julio, continuando con un crecimiento acelerado, a partir de agosto de 2011, hasta alcanzar un máximo en enero de 2012, luego comenzó a decrecer rápidamente en febrero, debido a que las hojas más infectadas son las primeras en caer, el descenso fue menos acelerado hasta abril porque la tasa de infección y crecimiento de la enfermedad en este periodo fue menor, este resultado coincide en cierta medida con lo que relata Avelino y Muller (1991).

Cuadro 4. Niveles de severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de media altura.

Ubicación de bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de pústulas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Hago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	2	0.3	0.5	0	0	0	2.9	1.9	3.5	13	20.8	71.3	88.7	153.2	255.5	61.3	33.3	8.9
Media	1.2	0.5	1.2	1.1	0	0	2.9	1.1	2.9	14.2	47.7	141.2	164	227.8	287.3	99.9	41.1	12.5
Baja	1.2	1.7	1.3	0	0.2	0	1.8	1.8	3.4	16.9	65.3	118.4	204	228.3	200.9	91.4	66.1	16.8
<b>TOTAL</b>	<b>4.4</b>	<b>2.5</b>	<b>3.0</b>	<b>1.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>	<b>7.6</b>	<b>4.8</b>	<b>9.8</b>	<b>44.1</b>	<b>133.8</b>	<b>330.9</b>	<b>456.7</b>	<b>609.3</b>	<b>743.7</b>	<b>252.6</b>	<b>140.5</b>	<b>38.2</b>

#### 4.2.1. Relación incidencia y severidad con la precipitación.

Al analizar los niveles de incidencia y severidad (Figura 6), se encontró que la precipitación, presento diferencias significativas en ambas variables. También la prueba de regresión muestra que la precipitación influyo en un 44% ( $r^2=0.44$ ), en la incidencia y un 42% ( $r^2=0.42$ ), en la severidad. Por lo que se demostró que la lluvia, influye en el desarrollo de la enfermedad. Sin embargo hay otros factores que interactúan con la precipitación, para que el fenómeno haya ocurrido de la manera en que se presento. Este resultado, coincide con lo descrito por Avelino y Muller (1991), que expresan que la lluvia dispersa las esporas, con el salpique de la gotas sobre la superficie foliar y por escurrimiento hacia el envés de las hojas, infestando e infectando áreas y hojas vecinas a la pústula inicial.

La figura 6, muestra la relación y comportamiento epidemiológico de la roya del cafeto, en incidencia y severidad, con respecto a la precipitación registrada en los meses de mayo a noviembre de 2011 (Cuadro A-4).

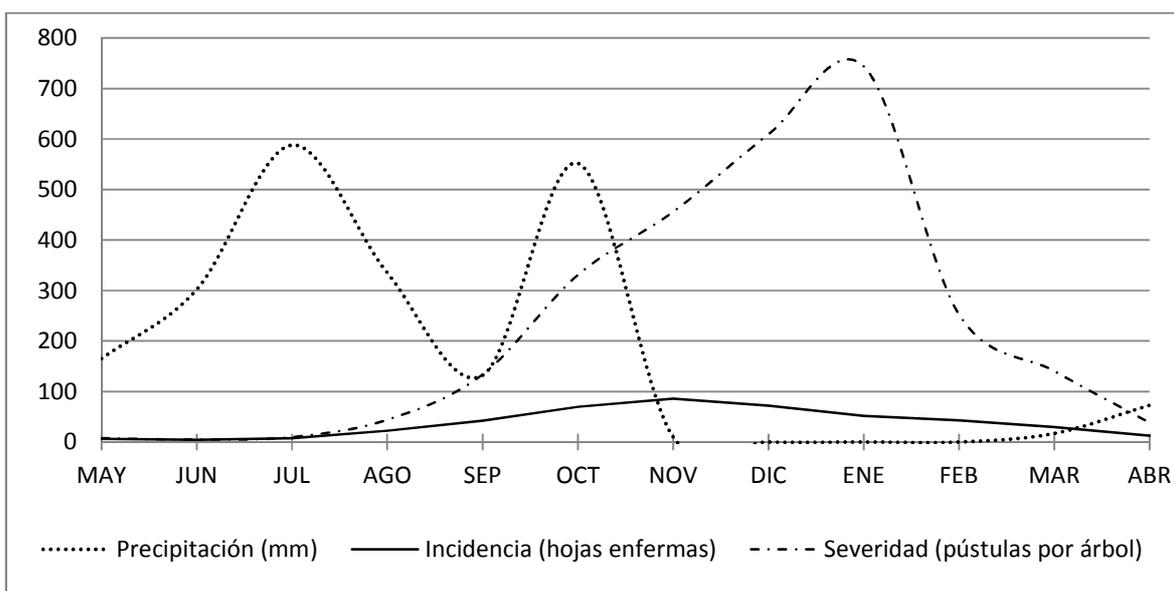


Figura 6. Curvas de incidencia y severidad de la enfermedad y su relación con la precipitación en la finca San Antonio (media altura).

#### 4.2.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa.

En la relación incidencia y severidad, con la humedad relativa, se encontraron diferencias altamente significativas, por lo que los niveles de humedad relativa encontrados principalmente en los meses de junio a octubre, se presentaron los mayores niveles promedio de 84.5% HR (Figura 7 y Cuadro A-4); fueron los que favorecieron, la propagación del hongo en las plantas. De acuerdo a investigaciones realizadas por Moreno de Alas citado por MAG, e ISIC *et al* (sf), las esporas germinan en la fase de crecimiento lento de la enfermedad, con humedades relativas mayores al 80%. Los valores promedios de humedad relativa, descritos al inicio de este inciso, fueron mayores a los descritos por Moreno de Alas; lo que demuestra que estos niveles de humedad relativa presentados influyeron, en gran medida en el desarrollo epifitológico de la enfermedad. Además con la prueba de regresión, demuestra que la humedad relativa, influyo en un 82% ( $r^2= 0.82$ ), en la incidencia y 79% ( $r^2= 0.79$ ), en la severidad.

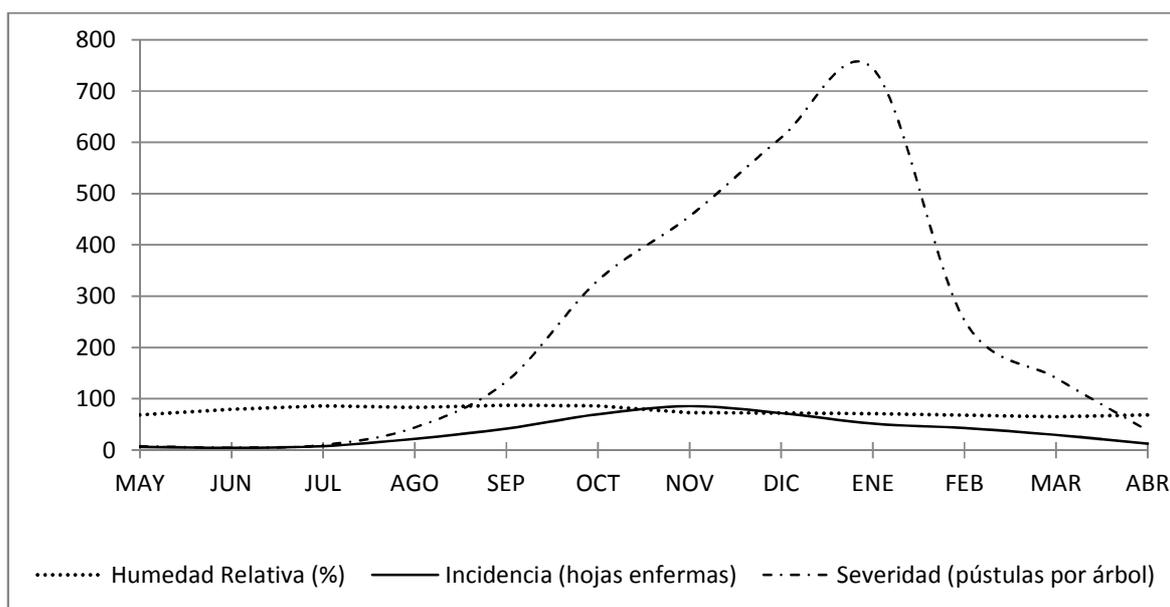


Figura 7. Curvas de incidencia y severidad de roya del café y su relación con la humedad relativa en la finca San Antonio (media altura).

#### 4.2.3. Relación incidencia y severidad con temperatura

Está relación no se encontraron diferencias estadísticas significativas, por lo que las variaciones de temperatura registrados, no influyeron en los niveles de incidencia y severidad de la epifitología, no así los niveles suscitados ya que los promedios que se registraron fueron óptimos, ya que estos fueron mayores a 22 °C, y Rivillas Osorio *et al* (2011), describe que con presencia de humedad en la hojas y temperaturas de entre 16 y 28°C, el hongo puede germinar, sin embargo en la prueba de regresión muestra que la influencia de la temperatura en la incidencia fue de 0.10% ( $r^2= 0.001$ ) y en la severidad 4.0% ( $r^2= 0.04$ ).

La figura 8, muestra el comportamiento epifitológico de la roya del cafeto en la incidencia y severidad; y su relación con la temperatura (Cuadro A-4). Donde se registró un promedio de temperatura en los meses de mayo a septiembre mayor a 23°C y menor a 25°C (24.2 en promedio); temperaturas que favorecen, la germinación de esporas. De acuerdo a Rivillas Osorio *et al* (2011), las esporas germinan dentro de un rango de 16 a 28 °C. Pero sin embargo el análisis de varianza y el coeficiente de determinación, indican, que no existe influencia directa, de este factor ambiental. Sin embargo, cada factor tiene alguna contribución en los procesos biológicos en etapas específicas.

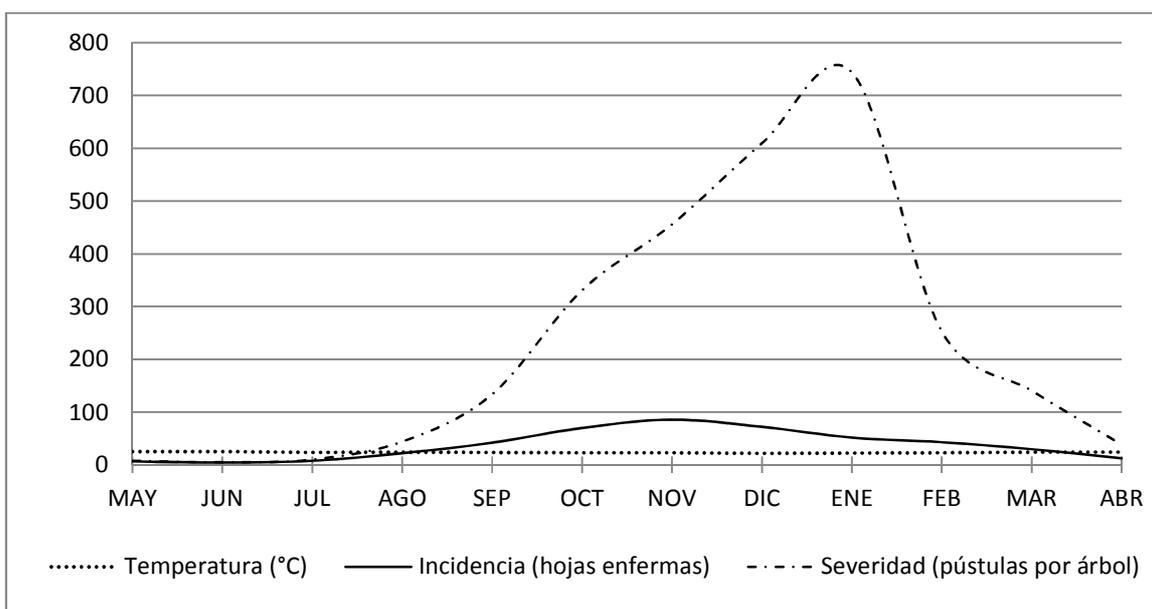


Gráfico 8. Curvas de incidencia y severidad de roya del café y su relación con la temperatura en la finca San Antonio (media altura).

#### 4.2.4. Incidencia y severidad con defoliación.

El gráfico 9, muestra la relación entre la incidencia y severidad de la roya del cafeto, y la disminución en el número de hojas (Cuadro A-4), como producto de la defoliación (disminución en el número de hojas). Ambas variables influyeron significativamente en la pérdida de hojas en las plantas de café. La prueba de regresión demostró, que la defoliación de las plantas de café, se debió a la incidencia en un 80% ( $r^2 = 0.80$ ) y un 83% ( $r^2 = 0.83$ ), a la severidad. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Rayner (1972) y Avelino con Muller (1991), quienes expresan, que altas infecciones de roya, causan defoliación en los cafetos, y según lo observado, la defoliación se produjo a partir de los meses de noviembre, donde los niveles de incidencia y severidad fueron altos, seguramente las hojas primeras en infectarse y con severidad elevada fueron las primeras en caer.

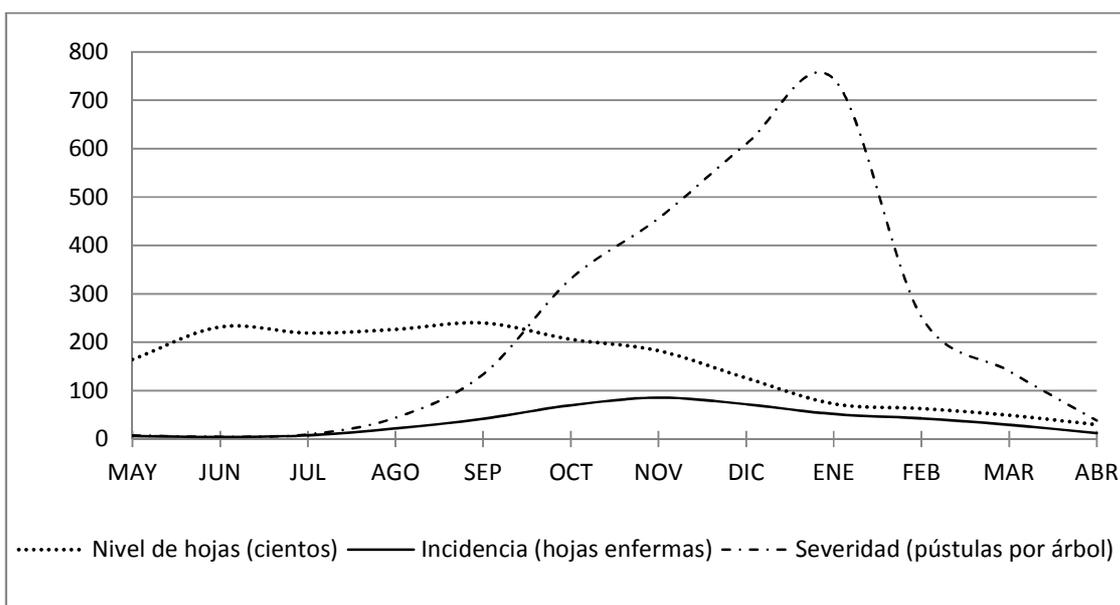


Figura 9. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la defoliación en la finca San Antonio (media altura).

#### 4.2.5. Relación incidencia con severidad.

La incidencia la enfermedad, influyó en el aumento de la severidad de roya del café, producida en sus diferentes niveles de la enfermedad. En el análisis de regresión, reflejó que la severidad depende en un 66% ( $r^2=0.66$ ), de los niveles de incidencia de la enfermedad presentada, donde una sola pústula de roya, se convierte en fuente de inóculo, y producto de la lluvia (salpique y escurrimiento), infeste e infecte áreas y hojas adyacentes. Es de recalcar que esta afirmación, tiene validez considerando que el inóculo encontrado, infeste e infecte a otras aéreas adyacentes, producto de otros factores, como la precipitación, viento, manejo agronómico, etc; siempre y cuando las condiciones de germinación sean óptimas.

#### 4.2.6. Tasa de infección aparente (r).

La tasa de infección promedio, tiene un crecimiento desigual (Cuadro A-6), en la incidencia ( $r= 3.37$ ) y severidad ( $r=5.10$ ) de la enfermedad. La severidad se dio en mayor grado, debido a los factores que influyeron en mayor medida; ya que ésta depende de la incidencia como fuente de inóculo, de la lluvia, porque el salpique dispersa las esporas; además, la humedad relativa que se registro en el periodo de crecimiento lento de la enfermedad, generó condiciones óptimas para la germinación; situación que aumentó el número de pústulas por unidad foliar infectada, en este estrato altitudinal, en el que se ubica la finca. Los resultados

obtenidos, son similares a los encontrados, en los estudios realizados por Avelino y Müller (1991) y de acuerdo a Rivillas Osorio *et al* (2011), la lluvia contribuye en el desarrollo de epifitología de roya y la infección se produce en hojas o áreas vecinas a la infestación inicial; por lo que la severidad tiende a crecer en mayor medida.

La figura 10, muestra el comportamiento, crecimiento lento y acelerado, nivel máximo alcanzado y decrecimiento; tanto en la incidencia y severidad, así como en la intensidad de hojas infectadas, y número de pústulas por planta. La figura 10 muestra, que ambos parámetros coinciden proporcionalmente en las primeras fases de crecimiento; no así en la cúspide y en los niveles alcanzados para cada uno de ellos (Cuadro A-5), demostrando que los niveles de infestación en infección se reducen a partir del mes de noviembre; no así en la severidad, debido a la policiclicidad del patógeno en la misma unidad foliar. La etapa lenta de la enfermedad ocurrió de mayo a junio, mientras que la fase de desarrollo acelerado entre los meses de agosto y noviembre, la máxima infección se da en diciembre y la fase de descenso inicia en enero del siguiente año, en concordancia con lo investigado por Avelino y Muller (1991). Por otra parte el Área Bajo la Curva de la Severidad (ABCPS), es muy superior a los de la Incidencia (Cuadro A-5), debido a que la primera se ve más favorecida por factores como la lluvia, además de otros como, el viento y manejo agronómico principalmente.

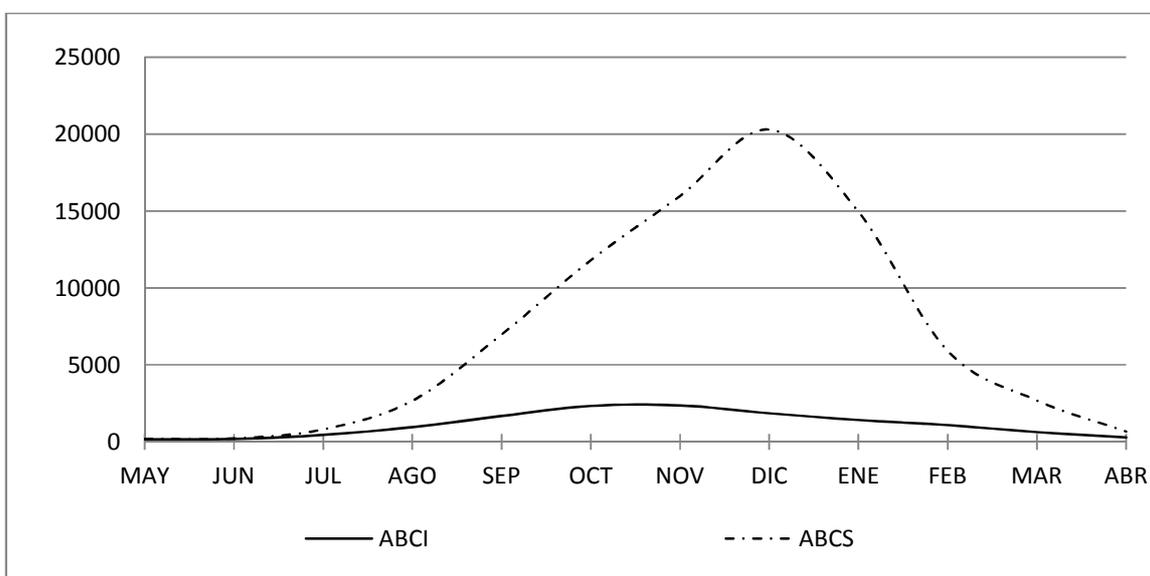


Figura 10. Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS), en la finca San Antonio (media altura)

#### 4.2.7. Perdida de frutos.

En este caso se encontró un resultado significativo, que indicó, que la caída de frutos se debió en cierta medida, a los efectos que la enfermedad produce en las plantas; debido a que la incidencia y severidad, se desarrollan aceleradamente, mucho antes que la maduración de frutos; empezando en el mes de julio y finalizando en noviembre, reflejando un efecto más devastador. En el análisis estadístico se demuestra, que la caída de frutos (Cuadro A-10), se debió a la incidencia y severidad en un 99% ( $r^2=0.99$ ), lo cual se atribuye a ambas variables de la enfermedad. Tal resultado, es similar a lo descrito por Avelino, Muller (1991) y Moreno de Alas *et al* citado por MAG e ISIC, (sf), que altas infecciones de roya, producen severas defoliaciones en las plantas de café.

#### 4.3. Finca El Olvido (estricta altura)

Los resultados de incidencia y severidad se presentan en los cuadros 5 y 6.

El cuadro 5, muestra que en hojas viejas, se encontró, una infección inicial en el mes mayo de 3.70 hojas enfermas; con una progresiva disminución, hasta que desaparecieron en el mes de octubre; debido a la caída de hojas en su totalidad (Cuadro A-7). En el caso de hojas nuevas, la infección, en el mes de mayo; se encontró un promedio de 6 hojas infectadas; pero como producto del azar se observa una baja presencia hasta los meses de octubre y noviembre, con un ligero repunte en el mes de diciembre y enero, luego continuó con su descenso hasta abril. En cuanto a los valores encontrados en cada estrato del árbol, fueron similares en las tres secciones, contrario a lo que describe Avelino (1991) y Rivillas Osorio, *et al* (2011), que la roya del café tiene mayor presencia en las partes inferiores del árbol.

Es de hacer notar, que para los tres casos (bajío, media y estricta altura) el tamaño de las pústulas que se encontraron en las hojas viejas fueron de mayor tamaño, que las encontradas en las hojas nuevas, que fueron pústulas muy pequeñas y crecieron hasta igualarse a las encontradas en las hojas viejas, y en muchos casos se unieron con otras pústula vecinas formando una sola lesión ocasionando en su mayoría la muerte de la hoja en su totalidad. Resultados similares a lo descrito por Avelino y Muller (1991), que mencionan que altas infectaciones en una misma área foliar, las pústulas tienden a unirse con otras, lo que produce que áreas adyacentes aún no afectadas directamente tienda a morir, afectando a la hoja entera.

Cuadro 5. Nivel de incidencia de la enfermedad en hojas viejas y nuevas en los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en finca de estricta altura.

Ubicación de bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de hojas enfermas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	0.9	0.7	0.5	0.4	1	0	1.5	1.1	0.8	0.7	2.2	1.1	0.5	1.9	3.7	0.7	0.2	0.2
Media	1.3	1.2	0.2	0.3	1.1	0	2.1	1.9	0.4	0.5	3.6	1.7	0.4	4.5	5.9	4.9	3.3	0.8
Baja	1.5	0.8	0.2	0.1	0.1	0	2.4	1.3	0.3	0.2	0.5	0.42	0.8	1.4	5.1	1.5	2.2	0.5
<b>TOTAL</b>	<b>3.7</b>	<b>2.7</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>2.2</b>	<b>0</b>	<b>6.0</b>	<b>4.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>6.3</b>	<b>3.22</b>	<b>1.7</b>	<b>7.8</b>	<b>14.7</b>	<b>7.1</b>	<b>5.7</b>	<b>1.5</b>

El cuadro 6, se describen, los niveles de severidad encontrados, en las hojas viejas y nuevas; de los cuales en las hojas viejas de 6.0 pústulas por árbol en promedio, descendiendo hasta desaparecer en el mes de octubre, como resultado de la caída total de las hojas. Tanto en la incidencia como en la severidad de la enfermedad, el inóculo residual se encontró en las hojas viejas de los árboles; que sucesivamente infestan e infectan las hojas nuevas, producto de la policiclicidad del patógeno, las hojas continúan infectándose, aunque en este caso los niveles fueron bajos en relación a lo registrado en bajo y media altura.

En las hojas nuevas, los niveles encontrados fueron mínimos, en todo el periodo de estudio; encontrando valores promedios de 5.2 pústula por árbol en el mes de mayo, y con un leve repunte en los meses de diciembre y enero, luego comienza un descenso hasta el mes de abril. Es muy importante resaltar, que la tendencia de la curva, es similar en los tres estratos altitudinales donde se presenta la fase de desarrollo lento (periodo de infestación e infección inicial), crecimiento acelerado, el punto máximo (cúspide de la curva de la enfermedad) y fase de descenso, aunque en este caso los niveles de infección fueron bajos.

Cuadro 6. Nivel de severidad de la enfermedad en hojas viejas y nuevas, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012 en la finca de astricta altura.

Ubicación de bandola en el árbol	Bandola																	
	Cantidad de pústulas por árbol																	
	Hojas viejas						Hojas nuevas											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	May	Jun	Jul	Hago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Alta	1.5	1.1	0.8	0.67	1.7	0	1.3	1	0.8	0.7	1.2	0.6	0.2	0.8	1.1	0.5	0.2	0.2
Media	2.1	1.9	0.3	0.5	1.8	0	1.8	1.1	0.4	0.5	2	0.6	0.4	2.7	3.6	2.8	1.5	0.6
Baja	2.4	1.3	0.3	0.17	0.1	0	2.1	1.3	0.3	0.2	0.5	0.4	0.8	1	2.8	0.5	1.7	0.4
<b>TOTAL</b>	<b>6.0</b>	<b>4.3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.34</b>	<b>3.6</b>	<b>0</b>	<b>5.2</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>3.7</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>	<b>4.5</b>	<b>7.5</b>	<b>3.8</b>	<b>3.4</b>	<b>1.2</b>

#### 4.3.1. Relación incidencia y severidad con la precipitación.

En la figura 11, se indica la relación en los niveles de la precipitación, y según el análisis estadístico, el factor lluvia no influyó en la incidencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*); mientras que para la severidad, si influyó significativamente en su desarrollo, en el mismo periodo comprendido de mayo de 2011 hasta abril de 2012. Aunque es este caso los niveles fueron muy bajos (Cuadro A-7), en relación a las fincas ubicadas en bajo y media altura.

Sin embargo al aplicar la prueba de regresión, se encontró, que la precipitación influyo en un 23% ( $r^2=0.23$ ) en la incidencia y un 40% ( $r^2=0.40$ ), en la severidad de la enfermedad. Así se comprueba que la lluvia, influyó en el desarrollo de la epifitología de la roya del café, similar a lo que describe Rayner (1972), que dicen que, al menos un factor climático influye en mayor medida en el comportamiento de la enfermedad. La severidad, se ve incrementada, debido a que de una pústula, la lluvia dispersa las esporas de roya, infestando e infectando las áreas adyacentes, lo que aumentó, el número de pústulas en áreas y hojas vecinas.

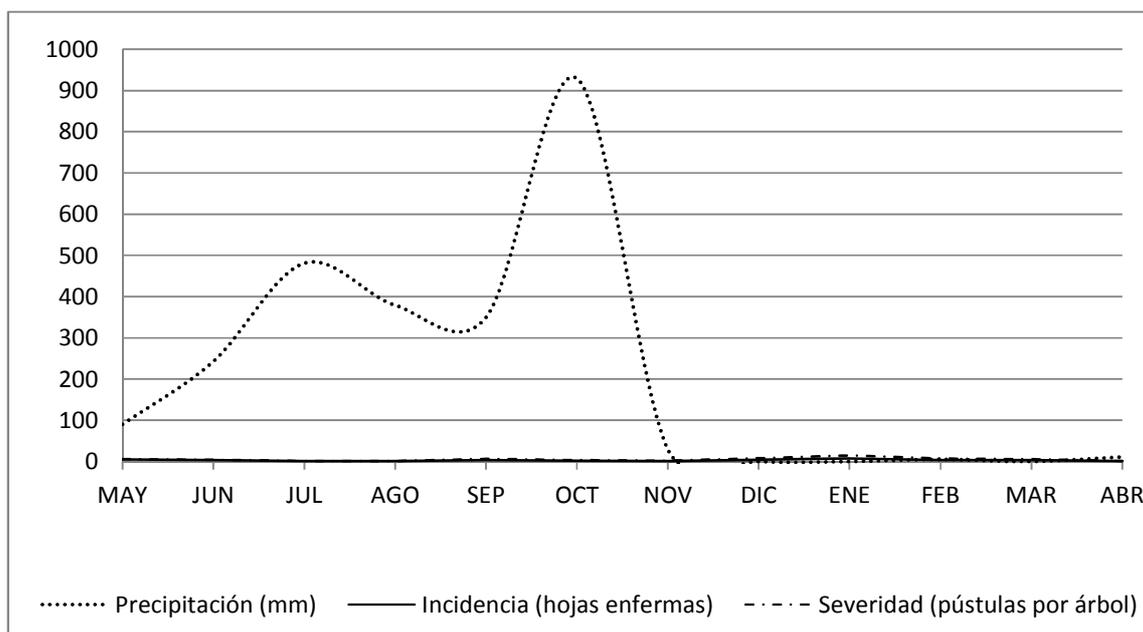


Figura 11. Curvas de incidencia y severidad y su relación con la precipitación en la finca El Olvido (estricta altura).

#### 4.3.2. Relación incidencia y severidad con la humedad relativa

En la figura 12, se muestra la variación en los niveles de la humedad relativa (Cuadro A-7) y su relación con la incidencia y severidad de la roya del café, (*Hemileia vastatrix*), observándose que la humedad relativa, no influyó en la curva epifitiológica de la enfermedad en estricta altura. Además la prueba de regresión muestra que la humedad relativa influyó en un 6% ( $r^2=0.06$ ), en la incidencia y en un 16% ( $r^2=0.16$ ) en la severidad. Sin embargo la tendencia que se observa en la curva, muestra asimetría en su comportamiento en ambas variables (incidencia y severidad), con relación a la humedad relativa.

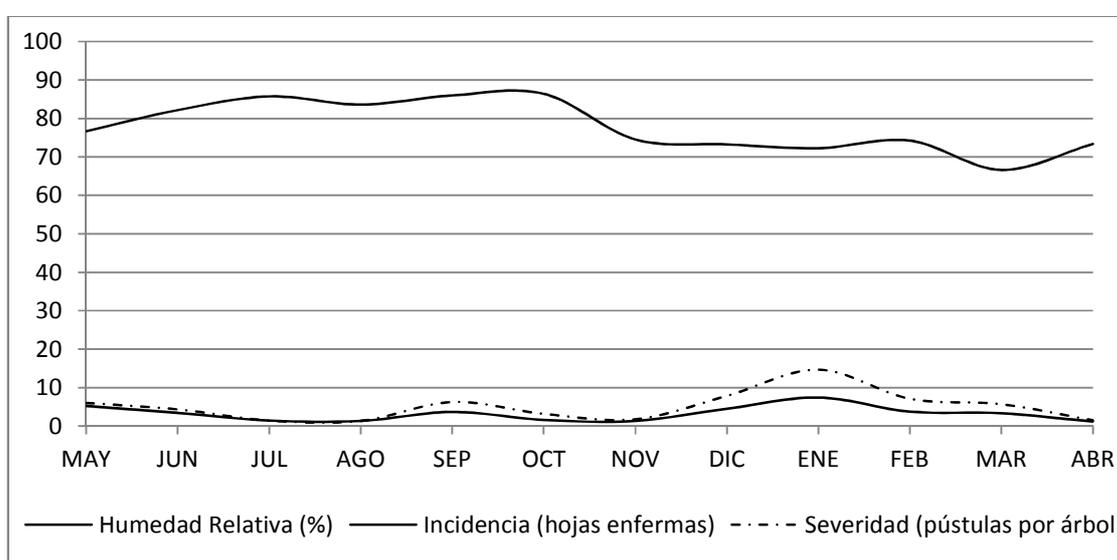


Figura 12. Curvas de incidencia y severidad y su relación con la humedad relativa en la finca El Olvido (estricta altura).

#### 4.3.3. Incidencia y severidad con la temperatura

En la figura 13, se puede observar, la variación en la temperatura y su relación con la incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), notándose en ambos casos, que ésta no tuvo influencia estadística significativa, en el periodo de mayo de 2011 hasta abril de 2012. Sin embargo en la prueba de regresión, se muestra que la temperatura registrada, influyó en un 13% ( $r^2=0.13$ ), en la incidencia y un 20% ( $r^2=0.20$ ), en la severidad de la enfermedad; lo cual es un resultado, que no se puede ignorar.

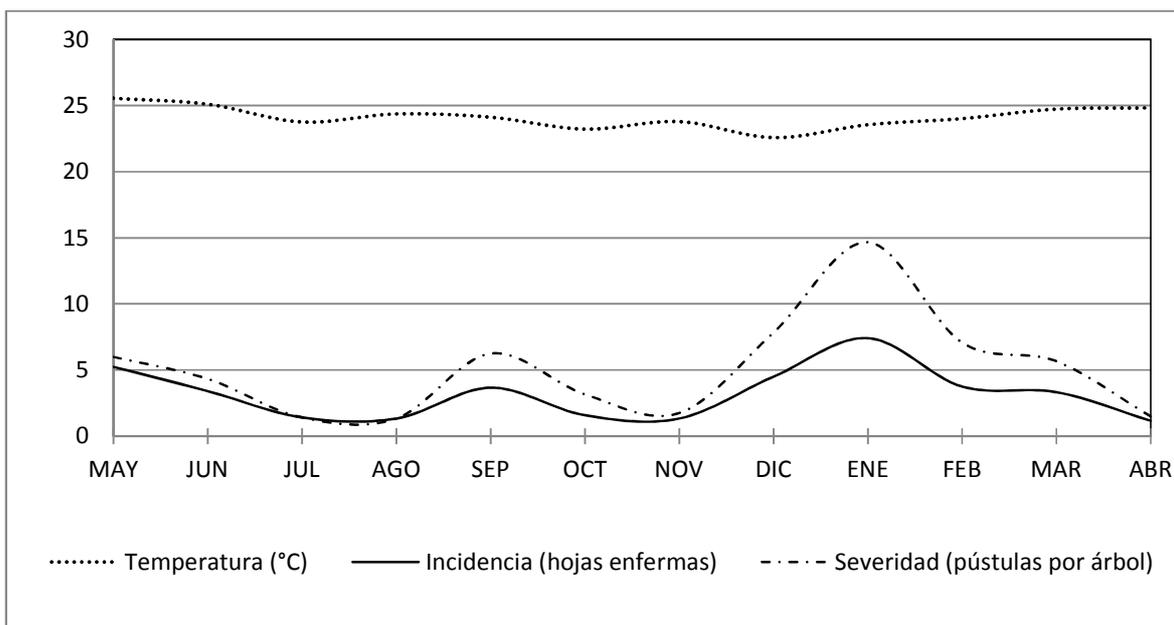


Figura 13. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la temperatura en la finca El Olvido (estricta altura).

#### 4.3.4. Incidencia y severidad con la defoliación.

En la figura 14, se evidencia, que no se produjo defoliación significativa en las plantas de café, debido a que los niveles de incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), fueron mínimos, en el periodo de Mayo de 2011 a Abril de 2012, en esta categoría (Cuadro A-7).

Además la prueba de regresión indica que la influencia de la incidencia y severidad, en la defoliación fue del 3% ( $r=0.03$ ), para la incidencia y de un 13% ( $r=0.13$ ), en la severidad, cual no es muy significativa. Además en el conteo de hojas no se encontró variación significativa en la cantidad hojas en los cafetos. Sin embargo es de resaltar que, si la curva de la incidencia y severidad disminuyen después del punto máximo, es porque la hojas más infectadas caen. En relación a la severidad, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y tasa de infección aparente, en su mayoría son mayores a los de la incidencia debido a que las hojas infectadas son más propensas a reinfectarse dentro de una misma unidad foliar, ya sea por la policiclicidad del patógeno o por influencia de un factor ambiental específico como la lluvia, entre otros.

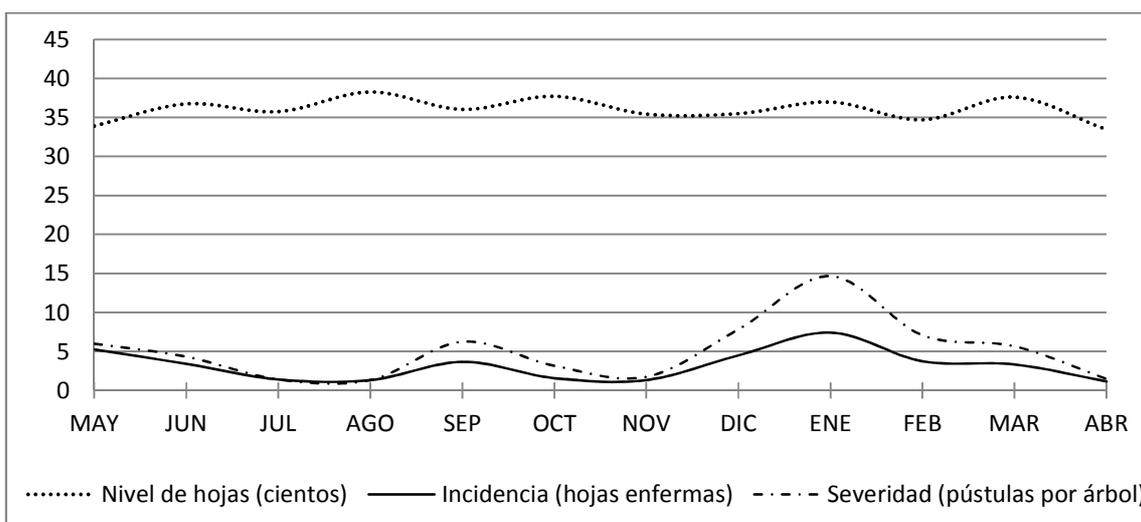


Figura 14. Curvas de incidencia y severidad de roya y su relación con la pérdida de hojas, en la finca El Olvido (estricta altura).

#### 4.3.5. Relación incidencia con la severidad

Los niveles de severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), dependieron de los niveles de incidencia, como resultado de la dispersión por salpicadura provocada por la lluvia y otros factores. Resultado similar a lo descrito por Avelino (1991) y Rivillas Osorio *et al* (2011). Además con la prueba de regresión reflejan que, el aumento en la severidad, dependió en un 90% ( $r^2 = 0.90$ ) del nivel de incidencia encontrado.

#### 4.3.6. Tasa de infección aparente (r).

La velocidad de infección promedio, tuvo un crecimiento desigual (Cuadro A-9), en la incidencia ( $r = 0.79$ ) y severidad ( $r = 1.22$ ). En la última es mayor, debido a un factor (lluvia) en especial, que favoreció más a la severidad; dado que esta dependió de la incidencia, como fuente de inóculo. La lluvia dispersó y aumentó la cantidad de pústulas, generaron mayor velocidad, en el crecimiento de la severidad; en la misma unidad foliar, en la finca de estricta altura; aun cuando los niveles encontrados, en ambos casos fueron insignificantes.

La figura 15, muestra las etapas y la intensidad de la incidencia y severidad de la enfermedad; determinándose que ambos parámetros, coinciden en su comportamiento; no así, en los niveles alcanzados, aunque no se encontraron niveles alarmantes, si mostró, que el comportamiento es similar. Sin embargo el Área Bajo la Curva de Progreso de la severidad (ABCPS), es siempre mayor que la incidencia (Cuadro A-8); donde se observa

etapa de crecimiento lento de mayo a octubre, una leve aceleración en noviembre, un máximo en diciembre y levemente descendió en los meses siguientes enero y febrero. Además se observa proporcionalmente un comportamiento simétrico en las dos variables.

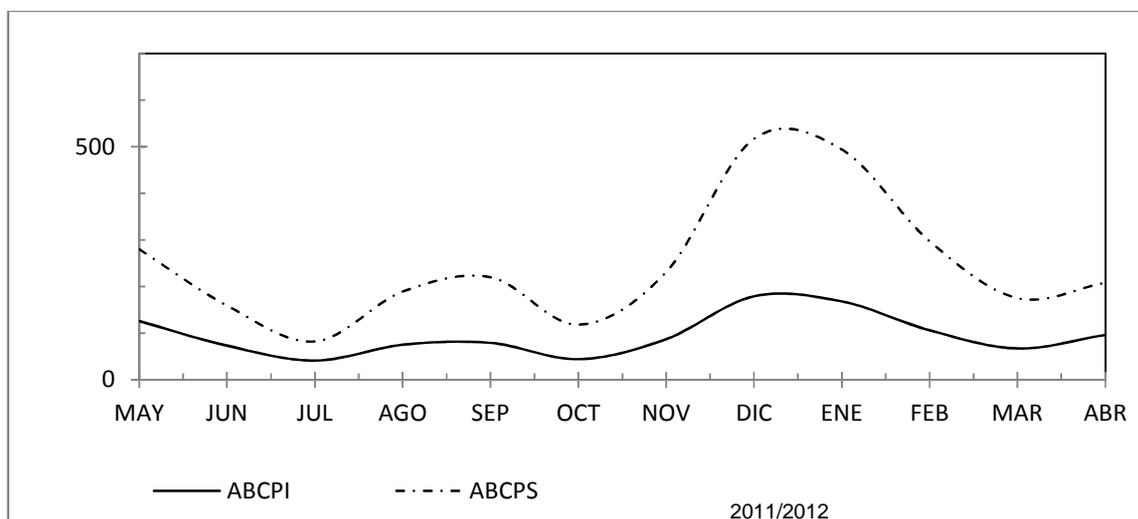


Figura 15. Área Bajo la Curva de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) de la roya del café en la finca El Olvido (estricta altura).

#### 4.3.7. Pérdida de frutos.

En estricte altura, los resultados encontrados, sobre los niveles de incidencia y severidad analizados estadísticamente son insignificantes, salvo en el caso de la precipitación, que influyó moderadamente en la severidad. Así mismo, se determinó; que la intensidad de la enfermedad, no tuvo incidencia, en la cantidad de frutos encontrados; debido a que tanto la producción como los niveles de la enfermedad fueron bajos (Cuadro A-7 y A-10). Es de resaltar, que en las fincas de bajo (Normandía) y media altura (San Antonio), los niveles de la enfermedad fueron altos, así como la producción, contrario a lo que ocurrió en estricte altura (El Olvido), donde la producción y los niveles de roya fueron bajos. Este resultado coincide, con lo descrito por Avelino y Muller (1991) y Rivillas Osorio *et al* (2011), que expresan, que altos niveles de roya están asociados, a ciclos de alta producción de café.

#### 4.4. Programa de manejo de la roya del café

Para el programa de control es necesario un manejo integrado, dentro del cual comprende las siguientes tácticas: control cultural, control genético y control químico. El control cultural, es la principal práctica, la poda de los cafetos, deberá ser decidida por el productor, de acuerdo a la severidad, podría ser poda sanitaria, eliminando ramas acabadas, o recepa

total. El otro aspecto es la poda de sombra, la cual debe realizarse de acuerdo al programa establecido en los meses de mayo a junio y el porcentaje de sombra debe determinarse de acuerdo al estrato altitudinal.

En el control de la roya del café (*Hemileia Vastatrix*) debe ser efectuado en dos fases, una en la época seca, y la otra en la estación lluviosa. En la época seca, debe realizarse, la poda fitosanitaria con el objetivo principal, de eliminar el inoculo residual, en el siguiente ciclo de producción. En la época lluviosa debe ser complementada, con prácticas agronómicas específicas para el cultivo realizando fertilizaciones en el momento preciso; manejo de sombra en la época y forma oportuna, y aplicación racional de fungicidas.

El control genético, es el mejor método, para controlar la roya del café (*Hemileia vastatrix*). Se ha observado en el pasado y el presente, que las variedades Pacas y Bourbon, son fuertemente atacados. En la actualidad los Catimores y Sarchimores, son la una opción para controlar la enfermedad.

El control químico debe realizarse, con base, a dos aspectos importantes; el primero, la epidemiología de la enfermedad, y el segundo la fenología del grano.

La importancia de estos aspectos se describe en el siguiente inciso.

La primera aplicación debe realizarse, cuando el número de hojas infestadas e infectadas sea bajo; durante el desarrollo lento de la enfermedad, que se presenta de mayo a agosto. Pero si se toma en cuenta, la fenología del fruto; la aplicación debe realizarse, cuando el fruto está en proceso de llenado, entre los 60 a 90 días después de la floración. Durante este proceso, el metabolismo del cafeto es intenso, porque todo su esfuerzo está centrado en la producción; motivo por el cual los cafetos, se encuentran débiles y se vuelven muy sensibles a la roya.

Los productos químicos como; Los cobres (Oxicloruro de cobre e Hidróxido de cobre), se recomiendan cuando la incidencia y severidad de la enfermedad son bajas, ya que estos solamente son esporicidas. Los Triazoles, que son fungicidas de acción sistémica, normalmente, se aplican, después del uso de los fungicidas cúpricos. Sin embargo, lo más recomendable, si existe compatibilidad entre los cobres que son de contacto, con los sistémicos, la mezcla de estos, resulte más eficaz; debido a que los cobres controlan las esporas, que son las que diseminan la enfermedad y los sistémicos, controlan las estructuras internas del hongo.

## 5. Conclusiones

1. La roya del café (*Hemileia vastatrix*), tiene un comportamiento epidemiológico variable en cada estrato altitudinal, en incidencia y severidad de la enfermedad, según condición de los factores ambientales influyentes en cada zona.
2. La incidencia de la roya, en la finca de bajío, se debió a la temperatura; en media altura, debido a: la lluvia y humedad relativa, y para estricta altura, la influencia de los factores climáticos, fue mínima, así como la enfermedad misma, que tuvo una incidencia baja y consecutivamente una severidad baja.
3. La severidad en bajío y estricta altura se debió a la precipitación únicamente, y en media altura, a la lluvia y humedad relativa.
4. La enfermedad no desaparece de un ciclo de producción a otro solo mantiene gradualmente ciertos niveles, en las diferentes épocas, según condiciones de ambiente y de manejo, manifestándose de forma policíclica y bianual, afectando la caficultura en pisos altitudinales que antes no se desarrollaba y debe existir un manejo adecuado de la enfermedad, para que no se presenten los mismos problemas, observados en bajío y media altura.
5. La velocidad de crecimiento de la infección, ya sea en incidencia y severidad de la enfermedad, son proporcionales al inóculo inicial encontrado, y esta aumenta o disminuye, según el factor o factores ambientales influyentes en cada zona y época del año en la que se manifiesta.
6. La roya del café, se encuentra en todos los niveles altitudinales, de la caficultura salvadoreña; aun cuando en la zona de estricta altura, no se encontraron niveles alarmantes, como en bajío y media altura; pero se encontraron evidencias de que esta enfermedad está afectando ésta zona, dado su carácter policíclico bianual.
7. La roya del café (*Hemileia vastatrix*) causó daños severos en la defoliación debido grado de incidencia y severidad encontradas en bajío y media altura, en ambos casos, los niveles de hojas se redujeron significativamente en los meses próximos (noviembre) y siguientes (diciembre y enero) a la cúspide de la curva de la enfermedad.

## 6. Recomendaciones

1. Según la curva de crecimiento de la enfermedad, el control químico debe realizarse en fase de crecimiento lento de la enfermedad; para las fincas de bajo, durante los meses de mayo a octubre; para las de media altura, de mayo a julio, con mayor rigurosidad que la anterior, y en estricta altura, puede iniciarse en la misma fecha que las anteriores, según se observe la presencia de la enfermedad, a través de un monitoreo del patógeno en el cultivo.
2. El control de la roya del café (*hemileia vastatrix*), debe iniciarse en los meses donde se produce la infestación e infección inicial, eliminando de esta manera el inoculo residual, que da origen a toda infestación que produce epifítia.
3. Debido al carácter policíclico y bianual de la roya, realizar estudios de la enfermedad durante varios los años, para comprender su comportamiento y establecer un perfil epifitológico de la misma.
4. Realizar estudios más precisos y detallados de la roya del café, en estricta altura, ya que este estrato altitudinal, no existía evidencia de que esta enfermedad se presentase.
5. El manejo integrado del cultivo, debe basarse en el comportamiento de la enfermedad, según el nivel altitudinal donde se ubique la finca.
6. Los caficultores deben realizar un manejo integrado de la enfermedad, combinando el uso de variedades resistentes, las variedades que ya normalmente se cultivan y que son productivas, tratando de mantener la variabilidad genética, combinando el usos adecuado de fungicidas
7. En el establecimiento y renovación de cafetales, sembrar variedades resistentes y tolerantes, y seleccionar suelos de buena consistencia textural y nutricional, para asegurar un buen desarrollo de las plantas y de esta manera mejorar la resistencia a la enfermedad.
8. Realizar vigilancia constante, para evitar que la enfermedad sobrepase los niveles de daño económico; relacionándolos a diferentes prácticas de manejo tradicionales y convencionales, y dosis de productos químicos, para establecer un control efectivo y eficaz de la enfermedad.

## 7. Bibliografía

Avelino J, Muller RM. 1991. Desarrollo y comportamiento de la roya anaranjada del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk y Br) en plantaciones en proceso de modernización, cultivadas con variedades de porte bajo en el sureste de México. Ed. PROMECAFE. México DF, MX. 40p.

\_\_\_\_; et al. 1999. La roya anaranjada del cafeto: Mito y realidad. In. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. 2 ed. Por Benôit Bertran y Bruno Rapidel. San José.CR. IICA. PROMECAFE. p 193-242.

BCR (Banco Central de Reserva). 2008 .Revista trimestral. Octubre/Diciembre 2008:38-40

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1992. Prácticas agrícolas de manejo del cafetal. (en línea). San José, CR. Consultado 2 mar. 2011. Disponible en <http://web.catie.ac.cr/informacion/rafa/rev32/53.pdf>

Consejo Nacional de Café. 2009. Estadísticas del café (En línea).San Salvador, SV. Consultado 20 Oct. 2010. Disponible en <http://www.consejocafe.org>

El Universal. 2010. Urgen que se incremente la producción de café ante fuerte demanda mundial. (en línea). Caracas, VZ. Consultado el 20 de oct. 2010. Disponible en [http://www.eluniversal.com/2010/02/27/eco\\_ava\\_urgem-que-se-increme\\_27A3500733.shtml](http://www.eluniversal.com/2010/02/27/eco_ava_urgem-que-se-increme_27A3500733.shtml)

Enciclopedia Agropecuaria. 1995. Producción agrícola 2. Ed. Colombia. P 395-397

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1975a. contribuciones del IICA al conocimiento de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*). Ed. Turialba, CATIE. San José. CR.

\_\_\_\_. 1987. Simposio sobre caficultura latinoamericana. Ed. PROMECAFE. Tapachula. MX.

ISIC (Instituto Salvadoreño de investigación del Café, SV). sf. Validación de dos alternativas tecnológicas en el control químico de la roya del cafeto. Ed. FB Pérez. Santa Tecla, SV. 16p.

\_\_\_\_.MAG (Ministerio De Agricultura y Ganadería, SV). sf. La roya del cafeto (*Hemileia Vastatrix*) su presencia en Brasil y los países africanos y Tanzania. Eds. JA Córdón; L Abrego; Guerra. Santa Tecla, SV. 91p.

MINEC (Ministerio de Economía). 2011. Quintal del café incrementa \$107 a nivel internacional. En El Salvador, los caficultores atraviesan el mejor momento en producción y precio de la última década. El Mundo. San Salvador. SV. Feb. 28: 40.

PROCAFE (Fundación Salvadoreña para la Investigación de Café, SV). 1993. Principales variedades comerciales de cafetos en El Salvador. San Salvador, SV. (Hoja divulgativa no. 5)

\_\_\_\_\_.1998. Boletín estadístico de la caficultora salvadoreña. (En línea). San Salvador, SV. Disponible en: <http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Estadisticas.htm>

\_\_\_\_\_. 2004. Boletín estadístico de la caficultura: Superficies de plantillas de café por región y altitud. Santa Tecla. SV.

\_\_\_\_\_. 2005. Variedades de café cultivadas en El Salvador. Artículo técnico. Santa Tecla. SV. 8p.

\_\_\_\_\_. 2010a. Boletín estadístico de la caficultora 2010. Ed. PROCAFE. Santa Tecla. SV. 28p.

\_\_\_\_\_.2010b.Estadísticas Cafetaleras. (en línea). Santa Tecla, SV. Consultado el 30 de oct. 2010. Disponible en: <http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Estadisticas.htm>

Rayner, BA.1977. Contribuciones del IICA al conocimiento de la roya del cafeto. Micología, historia y biología de la roya del cafeto. Ed. PG Sylvain. San José, CR. IICA. v.1, 68p.

Rayner, RW. 1972. Micología Historia y Biología de la roya del cafeto. Editora Bayer A. G. Departamento Fitosanitario. Alemania Occidental. Pág. 104-200.

Rivillas Osorio, CA; *et al.* (2011). La roya del café en Colombia. Impacto, y costos del control. Ed. CENICAFE. S M Marín. Chinchiná, CO. 51p.

Schierber, E. 1975. Situación actual de la roya del cafeto en América latina. Ed. IICA. Guatemala, GT. 37p.

SNET. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 2012. Información del clima, humedad relativa y temperatura mensual. (Correo electrónico).San Salvador, SV. (e-mail: [raraujo@marn.gob.sv](mailto:raraujo@marn.gob.sv))

Subero, L. s.f. La roya del café. (En línea). Consultado el 19 de Feb. 2011. Disponible en: <http://infocafes.com/descargas/biblioteca/136.pdf>

Velasco S. 2011. Quintal de café incrementa \$107 a nivel internacional. El Mundo. San Salvador, SV. feb. 28:48.

Zambolim, L. Parizzi. P. Matsuoka. K; Xavier, F; Valle, R; Chaves, GM. 1995. Sarna pulverulenta da batata. Fitopatologia.Brasileira.20:5-12.

# 8. Anexos

Cuadro A-1. Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de bajo en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012.

MES	Precipitación (ml)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Hojas viejas	Total de Hojas (Cientos)	Incidencia	Severidad
Mayo	38	26.21	70.73	33	133.2	3	3.5
Junio	257	25.71	77.15	19	178.4	1.58	1.67
Julio	327	23.94	87.59	52	208.6	4.58	5.17
Agosto	402	24.22	87.03	8	258.5	0.67	1.5
Septiembre	256	24.01	89.3	1	259.6	1.08	1.42
Octubre	688	23.15	89.45	0	243.6	3.58	11.5
Noviembre	36	22.86	79.61	0	246.3	12.9	38.1
Diciembre	0	22	75.9	0	23.63	40.8	142
Enero	2	23.21	70.65	0	198.1	140	846
Febrero	0	23.92	68.97	0	160.6	67.2	420
Marzo	5	24.8	65.1	0	110.2	58.3	185
Abril	7	25.26	69.14	0	79.8	37.9	122

Cuadro A-2. Valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitiológico de la enfermedad desarrollados para la finca de bajo.

MES	ABCPI	ABCPS	T
MAYO	68.7	77.55	30
JUNIO	92.4	102.6	60
JULIO	78.75	100	90
AGOSTO	26.25	43.8	120
SEPTIEMBRE	69.7	193.8	150
OCTUBRE	247.2	744	180
NOVIEMBRE	805.5	2702	210
DICIEMBRE	2712	14820	240
ENERO	3108	18990	270
FEBRERO	1882.5	9075	300
MARZO	1443	4605	330
ABRIL	568.5	1830	360

T: Tiempo en días acumulados

Cuadro A-3. Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de bajo, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012.

MES	LN INC	LN SEV
MAYO	5.806138	5.651486
JUNIO	6.446638	6.395262
JULIO	5.380735	5.260347
AGOSTO	7.312553	6.500789
SEPTIEMBRE	6.826629	6.558031
OCTUBRE	5.627872	4.453842
NOVIEMBRE	4.336236	3.229151
DICIEMBRE	3.158696	1.798093
ENERO	1.813906	1.706768
FEBRERO	2.631049	0.324826
MARZO	2.782996	1.48228
ABRIL	3.23371	1.969741

LN INC: Logaritmo Natural de la Incidencia

LN SEV: Logaritmo Natural de la Severidad

Cuadro A-4. Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de media altura en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012.

Mes	Precipitación (ml)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Hojas viejas	Total de hojas (cientos)	Incidencia	Severidad
Mayo	165	25.34	68.82	341	164.5	6.5	7.583
Junio	302	24.96	79.38	147	231.6	4.417	4.833
Julio	588	23.22	86.33	102	219	7.75	9.833
Agosto	335	23.97	83.13	58	226.6	22.08	44.08
Septiembre	132	23.32	87.24	90	239.9	41.92	133.8
Octubre	552	22.93	86.41	0	206.1	69.92	330.9
Noviembre	10	23.07	72.89	0	182.6	85.67	455.8
Diciembre	0	21.59	72.09	0	126.1	72	609.3
Enero	0	22.46	70.88	0	72.9	51.67	743.8
Febrero	0	23.05	68.31	0	63.1	42.92	252.6
Marzo	17	23.98	64.9	0	49.3	29.58	140.5
Abril	73	24.3	68.87	0	29.9	12.5	38.17

Cuadro A-5. Valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitiológico de la enfermedad desarrollados para la finca de media altura.

MES	ABCPI	ABCPS	T
MAYO	166	187	30
JUNIO	183	220	60
JULIO	448	809	90
AGOSTO	960	2672	120
SEPTIEMBRE	1677	6975	150
OCTUBRE	2334	11805	180
NOVIEMBRE	2366	15975	210
DICIEMBRE	1856	20295	240
ENERO	1419	14955	270
FEBRERO	1088	5910	300
MARZO	632	2688	330
ABRIL	285	671	360

T; Tiempo en días acumulados

Cuadro A-6. Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de media altura, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012.

MES	LN INC	LN SEV
MAYO	5.529734	5.374922
JUNIO	6.260303	6.169971
JULIO	5.640419	5.401379
AGOSTO	3.790601	3.076589
SEPTIEMBRE	3.129251	1.868201
OCTUBRE	2.58797	0.704042
NOVIEMBRE	2.367731	0.177128
DICIEMBRE	2.556366	0.444511
ENERO	2.909893	1.065551
FEBRERO	3.10463	1.084882
MARZO	3.490514	1.811143
ABRIL	4.369448	3.226879

LN INC: Logaritmo Natural de la Incidencia

LN SEV: Logaritmo Natural de la Severidad

Cuadro A-7. Niveles de incidencia y severidad de la enfermedad y los factores ambientales suscitados en la finca de estricta altura en el periodo de mayo de 2011 a abril de 2012.

Mes	Precipitación (ml)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Hojas viejas	Total de Hojas (cientos)	Incidencia	Severidad
Mayo	90	25.55	76.69	72	33.91	5.25	6.00
Junio	243	25.10	82.19	52	36.74	3.41	4.33
Julio	481	23.76	85.76	16	35.75	1.42	1.42
Agosto	379	24.37	83.63	16	38.27	1.33	1.33
Septiembre	350	24.12	86	43	36.03	3.67	6.25
Octubre	929	23.22	86.43	0	37.72	1.58	3.17
Noviembre	29	23.79	74.55	0	35.43	1.33	1.75
Diciembre	0	22.58	73.28	0	35.49	4.50	7.83
Enero	0	23.55	72.28	0	36.98	7.42	14.67
Febrero	5	24.01	74.25	0	34.7	3.75	7.08
Marzo	0	24.73	66.63	0	37.61	3.33	5.67
Abril	11	24.83	73.38	0	33.45	1.17	1.50

Cuadro A-8. Valores de Área Bajo la Curva de Progreso de la Incidencia y Severidad (ABCPI y ABCPS) del comportamiento epifitiológico de la enfermedad desarrollados para la finca de estricta altura.

MES	ABCPI	ABCPS	T
MAYO	126	154	30
JUNIO	73	86	60
JULIO	41	41	90
AGOSTO	75	114	120
SEPTIEMBRE	79	141	150
OCTUBRE	44	74	180
NOVIEMBRE	87	144	210
DICIEMBRE	179	338	240
ENERO	168	326	270
FEBRERO	106	191	300
MARZO	67	108	330
ABRIL	96	112	360

T: Tiempo en días acumulado.

Cuadro A-9. Tasa de infección aparente de la incidencia y severidad de la epidemia de roya del café, en la finca de estricta altura, durante los meses de mayo de 2011 a abril de 2012.

MES	LN INC	LN SEV
MAYO	5.244263	5.109978
JUNIO	5.675667	5.437075
JULIO	6.558031	6.558031
AGOSTO	6.618739	6.618739
SEPTIEMBRE	5.604799	5.068904
OCTUBRE	6.446638	5.751904
NOVIEMBRE	6.618739	6.346388
DICIEMBRE	5.399168	4.841503
ENERO	4.896581	4.207403
FEBRERO	5.582242	4.942902
MARZO	5.700444	5.167471
ABRIL	6.752437	6.500789

LN INC: Logaritmo Natural de la Incidencia

LN SEV: Logaritmo Natural de la Severidad

Cuadro A-10. Cantidad de frutos registrados en junio y en noviembre dentro del mismo ciclo de producción en cada categoría de finca y sección del árbol.

Detalle/categoría y sección		INICIO				FINAL			
		Alta	Media	Baja	Total	Alta	Media	Baja	Total
Bajío	Nudos Fructíferos	204	164	95	<b><u>463</u></b>	178	187	89	<b><u>454</u></b>
	Cantidad de Frutos	760	392	109	<b><u>1261</u></b>	565	519	155	<b><u>1239</u></b>
Media	Nudos Fructíferos	318	390	166	<b><u>874</u></b>	287	202	138	<b><u>627</u></b>
	Cantidad de Frutos	1627	1153	439	<b><u>3219</u></b>	1298	567	382	<b><u>2247</u></b>
Estricta	Nudos Fructíferos	147	40	49	<b><u>236</u></b>	97	71	29	<b><u>197</u></b>
	Cantidad de Frutos	192	40	49	<b><u>281</u></b>	241	175	51	<b><u>467</u></b>

Figura A-1. Esquema de muestreo para cada parcela (finca)



Figura A-2. Muestreo en cada árbol, en su parte baja, media y superior.

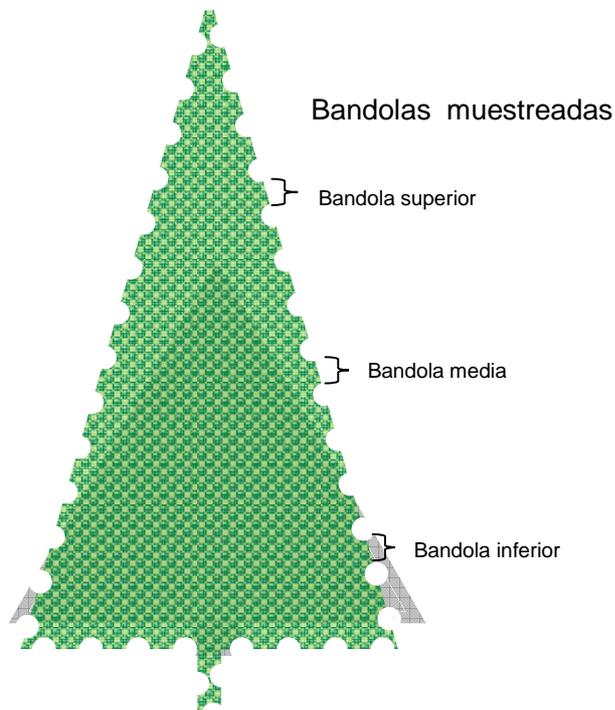


Figura A-3. Vista superior de sección de bandolas de café muestreadas en cada sección del árbol.

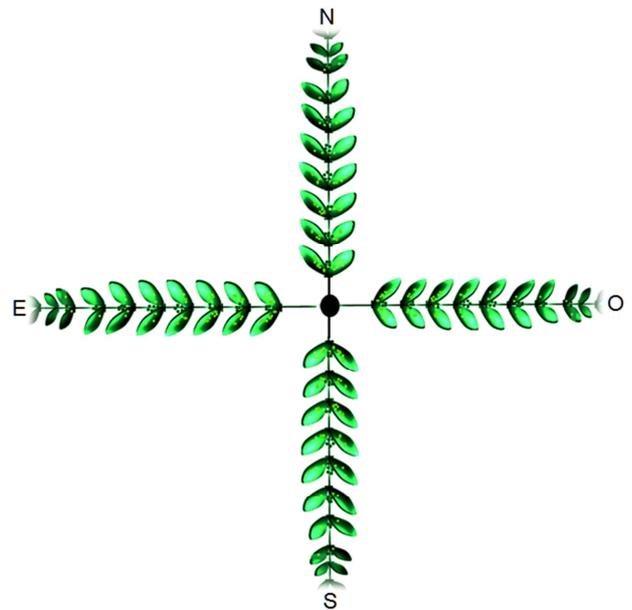


Figura A-4. Forma de muestreo en las bandolas.

