

**Universidad Nacional Agraria  
Facultad de Agronomía  
Escuela de Sanidad Vegetal  
Departamento de Fitopatología**

**Trabajo de Diploma**

**Estudio epidemiológico de la roya del café  
y su efecto sobre la producción  
en la zona norte de Nicaragua,  
ciclo 1992-93**

**Autor: Hiparco Loáisiga Gutiérrez**

**Presentado a la consideración del Honorable Tribunal  
Examinador como requisito para optar al grado de  
Ingeniero Agrónomo**

**Managua, Diciembre de 1993**

## DEDICATORIA

A LAS TRES GRANDES MUJERES QUE HAN ESTADO  
EN LOS MOMENTOS MAS IMPORTANTES DE MI VIDA...

A MIS HERMANAS Y TODA MI FAMILIA...

## AGRADECIMIENTOS

A mi mama, Norma Gutiérrez; a la tita, Beatriz Gutiérrez; y a la Cocó, Socorro Izaguirre; por el apoyo constante e incondicional en todos los ámbitos de mi vida y porque han acompañado y guiado mis decisiones y aspiraciones.

Al Ph. D. David Monterroso y a la Ing. M.Sc. Yanet Gutiérrez, por su orientación, apoyo y asesoría, así como por motivar, directa e indirectamente, confianza y aliento en los momentos difíciles.

A mis compañeros y amigos, Gustavo Martínez y Ernesto González, que participaron en este trabajo, y su ayuda fue fundamental en determinadas etapas de la investigación.

Al Ing. Guillermo Somarriba, por la ayuda que me brindó, que resultó ser de gran utilidad en la realización y presentación del escrito y en el incremento de mis conocimientos.

Al proyecto MIP-CATIE que brindó todo el apoyo logístico necesario para la realización de este estudio en todas sus fases.

A la Escuela de Sanidad Vegetal de la UNA, por el uso del Centro de Computos, lo que permitió la conclusión rápida de este trabajo.

## INDICE

Sección	Página
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Indice.....	iii
Indice de Cuadros.....	vi
Indice de Figuras.....	ix
Resumen.....	xi
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>8</b>
1. UBICACION DE LAS FINCAS, CARACTERIZACION Y ORGANIZACION DEL MUESTREO.....	8
1.1 Ubicación y caracterización general de fincas.....	8
1.2 Organización del muestreo y diseño experimental..	8
1.3 Selección de las variables y recolección de los datos.....	10
2. APLICACION DE TRATAMIENTO.....	11
3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	12
3.1 Correlación de las variables incidencia y severidad.....	12

3.2 Comparación de las epidemias a nivel de patosistemas.....	12
3.2.1 Descripción del efecto simple y acumulado.....	12
3.2.2 Cálculo de las tasas de incremento de la incidencia por estratos y por etapas.....	13
3.3 Intervención de las precipitaciones en el desarrollo de la epidemia.....	14
3.4 Relación del Manejo Agronómico con el desarrollo de la epidemia.....	15
3.5 Evaluación de los daños y relación con el rendimiento.....	15
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>17</b>
1. CORRELACION DE LAS VARIABLES INCIDENCIA Y SEVERIDAD.....	17
2. COMPARACION DE LAS EPIDEMIAS.....	19
2.1 Comportamiento Simple y efecto de acumulación de la Epidemia (1992-93).....	19
2.2 A nivel de estratos.....	27
3. INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES.....	31
4. MANEJO AGRONOMICO DEL CULTIVO.....	36
5. LA DEFOLIACION.....	41
5.1 Relación entre la defoliación y la roya.....	43
5.2 En los estratos.....	46
5.3 Comparando la defoliación con la incidencia simple y acumulada.....	51

6. COMPARACION GENERAL ENTRE CICLOS	
(1991-92 vs 1992-93).....	55
7. LA ROYA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO.....	60
7.1 Los lotes de Evaluación Experimental	
(lotes B).....	60
7.2 Aplicación de tratamiento.....	61
7.3 Correlación entre la roya y la producción.....	63
8. COMPARACION DE LOS METODOS DE ESTIMACION.....	67
8.1 Diferencias entre los lotes utilizados.....	67
8.2 COMPARACION DE LOS RESULTADOS.....	68
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CITADA.....</b>	<b>73</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características de las tres fincas en estudio.....	9
2. Coeficientes de correlación entre las variables incidencia y severidad.....	18
3. Valores de las variables en las tres fincas y su relación con La Pintada.....	25
4. Variables en las tres etapas de la epidemia en las tres fincas en estudio.....	26
5. Intervalos de confianza y valores de las $r$ para la incidencia ( $\alpha= 0.05\%$ ).....	27
6. Parámetros de la incidencia de las epidemias registradas en las tres fincas en estudio.....	28
7. Intervalos de confianza y valores de las $r$ de la incidencia para las epidemias a nivel de los estratos ( $\alpha=0.05\%$ ).....	30

8. Coeficientes de correlación entre las precipitaciones y la incidencia acumulada (%).....	32
9. Manejo Agronómico en las fincas muestreadas.....	37
10. Promedios de hojas presentes en los diferentes períodos en las tres fincas.....	41
11. Defoliación registrada en cada finca durante la presencia de la enfermedad.....	43
13a. Coeficientes de Correlación y Regresión en La Pintada entre hojas con roya y hojas presentes.....	49
13b. Coeficientes de correlación y Regresión en La Pintada entre Incidencia de la enfermedad y hojas presentes.....	49
14. Coeficientes de Correlación y Regresión durante todo el muestreo y en el período de manifestación de la enfermedad en La Fundadora.....	50
15. Coeficientes de Correlación y Regresión durante la presencia de la enfermedad en La Laguna.....	50
16. Relación entre variables (ciclo 91-92 vs ciclo 92-93).....	56

17. Variables de la incidencia (%) registrada en los lotes experimentales.....61

18. Coeficientes de correlación entre 0.20 y 0.35 en los lotes experimentales en las tres fincas en estudio.....64

19. Coeficientes de correlación entre 0.35 y 0.47 en los lotes del muestreo aleatorio en las tres fincas en estudio.....65

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Curvas de Severidad Simple en las tres fincas en estudio.....	20
2. Curvas de la Incidencia Simple en las tres fincas en estudio.....	21
3. Efecto acumulativo de la incidencia en las tres fincas en estudio.....	23
4. Efecto de acumulación final y promedio cada 2 semanas de la incidencia de la roya del café.....	24
5. Incidencia máxima y final por estratos en La Pintada.....	29
6. Efecto de acumulación y precipitaciones en las tres fincas en estudio.....	35
7. Incidencia simple y manejo agronómico en las tres fincas en estudio.....	40
8. Curvas de hojas con roya y hojas presentes en tres fincas en estudio.....	45

9. Curvas de incidencia simple, incidencia acumulada  
y hojas presentes en las tres fincas en estudio.....54

## RESUMEN

Se estudió el comportamiento de las epidemias de roya en el ciclo 1992-93 en la zona norte de Nicaragua, así como sus diferencias respecto al ciclo 1991-92; el efecto de las precipitaciones sobre el desarrollo de las epidemias; la relación entre la enfermedad y la defoliación, y el efecto de la enfermedad sobre la producción en un ciclo de estudio, comparando métodos para la estimación de la relación roya-café.

Se seleccionaron lotes colindantes en tres fincas ubicadas en la zona norte. En uno de los lotes se realizó un muestreo aleatorio por conglomerados, utilizando 15 plantas en un período de muestreo que duró 7 meses (un muestreo cada 2 semanas). Se registró cada dos semanas el número de nudos, nudos con frutos, hojas presentes, incidencia y severidad; además se registró la precipitación acumulada cada dos semanas, y el manejo agronómico realizado durante el período de muestreo. Este lote fue utilizado para la descripción de las epidemias y la comparación con los datos del ciclo 1991-92. Un segundo lote, colindante al anterior, se sometió a un diseño experimental de Parcelas Apareadas, donde se registraron las mismas variables, pero en lugar del número de nudos con frutos se registraron el número de frutos por bandola. Este último lote fue utilizado exclusivamente para la comparación con el lote del muestreo aleatorio por conglomerados.

La epidemia comenzó a desarrollarse entre octubre y noviembre, alcanzando niveles bajos durante todo el muestreo, sus valores máximos se registraron en febrero. El inóculo residual tuvo un efecto importante en el desarrollo de la epidemia en el presente ciclo. Las precipitaciones moderadas determinaron el período adecuado para el desarrollo de la epidemia. La incidencia resultó ser un parámetro adecuado para la descripción de la epidemia. El desarrollo de la epidemia coincidió con el período de defoliación natural del café; la incidencia de la enfermedad influye considerablemente en la intensidad de ese fenómeno. La comparación entre ciclos demostró que la importancia de la enfermedad varía de un ciclo a otro, ya que los niveles de la incidencia y defoliación disminuyeron considerablemente. Los métodos estudiados mostraron que no hay un efecto negativo tangible de la roya sobre la producción del mismo ciclo de estudio de la incidencia. El muestreo aleatorio por conglomerados resultó ser un método práctico y sencillo, por lo tanto más adecuado para este tipo de estudio.

## INTRODUCCION

El café (Coffea arabica L) es considerado como el primer producto agrícola de exportación, y ocupa, después del petróleo, el segundo lugar en el comercio mundial. El café constituye una de las ocupaciones agrícolas más importantes sobre la cual se basa la economía de más de 50 países según Chouler (1972), citado por Becker (1987).

Según el Banco Mundial (1992), citado por Marengo y Acevedo (1993), la producción de café en Nicaragua representa el 30.09% de las exportaciones de productos tradicionales. Además en el país existen alrededor de 28,000 productores y 170,000 familias que dependen directamente del café.

Desde su aparición, la roya del café ha sido considerada como la enfermedad más importante del cafeto y una de las más devastadoras a nivel mundial (Kranz et al, 1972). Esta enfermedad es causada por el hongo Hemileia vastatrix Berk y Broome de la familia Puccinaceae perteneciente al orden Uredinales de la subclase Heterobasidiomycetes, clase Basidiomycetes de los Hongos Superiores (Agrios, 1991). Son evidentes los efectos negativos, que esta enfermedad causa sobre el rendimiento del cultivo, por ataques sucesivos e intensos. En Ceylán la enfermedad se reportó por primera vez en 1869 y en 1873 su presencia estaba totalmente generalizada (Rayner, 1972).

En Nicaragua, país centroamericano donde el café es uno de los principales cultivos generadores de divisas, esta enfermedad se presentó por primera vez en 1976 (INTA-GTZ, 1977). En este país la manera más generalizada de combatir esta enfermedad es el uso de productos químicos, pero el éxito de ese método algunas veces es limitado por razones de carácter práctico y económico. Una alternativa al uso de fungicidas es la utilización de variedades resistentes (Barbosa & Wigers, 1990); sin embargo, la labor de reemplazar las variedades susceptibles se dificulta debido a la propiedad que tiene la roya de producir nuevas razas capaces de atacar en algunos casos, a las variedades consideradas como resistentes (INTA-GTZ, 1977).

La reducción sobre el rendimiento que las enfermedades causan en los cultivos que atacan varía desde porcentajes mínimos hasta pérdidas de un 100% (Agrios, 1991). Aún con el uso de las actuales formas de manejo (químicos, variedades) no es posible mantener libre de la enfermedad el cultivo, debido a que muchas aplicaciones tienen una orientación preventiva o se practican demasiado tarde, sin considerar el comportamiento de las epidemias. Según Van Der Plank (1963) "la industria química y el mejoramiento genético han proporcionado buenas tácticas de control, pero sólo la epidemiología brinda la estrategia".

Muchas de las enfermedades no son estudiadas con frecuencia, ya que ha prevalecido la opinión de realizar la lucha contra el

patógeno siempre en su nivel máximo y aunque la enfermedad cause reducciones, sólo ocasionalmente se consideran un tema de vital importancia. Así, se ha orientado la investigación hacia un grupo de enfermedades, consideradas de particular interés por la importancia del cultivo al que atacan, por la agresividad del patógeno y porque en algún momento de la historia de la agricultura han causado verdaderas catástrofes. La roya es una de esas enfermedades de efectos catastróficos, que destruyeron todos los cafetales del sureste asiático entre 1870 y 1880 (Dickinson & Lucas, 1987; Agrios, 1991). Bajo tales consideraciones en Nicaragua se ha dado mayor énfasis a estudios sobre la roya y sólo hasta hace poco se han realizado estudios epidemiológicos de ésta y otras enfermedades (Vásquez, 1992; Somarriba, 1992; Mendoza 1993; Marengo y Acevedo, 1993).

La enfermedad afecta principalmente el área foliar y raras veces el pecíolo o el fruto. Se han reportado algunos casos aislados de frutos atacados por Hemileia, pero en la especie Coffea liberica. No existe evidencia de que el hongo ataque directamente al fruto de Coffea arabica, siendo su principal perjuicio el efecto defoliador que produce, que lleva, en casos extremos, a un agotamiento progresivo e incluso la muerte de la planta, como sucedió en Ceylán donde las condiciones eran favorables para el desarrollo de fuertes epidemias. En países donde se siembra el café actualmente la enfermedad es menos seria y con poca frecuencia

se ven estados de agotamiento (Rayner, 1973). Nicaragua puede considerarse como uno de esos países, ya que desde la aparición de la roya hace 17 años no se han reportado efectos realmente devastadores en el cultivo.

Trabajos como el de Abbay (1878), han tratado de encontrar esa relación entre la enfermedad y la reducción consecuente de la cosecha; él presentó promedios trianuales, los que demostraban que la producción decrecía marcadamente (Rayner, 1973). Esto lleva a pensar que la reducción del rendimiento por causa de esta enfermedad no es tangible en un solo ciclo de estudio y que sólo un estudio de la epidemiología y los rendimientos durante al menos tres ciclos consecutivos llevarían a estimar con bastante precisión el grado de reducción producido por la enfermedad. Para calcular la reducción del rendimiento por una enfermedad se debe comparar con el rendimiento potencial de ese cultivo libre de esa enfermedad, lo cual generalmente es difícil de conseguir (French & Hebbert, 1980).

Según los registros de la CONCAFE no se han elaborado trabajos que hicieran un intento de determinar reducciones en el rendimiento del cultivo a causa de la roya en Nicaragua. De esta manera cualquier intento al respecto constituye un punto de partida para llegar a resultados más precisos que determinen la importancia de esta enfermedad en Nicaragua.

En las diferentes formas de control de la enfermedad se encuentran métodos alternativos, como la inducción de resistencia producida por Bacillus thuringiensis, bacteria que ha sido probada a nivel de laboratorio e invernadero. Roveratti y Moraes (1986- datos no publicados), citados por Moraes (1987) determinaron la capacidad de inducir resistencia e inhibir la germinación de las uredosporas por parte de la bacteria. Lara y Guharay (1992), realizaron estudios en Nicaragua sobre el efecto de la bacteria en invernadero, encontrando excelentes resultados de protección sobre las plantas de café. Su utilización en nuestro trabajo es principalmente causar variación en la incidencia de la enfermedad, para obtener plantas con mayor incidencia y plantas con menor incidencia, lo cual, indirectamente, serviría para probar preliminarmente su acción en el campo.

El hecho de que las bajas de la cosecha no sean perceptibles no quiere decir que la enfermedad no provoque tal reducción sino que es una enfermedad que muestra sus efectos de forma acumulada, al producir ataques sucesivos al follaje en ciclos productivos (años) consecutivos. Avelino et al (1991), encontraron en un primer intento de evaluación que la reducción sobre los rendimientos del cultivo no tenían una relación directa con la roya, al menos en el primer ciclo estudiado.

Es incuestionable que la roya contribuye directamente en la defoliación del café. Si se considera que cada nudo con sus hojas

funcionales constituye una pequeña unidad productiva en la bandola y que al perder esas hojas prematuramente, dicho nudo será improductivo, consecuentemente la defoliación reducirá los rendimientos en el cultivo. En tal sentido, se hace necesario realizar estudios que lleven a despejar esa incógnita del efecto negativo que la roya causa sobre los rendimientos del cultivo. Estudios hechos durante 2 ó 3 años podrían ser vitales para determinar tal efecto. En este trabajo se propone hacer un primer intento de encontrar reducciones del rendimiento a causa de la roya en la zona norte de Nicaragua, considerando la epidemiología como la mejor estrategia que permite el estudio de las enfermedades, sin pretender dar conclusiones definitivas sobre el tema; sino para elaborar argumentos que permitan comparar y seleccionar métodos de estimación.

## OBJETIVOS

1. Estudiar el desarrollo de la "roya del cafeto" (Hemileia vastatrix Berk & Br) bajo condiciones de campo.
2. Estimar el efecto de las precipitaciones sobre el desarrollo de la enfermedad.
3. Estimar la relación de la enfermedad sobre la defoliación.
4. Estimar las variaciones del comportamiento de la enfermedad del ciclo 1991-92 al ciclo 1992-93 en tres diferentes localidades.
5. Estimar la relación de la enfermedad sobre la cosecha en un ciclo de estudio.

## MATERIALES Y METODOS

### 1. UBICACION DE LAS FINCAS, CARACTERIZACION Y ORGANIZACION DEL MUESTREO

#### 1.1 Ubicación y caracterización general de las Fincas

Se seleccionaron 3 fincas en la VI Región del país; La Pintada y La Laguna en Matagalpa y La Fundadora en Jinotega. Las características de las fincas se describen en el cuadro 1.

#### 1.2 Organización del Muestreo y Diseño Experimental

Se tomaron en cada finca dos lotes próximos entre sí, para evaluar las diferencias entre un muestreo aleatorio por conglomerados en un lote de comportamiento (lote A), antes y durante el desarrollo de la epidemia, y un ensayo realizado con un diseño experimental de Parcelas Apareadas (lote B) cuando la epidemia ya estuviera desarrollándose.

El muestreo aleatorio por conglomerados se hizo en un área limitada dentro de un lote (lote A), la cual incluía 50 surcos de 50 metros cada uno. Se seleccionaron al azar 5 surcos y una planta dentro de cada uno de ellos, se tomaron las 2 plantas posteriores a la seleccionada para formar 5 conglomerados (sitios) de 3 plantas cada uno. En estos lotes se muestrearon un total de 15 plantas.

**Cuadro 1. Características de las tres fincas en estudio.**

<b>FINCA</b>	<b>LAGUNA</b>		<b>PINTADA</b>	<b>FUNDADORA</b>	
<b>LOTES</b>	<b>EL PUEENTE</b>	<b>LA NARANJA</b>	<b>EL RECUERDO</b>	<b>EL FONSECA</b>	<b>LA NARANJA</b>
<b>ALTITUD (msnm)</b>	850		1,050	2,000	
<b>NIVEL * TECNOLÓGICO</b>	SEMI TECNIFICADO		SEMI-TECNIFICAD	TECNIFICADO	
<b>AREA (Ha)</b>	4.9	3.5	2.28	2.8	4.2
<b>VARIEDAD</b>	CATURRA ROJO		CATUAI ROJO	CATUAI ROJO Y AMARILLO	
<b>EDAD</b>	15 AÑOS (RE-CEPO A 6 AÑOS)		11 AÑOS	9 AÑOS	
<b>DISTANCIA DE SIEMBRA (mt)</b>	1.68 x 1.26		2.4 x 0.75	2.58 x 1.9	2 x 1
<b>DENSIDAD</b>	4,724 PTAS/HA		5,555 P/HA	2,040	5,000
<b>PENDIENTE</b>	30%	45%	20%	20%	30%
<b>SOMBRA</b>	30% (Hi, He, Gu)		45% (Ci, Gu, Gt)	10% (Ci, He, Gt)	55% (Mu, Gt, Ci)

Gt= Guanacaste  
 Gu= Guaba  
 Hi= Higuierilla  
 He= Helequeme  
 Mu= Musáceas  
 Ci= Cítricos

\* Según definición del Banco Nacional de Desarrollo para conceder préstamos a los productores (Simán, 1991; citado por Vásquez, 1992).

En un lote colindante (lote B) al mencionado anteriormente se realizó un diseño de Parcelas Apareadas. Se limitó un área de 45 surcos con 20 plantas cada uno. Esta área fué dividida en 3 grandes bloques, dentro de cada uno de los cuales se limitaron pequeñas parcelas de 5 surcos, dispuestas en el siguiente orden: Parcela Tratada(PT)-Parcela no Tratada(PNT)-Parcela Tratada(PT). Dentro de las parcelas se tomaron 3 plantas consecutivas de la parte central. En cada lote se seleccionaron un total de 36 plantas distribuidas de forma continua, siguiendo el patrón de la ubicación de los bloques y parcelas.

En ambos lotes (A y B) cada planta se dividió en tercios (estratos), seleccionándose dentro de cada uno de estos 2 bandolas, para un total de 6 bandolas en cada planta, ubicadas de la manera siguiente:

- bandolas 1 y 2 en el estrato superior,
- bandolas 3 y 4 en el estrato medio,
- bandolas 5 y 6 en el estrato inferior,

Se orientaron las impares hacia el norte y las pares hacia el sur.

### **1.3 Selección de las variables y recolección de los datos**

La toma de los datos se hizo cada 2 semanas, a partir del 9 de julio de 1992 hasta el 4 de febrero de 1993, registrándose las variables siguientes:

- Número de nudos por bandola,

- Número de hojas por bandola,
- Incidencia (%) por bandola, dada por N° de Hojas enfermas sobre N° de hojas presentes por 100  $(NHR/NHP) \times 100\%$ ,
- Severidad (%) por bandola, tomada visualmente,
- Precipitación,
- Número de nudos con frutos (Lote A),
- Número de frutos por bandola (Lote B).

Se utilizó un pluviómetro en cada finca, y se registraron datos del manejo agronómico (fertilización, aplicaciones de fungicidas y herbicidas) durante el período de muestreo.

## **2. APLICACION DE TRATAMIENTO**

En el lote B se hicieron aplicaciones de Bacillus thuringiensis a las parcelas tratadas (PT). De esta forma se pretendía causar variaciones en la incidencia de la enfermedad sobre las plantas que se encontraban en las PT, en relación a la incidencia sobre las plantas de las PNT, para provocar diferencias en el efecto que causaría la enfermedad sobre el cultivo. El tratamiento no fue aplicado con la intención de sugerir manejo, sino como elemento que provocara variación y como prueba preliminar de un producto biológico de control alternativo en el campo. En estos lotes el muestreo no fue periódico y se inició una vez que la enfermedad ya se encontraba en el campo, procediendo a la aplicación cuando se encontrara un 8% de incidencia simple.

### **3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.1 Correlación de las variables incidencia y severidad**

Para comprobar el grado de asociación, ya expresado por otros autores, se hizo correlación entre estas variables. La correlación fue hecha con los datos de incidencia simple vs severidad simple y transformados a lógitos de la incidencia vs lógitos de la severidad.

#### **3.2 Comparación de las epidemias a nivel de patosistemas**

##### **3.2.1 Descripción del efecto simple y acumulado**

A partir de las curvas simples y acumuladas obtenidas de los datos del muestreo aleatorio por conglomerados en los lotes A, particularmente durante la fase de la epidemia, se seleccionaron algunas variables que permitieran una comparación directa entre las epidemias en las tres fincas; tales variables fueron:

- Fecha inicial de la epidemia,
- Cantidad inicial de la enfermedad ( $X_0$ ),
- Máximo valor alcanzado ( $X_{max}$ ),
- Tiempo en que alcanzó  $X_{max}$ ,
- Cantidad final de la enfermedad,
- Acumulado final de la enfermedad,
- Promedios acumulados c/2 semanas,

- Acumulación final de la enfermedad,
- Duración de la epidemia.

Además de relacionar las epidemias en el período de muestreo señalado, se hicieron comparaciones con las epidemias en el ciclo anterior (91-92) para establecer similitudes y diferencias en tiempo y espacio. La comparación y los análisis fueron hechos utilizando algunas variables de la epidemia en ambos ciclos.

### 3.2.2 Cálculo de las tasas de incremento de la incidencia por estratos y por etapas.

Se usaron los valores de la incidencia en la fase de la epidemia. A partir de la curva simple se obtuvo la curva acumulada, cuyos valores fueron transformados a lógitos,  $\text{Ln}(x/(1-x))$ , para formar las curvas linearizadas, donde  $x$  es la proporción de tejido enfermo y  $1-x$  la proporción de tejido sano, susceptible a la enfermedad.

Las tasas de crecimiento se calcularon por medio de siguiente ecuación (Van Der Plank, 1963):

$$r = (1/(t_2 - t_1)) * (\text{Ln}(x_2/(1-x_2)) - \text{Ln}(x_1/(1-x_1))), \text{ donde}$$

$r$  = tasa de incremento de la enfermedad.

$t_2 - t_1$  = diferencia de tiempo entre dos fechas de muestreo.

$x_1$  = proporción de la enfermedad en un tiempo  $t_1$ .

$x_2$  = proporción de la enfermedad en un tiempo  $t_2$ .

El valor de la pendiente, tangente del ángulo de inclinación de la curva linearizada, constituye la tasa de incremento quincenal para cada epidemia. Para calcular las tasas de incremento por etapas, se consideraron tres fases (Zadoks, 1979):

- Fase exponencial, hasta un 5% de acumulación;
- Fase logística, del 5% hasta 50%;
- Fase terminal, más del 50%.

Las  $r$  permiten comparaciones estadísticas globales entre fincas y entre estratos de una misma finca. Se consideraron iguales las  $r$  cuyos intervalos se traslaparon, a un nivel de confianza del 95%.

### **3.3 Intervención de las precipitaciones en el desarrollo de la epidemia.**

Se tomó como variable independiente la precipitación acumulada cada 2 semanas y como variable dependiente los valores acumulados de la incidencia. Con estas variables y utilizando el programa LOTUS, se hizo una regresión simple, para obtener el coeficiente de correlación entre ellas, tomando los valores de la variable independiente 4,3,2,1 y 0 quincenas antes del valor de la variable dependiente. Se consideró influyente la precipitación sobre la enfermedad cuando el coeficiente de correlación alcanzó valores mayores a 0.70.

### **3.4 Relación del Manejo Agronómico con el desarrollo de la epidemia.**

Se relacionaron los momentos en que fueron realizados los diferentes eventos del manejo (químico, mecánico) con las curvas de frecuencia simple de la incidencia de la enfermedad. Se determinó la influencia que dichos eventos tuvieron sobre el desarrollo de la epidemia.

### **3.5 Evaluación de los daños y relación con la producción.**

Se hicieron análisis de regresión simple entre los valores de hojas con roya e incidencia (variables independientes) y los valores de la curva de hojas presentes como variable dependiente. Se consideró la Roya como causa de defoliación en los casos donde el coeficiente de correlación fuera mayor o igual a 0.70 con un coeficiente de regresión negativo.

Se realizaron análisis de regresión simple para relacionar el efecto de la epidemia sobre la producción. Se tomaron cuatro variables de la enfermedad como variables independientes:

-El valor máximo de la incidencia (**x max**);

-Un coeficiente de importancia de la enfermedad (**CIE**), dado por el área bajo la curva de hojas con roya sobre el área bajo la curva de hojas presentes (**abCHR/abCHP**);

-El área bajo la curva de la incidencia (**abCI**); y

-La tasa de incremento ( $r$ ).

Se consideraron las siguientes variables de producción:

**-número y peso de granos** a nivel de planta y bandola.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Solamente La Pintada presentó una epidemia verdadera con sus tres fases, no así La Laguna y La Fundadora, y cuando en el escrito se menciona "epidemia", al referirse a estas fincas, debe entenderse que se presentó la enfermedad pero no se registraron niveles que definen las tres fases de una epidemia verdadera (Zadoks, 1979).

### 1 CORRELACION DE LAS VARIABLES INCIDENCIA Y SEVERIDAD

Al hacer un análisis de regresión entre estas dos variables se pudo constatar que efectivamente existe un coeficiente de correlación altamente significativo. Mendoza (1993), en un trabajo sobre estimadores para el estudio epidemiológico de enfermedades foliares del café, sugiere el uso de la incidencia por su correlación con la severidad y porque es un estimador práctico y fácil de usar en el campo. En el cuadro 1 se puede apreciar que los coeficientes de correlación entre las variables simples no fueron menores que 0.90, y entre las transformaciones de estas a lógitos puede decirse que los coeficientes fueron casi perfectos. Por tal razón, la descripción del comportamiento y los análisis en general, están basados en la incidencia considerándola un parámetro adecuado y sencillo.

**Cuadro 2. Coeficientes de Correlación entre las variables incidencia y severidad.**

	PINTADA	FUNDADORA	LAGUNA
SEVERIDAD VS INCIDENCIA (SIMPLE)	0.97	0.91	0.97
SEVERIDAD VS INCIDENCIA (LOGITOS)	0.98	1.00	1.00

## 2 COMPARACION DE LAS EPIDEMIAS

### 2.1 Comportamiento Simple y efecto de acumulación de la Epidemia (1992-1993).

Las epidemias en las tres fincas iniciaron en las fechas y con los niveles siguientes (Figuras 1 y 2):

-La Pintada el 29 de octubre de 1992, con 0.16% de incidencia y 0.005% de severidad.

-La Fundadora el 12 de noviembre de 1992, con 0.24% de incidencia y 0.038% de severidad.

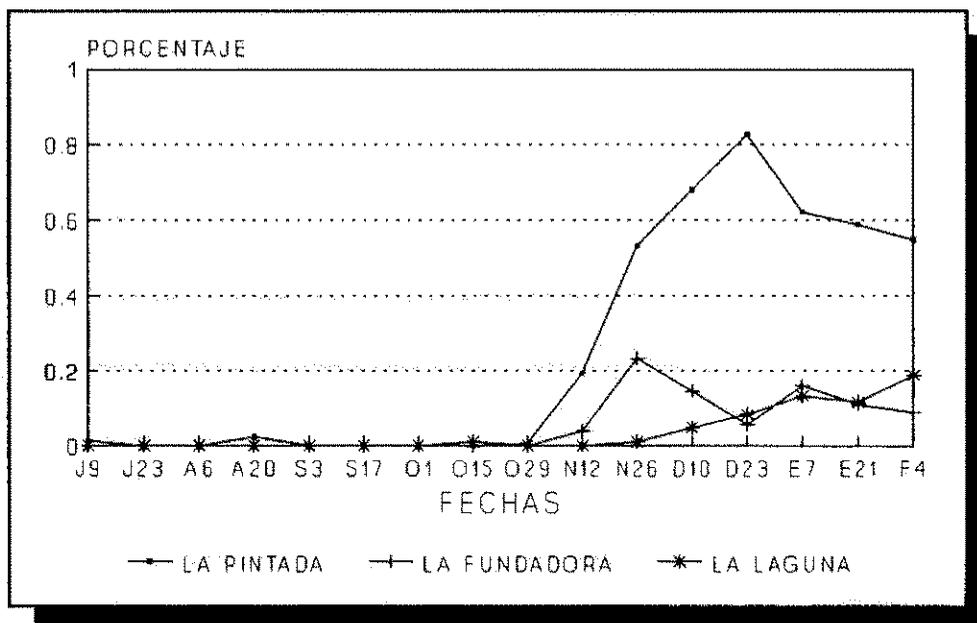
-La Laguna el 26 de noviembre de 1992, con 0.22% de incidencia y 0.011% de severidad.

Considerando que el muestreo fue suspendido el 4 de febrero de 1993, la duración de las epidemias registradas para cada finca es la siguiente:

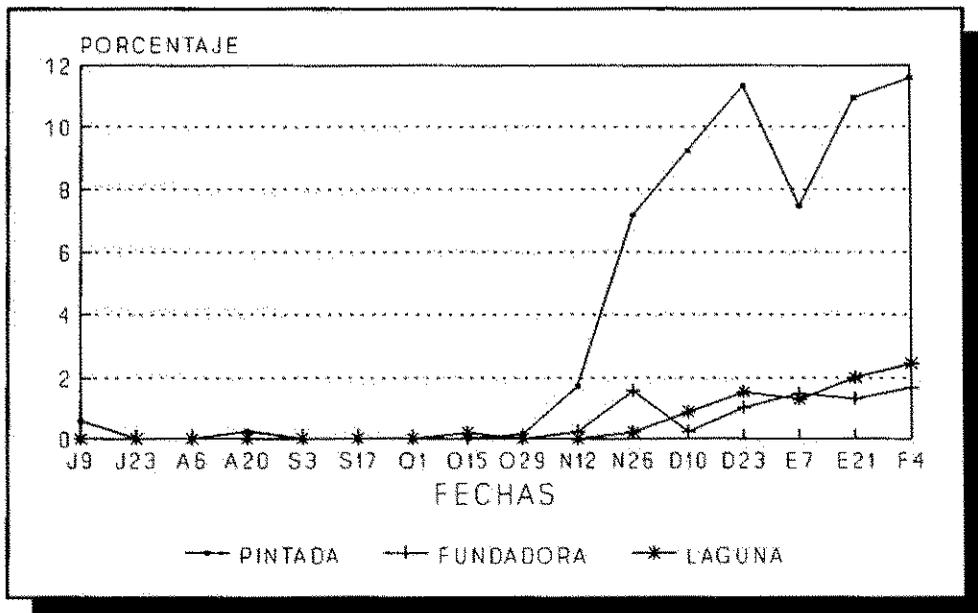
- La Pintada 14 semanas,
- La Fundadora 12 semanas, y
- La Laguna 10 semanas.

La Pintada fue la única finca que presentó porcentajes mayores de incidencia y severidad en los primeros meses del muestreo (julio-agosto), antes de iniciarse la epidemia en octubre 29 (Figuras 1 y 2). Esto confirma el comportamiento en esa misma finca encontrado por Vásquez (1992) durante el ciclo 1991-1992.

Por tal razón La Pintada puede ser considerada como caso especial al presentar condiciones que le permiten conservar cantidades de inóculo capaces de reproducir verdaderas epidemias en el ciclo productivo siguiente. Es necesario un seguimiento particular al manejo y condiciones que afectan La Pintada, con el objetivo de precisar en un tercer ciclo el comportamiento de la epidemia y las repercusiones sobre el rendimiento del cultivo. Mayne (1930), Bock (1962) y Chalfoun (1980) expresan que la cantidad de inóculo residual, así como su virulencia y agresividad en la fase de menor incidencia, tienen un efecto sobre la intensidad de la enfermedad durante la siguiente epidemia (Becker, 1987).



**Figura 1. Curvas de Severidad Simple en las tres fincas en estudio.**



**Figura 2. Curvas de Incidencia Simple en las tres fincas en estudio.**

En todos los casos el valor máximo de enfermedad se registró en la última fecha de muestreo. Es decir, que los períodos entre el valor inicial y el valor máximo de la incidencia son iguales a la duración de la epidemia para todas las fincas.

El aumento proporcional desde el valor inicial hasta el valor máximo y final expresado en cada finca fueron:

- La Pintada de 0.15% (inicial) a 11.6% (final), tuvo un aumento proporcional de 77 veces, 11 veces c/2 semanas;
- La Fundadora, de 0.24% a 1.6%, 7 veces, 1 vez c/2 semanas;
- La Laguna, de 0.22% a 2.44%, 11 veces, 2 veces c/2 semanas.

La Pintada tuvo un efecto acumulativo de 60.48% de incidencia durante todo el período, desde la primera aparición de la

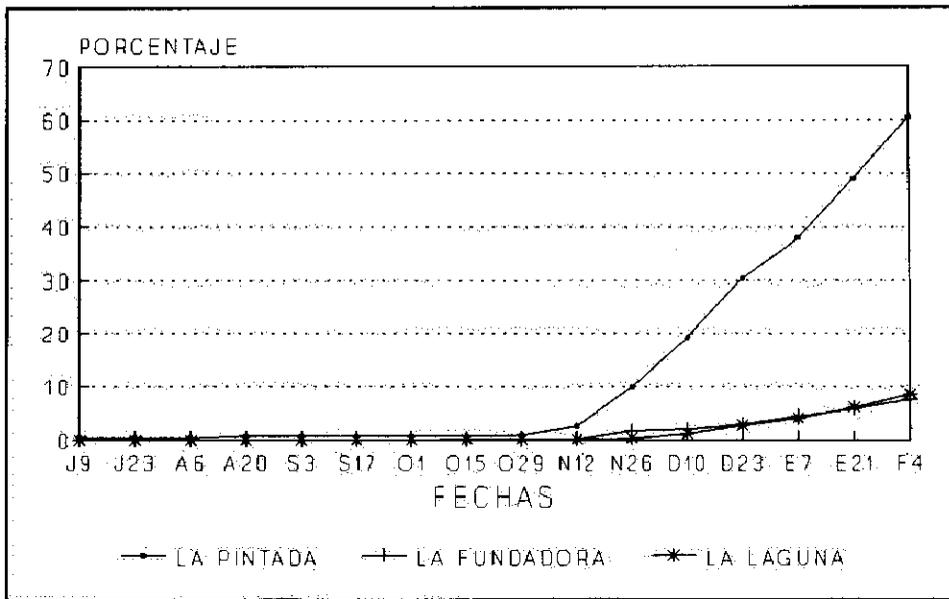
enfermedad hasta la última fecha de muestreo. La Fundadora apenas acumuló 8.54% y La Laguna 8.59% (Figura 3).

Los resultados confirman que el comportamiento en La Fundadora y La Laguna no puede ser considerado como epidemias verdaderas. La Pintada es la única que mantiene valores que andan por el 10% de incidencia en los últimos muestreos (dic 10 - feb 4), valores que se reprodujeron después de la primera acumulación aproximada al 10% (nov 26). Una vez que la enfermedad acumula un 10% en su incidencia se mantiene el efecto en lecturas posteriores, al menos similares a ésta, si no se realiza un manejo oportuno y adecuado (figura 3), coincidiendo con los resultados obtenidos por Vásquez (1992), quien sugiere que cuando los promedios de enfermedad rebasan el 10% durante los últimos meses del año y no se realiza algún tipo de control, es difícil detener el avance de la enfermedad en los meses posteriores.

La primera acumulación de 10% en la incidencia puede ser considerado como "Momento Crítico de Manejo" (Monterroso, comunicación personal<sup>1</sup>). El manejo en este momento evitaría acumulaciones similares y sucesivas que potencialmente podrían presentarse posteriormente, y la posibilidad de altos valores de incidencia que pudieran causar mayor impacto en la producción futura de la planta.

---

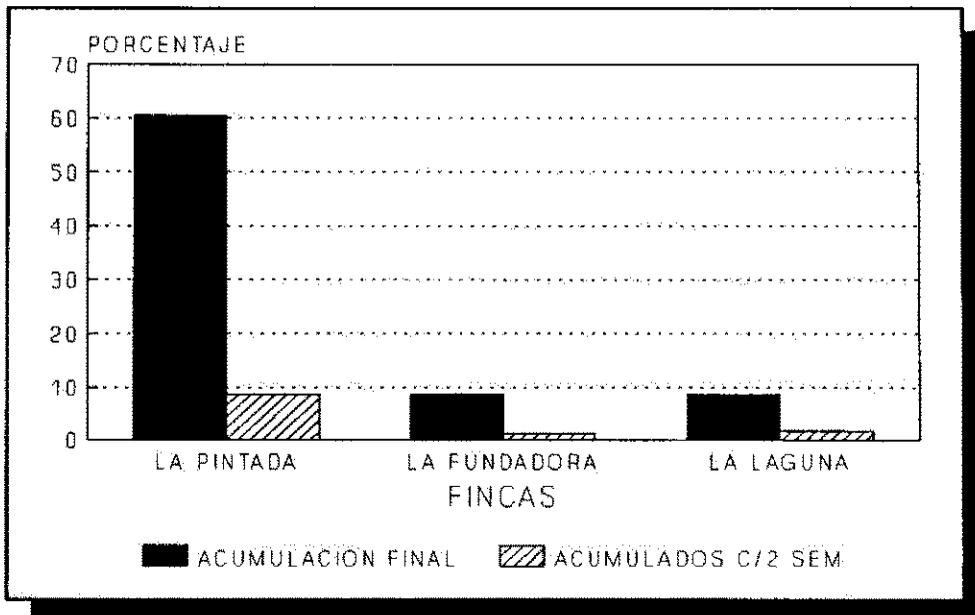
<sup>1</sup>Ph. D. David Monterroso, Fitopatólogo Proyecto CATIE-MAG/MIP



**Figura 3. Efecto acumulativo de la incidencia en las tres fincas en estudio.**

Considerando el tiempo de duración de la epidemia y el efecto acumulativo de la incidencia en cada finca, los promedios de acumulación c/2 semanas fueron (Figura 4):

- 8.6% en La Pintada,
- 1.42% en La Fundadora, y
- 1.72% en La Laguna.



**Figura 4. Efecto de acumulación final y promedio cada 2 semanas de la incidencia de la roya del café.**

La mayor importancia de la epidemia registrada en La Pintada sobre las epidemias de La Fundadora y La Laguna, se puede apreciar con facilidad al comparar los siguientes parámetros: duración de la epidemia, niveles de incidencia, efecto de acumulación final y efecto acumulativo promedio c/2 semanas. Los parámetros de la enfermedad registrados en La Fundadora y La Laguna se encuentran multiplicados hasta 7 veces en La Pintada como es el caso del efecto de acumulación final y sus promedios c/2 semanas (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Valores de las variables en las tres fincas y su relación con La Pintada**

VARIABLES	LA PINTADA		LA FUNDADORA		LA LAGUNA	
	VALOR	RELAC	VALOR	RELAC	VALOR	RELAC
DURACION (X 2 SEMANAS)	7	1	6	1.17	5	1.4
EFFECTO ACUM. FINAL (%)	60.48	1	8.54	7.08	8.59	7.03
ACUM.C/2 SEM.	8.6	1	1.42	6	1.72	5
X MAX	11.6	1	1.66	6.99	2.44	4.75

En el cuadro 4 puede observarse esa diferencia entre la epidemia ocurrida en La Pintada respecto a La Fundadora y La Laguna. Aunque un poco tarde La Pintada es la única que presenta las tres fases de la epidemia, una fase inicial (exponencial) corta con una  $r$  (tasa de crecimiento) mayor que en las otras dos fincas, lo que le permitió iniciar la segunda fase (logística) en menor tiempo, y cuando en La Laguna y La Fundadora se iniciaba la exponencial.

Entre La Laguna y La Fundadora se puede ver efectivamente que la epidemia fue más importante en la primera con una fase inicial más corta. Aunque la epidemia se presentó primeramente en La Fundadora, ambas fincas iniciaron la fase logística al mismo tiempo y finalmente se produjo mayor efecto acumulativo de la incidencia en La Laguna.

**Cuadro 4. Variables en las tres etapas de la epidemia en las tres fincas en estudio**

Variablen	Pintada	Fundadora	Laguna
Inicio de F1	oct. 29	nov.12	nov. 26
Duración de F1	4 semanas	8 semanas	6 semanas
r de la F1	0.94	0.72	0.79
Inicio de F2	nov. 26	ene. 7	ene. 7
Duración de F2	8 semanas	-	-
r de F2	0.67	-	-
Inicio de F3	ene. 21	-	-
Duración de F3	-	-	-
r de F3	-	-	-

F1= Fase exponencial      F3=Fase terminal  
 F2= Fase logística

Aunque es notoria la diferencia entre las variables registradas en La Pintada con respecto a La Fundadora y La Laguna, se puede ver en el Cuadro 5 que los intervalos de las tasas de crecimiento entre todas ellas se traslapan. Por tal razón, se consideran estadísticamente similares en las tasas de incremento de la enfermedad, aunque difieren en las demás variables mencionadas. El amplio rango de los intervalos puede estar influido principalmente por un bajo número de observaciones (16 en total, cada 2 semanas) y un pequeño número de unidades de muestreo (15 plantas), permitiendo fácilmente el traslape entre fincas. De esta forma la r no debe usarse como un comparador estadístico, sino simplemente como un velocímetro de la enfermedad (Somarriba, 1992).

**Cuadro 5. Intervalos de Confianza y valores de las r para la incidencia ( $\alpha=0.05\%$ ).**

<b>FINCAS</b>	<b>LIM. INFERIOR</b>	<b>r</b>	<b>LIM. SUPERIOR</b>
LA PINTADA	0.578	0.70	0.822
LA FUNDADORA	0.315	0.51	0.704
LA LAGUNA	0.457	0.59	0.723

## **2.2 A nivel de estratos**

Según el Cuadro 6 la enfermedad no mostró una tendencia definida en los estratos. Aunque se puede observar una inclinación a los estratos medio e inferior, en los cuales las variables adquirieron mayores niveles. Vásquez (1992) al comparar el efecto de acumulación final en los estratos encontró una tendencia de mayor acumulación hacia el estrato inferior seguido por el medio y finalmente el superior. En el presente estudio esa tendencia no se repite de una finca a otra. Por ejemplo, mientras La Pintada muestra un efecto de acumulación en el orden EM>ES>EI, en La Fundadora aparece EI>EM>ES y en La Laguna ES>EM>EI.

**Cuadro 6. Parámetros de la incidencia de las epidemias registradas en las tres fincas en estudio.**

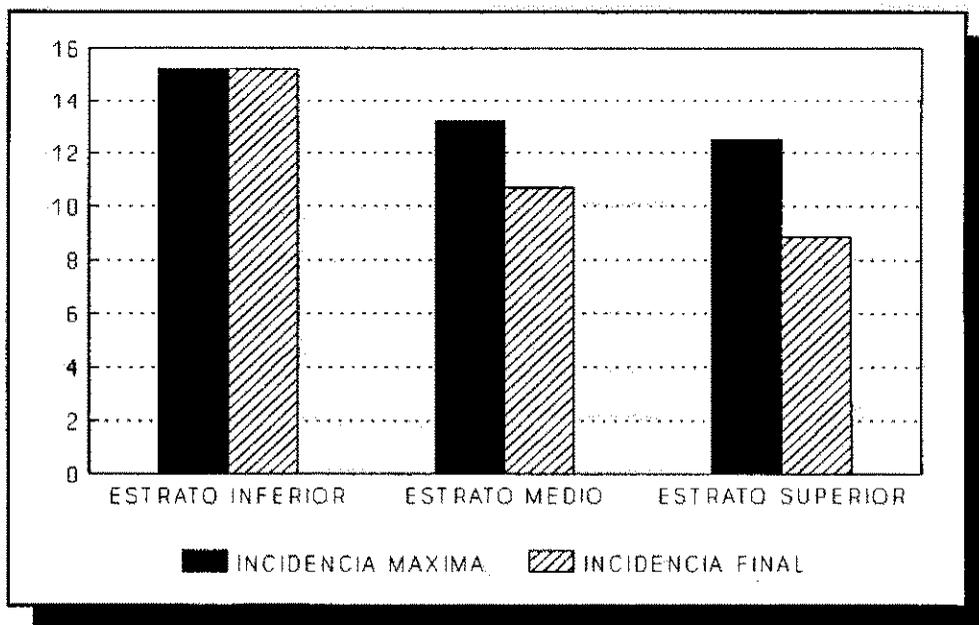
	<b>Pintada</b>	<b>Fundadora</b>	<b>Laguna</b>
Fecha inicio de la Epidemia E.S.	nov. 12	nov. 26	nov. 26
X inicial E.S.	2.38	1.28	0.67
X máxima E.S.	12.53	2.22	2.76
Tiempo en que alcanzó X máxima E.S	6 semanas	10 semanas	2 semanas
X final E.S.	8.85	2.22	1.74
Acumulación Final E.S.	57.96	8.54	9.36
Estado Final E.S.	Descenso	Ascenso	Ascenso
Fecha inicio de la Epidemia E.M.	nov. 12	nov. 26	dic. 10
X inicial E.M.	0.83	1.88	0.65
X máxima E.M.	13.20	1.95	4.63
Tiempo en que alcanzó X máxima E.M	6 semanas	10 semanas	8 semanas
X final E.M.	10.71	1.95	4.63
Acumulación Final E.M.	66.19	4.93	8.50
Estado Final E.M.	Descenso	Ascenso	Ascenso
Fecha inicio de la Epidemia E.I.	oct. 29	nov. 12	dic. 10
X inicial E.I.	0.48	0.73	0.28
X máxima E.I.	15.23	2.44	4.54
Tiempo en que alcanzó X máxima E.I	14 semanas	6 semanas	6 semanas
X final E.I.	15.23	0.83	0.97
Acumulación Final E.I.	57.29	11.08	7.93
Estado Final E.I.	Ascenso	Descenso	Descenso

E.S.= Estrato Superior

E.M.= Estrato Medio

E.I.= Estrato Inferior

En el caso de X máxima y X final, en La Pintada (epidemia verdadera) se puede observar esa tendencia  $EI > EM > ES$ , coincidiendo plenamente con lo reportado por Vásquez en 1992 (Figura 5). Este comportamiento es posible apreciarlo en esta finca, ya que ésta fue la única finca en mostrar una epidemia con sus diferentes fases.



**Figura 5. Incidencia máxima y final por estratos en La Pintada.**

El Cuadro 7 muestra en cuanto a la tasa de incremento de la enfermedad en los diferentes estratos, que ésta se puede considerar similar al producirse de forma general un traslape entre sus intervalos de confianza. Este comportamiento coincide con el reportado por Vásquez en 1992.

**Cuadro 7. Intervalos de Confianza y valores de r de la incidencia para las epidemias a nivel de los estratos ( $\alpha= 0.05\%$ )**

	LIM. INF.	r	LIM. SUP.
PINTADA E.S.	0.454	0.613	0.772
PINTADA E.M.	0.553	0.704	0.854
PINTADA E.I.	0.528	0.586	0.651
FUNDADORA E.S.	0.354	0.389	0.424
FUNDADORA E.M.	0.090	0.186	0.282
FUNDADORA E.I.	0.332	0.456	0.580
LAGUNA E.S.	0.294	0.460	0.626
LAGUNA E.M.	0.344	0.480	0.616
LAGUNA E.I.	0.710	0.905	1.100

**E.S.= Estrato Superior**

**E.M.= Estrato Medio**

**E.I.= Estrato Inferior**

### 3. INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES

La influencia de las precipitaciones sobre el desarrollo de la enfermedad ya ha sido mencionada por muchos autores, entre ellos Alfonsi, Bock, Galves y Santacreo; citados por Oseguera (1991); quien afirma que la precipitación es una de las variables que mejor explica el desarrollo de la roya.

Según el cuadro 8 la mayor correlación entre la incidencia acumulada y las precipitaciones se produce de 3 a 4 pares de semanas de anticipación de las precipitaciones con respecto al desarrollo de la epidemia. Sólomente La Laguna presenta un coeficiente significativo y positivo, lo que confirma lo expresado por Oseguera (1991).

En la mayoría de los casos los coeficientes son significativos pero negativos. Esto no quiere decir que necesariamente las precipitaciones, como tal, tengan un efecto negativo sobre la enfermedad. Si se considera que las cantidades de precipitación que precedieron al inicio de la epidemia fueron mayores que las registradas durante la presencia de la misma, y que además las precipitaciones precedentes fueron disminuyendo hasta llegar a precipitaciones moderadas, se puede decir que las altas precipitaciones no favorecen al hongo y que en la medida que éstas disminuyen permiten posteriormente el desarrollo de la epidemia.

**Cuadro 8. Coeficientes de Correlación entre las Precipitaciones y la Incidencia Acumulada (%).**

PAR SEMANAS ANTICIPADAS	FINCAS		
	LA PINTADA	LA FUNDADORA	LA LAGUNA
0	0.008	-0.061	0.199
1	-0.029	0.026	0.738
2	-0.676	0.674	0.065
3	-0.729	-0.858	-0.530
4	-0.678	-0.705	-0.679
5	-0.651	-0.489	-0.730

Si se observa la gráfica 6 puede apreciarse que el desarrollo de la epidemia se relaciona con precipitaciones moderadas (octubre-febrero), iniciando en todos los casos al final de las precipitaciones intensas. Aunque en La Pintada se presentaron pequeñas cantidades de enfermedad en dos ocasiones anteriores a la epidemia, el desarrollo de ésta se produjo hasta que las precipitaciones fueron crecientes pero en menor cantidad (octubre-enero). Según Becker (1987) las lluvias fuertes y prolongadas eliminan parte del inóculo y tienen un efecto negativo sobre la enfermedad. Además Souza (1980), citado por Becker (1987), afirma que la lluvia es el factor limitante en la germinación de las esporas, influye en su dispersión e indirectamente en otros factores ambientales.

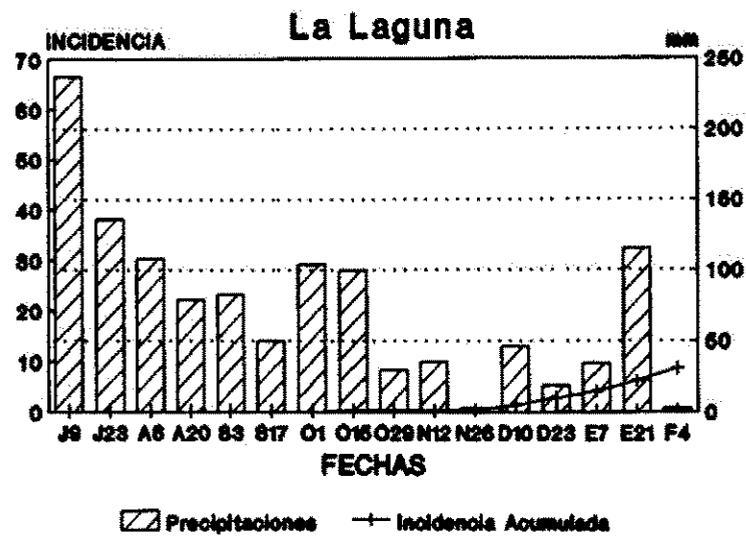
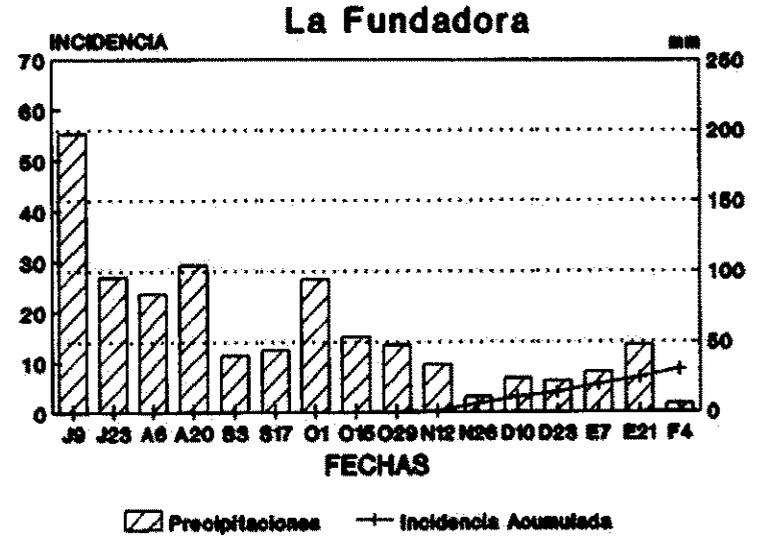
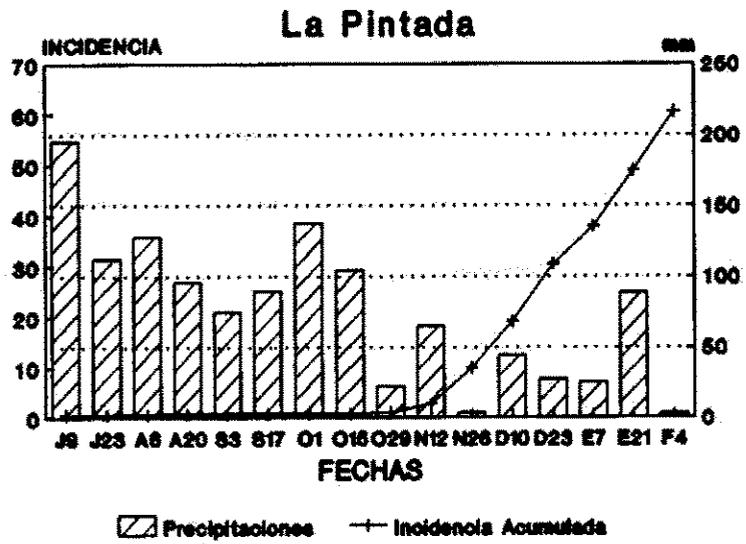
Santacreo et al, citados por Oseguera (1991), encontraron que precipitaciones y temperaturas de 15°-20°C producían un incremento en la curva epidemiológica de 1 a 2.5 meses después del inicio de las mismas. Un análisis con el uso exclusivo de las precipitaciones no permite determinar el efecto del ambiente sobre el comportamiento de la epidemia, pero se puede reconocer el desarrollo estacional de la enfermedad y el efecto simple de las lluvias sobre ésta. Waller (1987) afirma que el desarrollo y diseminación de la enfermedad está limitado a la época lluviosa.

En todas las fincas se presentaron rangos similares de precipitaciones, por lo que se puede decir que éste no es el principal factor climático que actuó sobre las epidemias, ya que los niveles de éstas fueron muy diferentes entre fincas. A partir de nov. 12 la distribución de las precipitaciones fue similar para La Pintada y La Laguna, pero los niveles de la epidemia fueron totalmente diferentes (Figura 6).

Se requiere necesariamente de la temperatura para analizar el efecto del clima sobre el comportamiento de la epidemia. El uso exclusivo de las precipitaciones para el análisis no permite encontrar esa relación del clima sobre la enfermedad.

La enfermedad se ve favorecida en los meses de lluvias moderadas que permiten la presencia de la película de agua líquida, sobre la superficie foliar, necesaria para la germinación de las

esporas. Durante los meses de precipitaciones intensas no se produjo un desarrollo de la epidemia, ya que las mismas habrían servido para lavar el inóculo.



**Figura 6. Incidencia acumulada y precipitaciones en las tres fincas en estudio**

#### 4. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO

Las actividades predominantes en las tres fincas fueron la fertilización y el control de malezas. Como puede verse en el cuadro 9, el principal problema fueron las malezas, particularmente en La Fundadora y La Laguna, donde se hicieron dos aplicaciones de herbicidas y un control mecánico (chapia). En La Pintada el problema de malezas fue mínimo, limitándose a la práctica de chapia una sola vez.

La fertilización fue practicada igual número de veces en las tres fincas, diferenciándose en la época y los fertilizantes utilizados. Puede decirse que la fertilización ejerció un efecto positivo sobre el cultivo, ya que le facilitó los principales nutrientes como son el nitrógeno, fósforo, magnesio y boro que causan las deficiencias más graves en la planta (Manual del Cafetalero Colombiano, 1979; citado por Becker, 1987) y además fueron realizadas previamente al desarrollo de las epidemias y al inicio de las mismas.

Las enfermedades fungosas siguieron en importancia a la fertilización y las malezas en las tres fincas en estudio, realizándose solamente una aplicación en cada finca. En todos los casos se utilizó oxiclóruo de cobre dirigido al control de la roya en La Fundadora y al control de la mancha de hierro en La Pintada y La Laguna.

**Cuadro 9. Manejo Agronómico en las fincas muestreadas**

mes	sem	La Pintada	La Fundadora	La Laguna
Julio	4ta	Reducción de sombra		
Agost	1ra	Chapia		
	2da			Fungicida: oxiclورو de cobre 2.04 Kg/ha
	3ra		Caseo	Herbicida: Gramoxone 2 lt/ha
	4ta	Fungicida: oxiclورو de cobre 3.9 Kg/ha	Fertilización: Urea 46% 5 qq/ha	Fertilización y Caseo Urea 46% 3.6 qq/ha + 18-6-12-4-2 7.2 qq/ha
Sept	2da			
Oct	1ra		Herbicida: Gramoxone 2 lt/ha+ 2,4-D 1 lt/ha+ 0.24 lt de agral/ha	
	2da	Caseo		
	3ra	Fertilización: Urea 46% 5 qq/ha		Fertilización igual a la primera semana de agosto
Nov	1ra		Herbicida igual a primera semana de octubre	
	2da	Fertilización igual a tercera semana octubre	Caseo y Fertilización igual cuarta sem. agosto	Herbicida igual a tercera semana de agosto
Dic	1ra		Chapia	
	2da		Fungicida: oxiclورو de cobre 2 kg/ha	

En La Pintada se realizó una aplicación de oxiclورو de cobre en la cuarta semana de agosto (Figura 7). Esto tuvo un efecto positivo de protección sobre el cultivo, al reducir a cero la presencia de la enfermedad en las siguientes cuatro fechas del muestreo (sept 3 - oct 15). Antes de la aplicación la incidencia era de 0.25%, pasando a cero hasta octubre 29, fecha en que la epidemia inicia con un 0.16%. En este momento de baja incidencia de la enfermedad donde se encuentra una cantidad mínima de inóculo residual y la presión de la enfermedad es más baja, las aspersiones

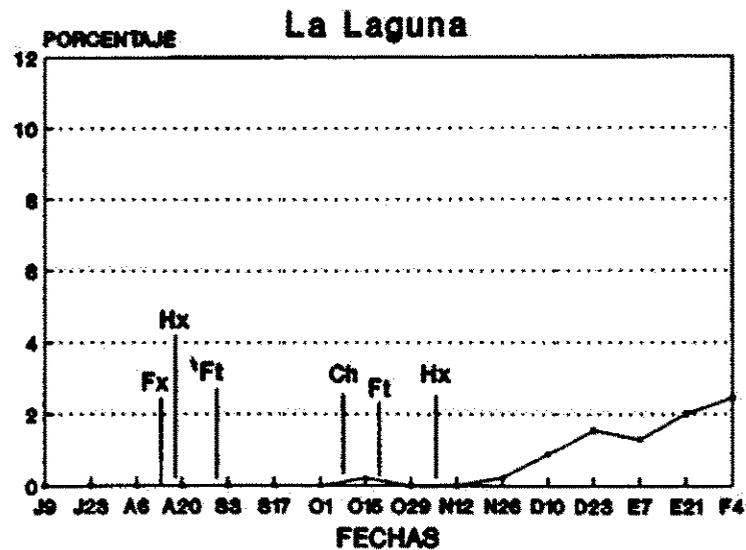
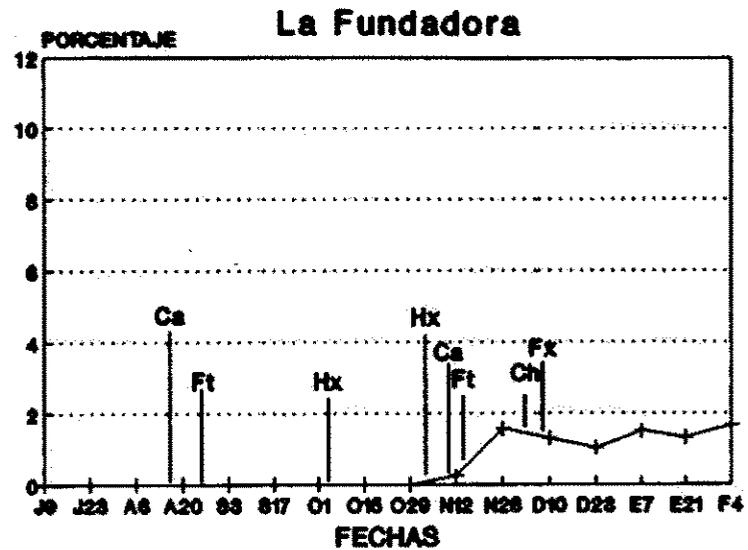
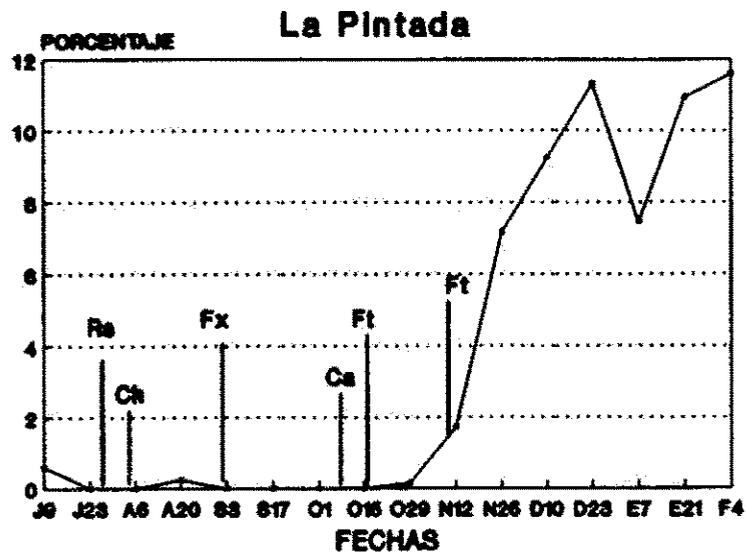
de fungicidas resultan adecuadas porque reducen el potencial de inóculo (Fulton, 1984; citado por Becker, 1987; Navas).

En La Fundadora y La Laguna la presencia de la enfermedad fue mínima, y sólo en la primera se hizo una aplicación de oxiclورو de cobre con la intención de reducir la roya en la segunda semana de diciembre, momento en el cual la enfermedad apenas había alcanzado 1.56% de incidencia, pasando después de la aplicación a 1.29% y 1.03% en las siguientes dos fechas respectivamente. En los siguientes muestreos la enfermedad no excedió 1.56% inicial, sino hasta el último muestreo (feb 4) con 1.66%.

La Laguna fue la última finca en iniciar la epidemia (nov 26), presentando niveles mayores que La Fundadora, debido posiblemente a la no aplicación de fungidas durante el desarrollo de la misma. A pesar de no haberse realizado aplicaciones en La Laguna puede verse que la roya no adquirió niveles epidémicos, incluso al final del muestreo (feb 4).

Se puede decir que la aplicación de fungidas cuando la enfermedad se encuentra a bajos niveles puede resultar impráctica, ya que no se conoce con certeza el comportamiento posterior de la enfermedad. Así, en La Laguna sin haberse realizado aplicación alguna durante el desarrollo de la enfermedad, ésta se mantuvo en niveles bajos hasta el final del muestreo. En La Fundadora, aunque

la enfermedad se encontraba en un nivel bajo se realizó una aplicación, la cual mantuvo la incidencia por debajo del 2%. En esta aplicación no se consideraron los bajos niveles, sino la presencia (aparentemente) de "muchísima enfermedad", por lo cual dicha aplicación pudo haber resultado innecesaria, más si se compara su similitud con La Laguna donde las condiciones (p.e. sombra) son más propicias.



Ca= caseo      Fx= fungioida  
 Ch= chapia     Hx= herbicida  
 Ft= fertilizante    Ra= reducción de sombra

**Figura 7. Incidencia y manejo agronómico en las tres fincas en estudio**

## 5. LA DEFOLIACION

En todas las fincas muestreadas se observó una disminución del número de hojas presentes en los últimos meses del año 1992. Esto coincide con lo encontrado por Vásquez (1992), que reporta una reducción de la cantidad de hojas en un 50% en los períodos para cada epidemia, iniciándose en los últimos meses del año, y coincidiendo con el período de defoliación natural del cultivo. Además encontró que el inicio del período de defoliación coincide con el inicio del desarrollo de las epidemias de roya.

Tanto en La Pintada como en La Laguna la caída de los valores promedios de hojas ocurre a partir del desarrollo de la epidemia. En La Fundadora los promedios de hojas presentes son menores antes del período de aparición de la enfermedad y mayores durante dicho período; ocurriendo lo contrario a lo expresado en las otras fincas (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Promedios de hojas Presentes en los diferentes períodos en las tres fincas**

	<b>PINTADA</b>	<b>FUNDADORA</b>	<b>LAGUNA</b>
<b>GENERAL *</b>	7.64	8.96	7.45
<b>PRECAIDA</b>	8.48 a	9.05 c	7.82 g
<b>CAIDA</b>	6.87 b	8.70 d	6.83 h
<b>PREENFERMEDAD</b>	8.48 a	8.87 e	7.82 g
<b>ENFERMEDAD</b>	6.87 b	9.09 f	6.83 h

(\*) jul. 9 - feb. 4

(a) jul. 9 - oct. 15

(b) oct. 23 - feb. 4

(c) jul. 9 - dic. 10

(d) dic. 23 - feb. 4

(e) jul. 9 - oct. 23

(f) nov. 12 - feb. 4

(g) jul. 9 - nov. 12

(h) nov. 26 - feb. 4

Durante el período de la epidemia se observa una disminución del área foliar, si se observa el número de hojas del muestreo previo a la manifestación de la enfermedad, con respecto al número de hojas registrado en el último muestreo. A pesar de que el número de hojas sigue el orden Laguna>Pintada>Fundadora la epidemia fue mayor en La Pintada, seguida por La Laguna y La Fundadora. Esto no confirma lo expresado por Zadoks y Schein (1979), en cuanto al mayor éxito de la enfermedad al disponer de mayor cantidad de sustrato (hojas), lo que ellos denominan como "conquista del espacio".

La Pintada fué la más afectada por la defoliación con un 37.97%, seguida por La Laguna con 17.11% y finalmente La Fundadora con 13.67% (Cuadro 11). Vale la pena recordar que la incidencia simple y acumulada siguen el mismo orden de importancia mencionado en las fincas anteriormente. El efecto acumulativo de la incidencia en La Pintada fue 60.48%, 8.59% en La Laguna y 8.54% en La Fundadora, existiendo una clara relación entre la presencia de la enfermedad y la defoliación, lo cual es más evidente en el caso de La Pintada.

**Cuadro 11. Defoliación registrada en cada finca durante la presencia de la enfermedad**

	<b>PINTADA</b>	<b>FUNDADORA</b>	<b>LAGUNA</b>
<b>HPI</b>	8.48	7.89	9.22
<b>HPF</b>	5.26	6.54	7.96
<b>DIFERENCIA</b>	3.22	1.35	1.26
<b>PORCENTAJE</b>	37.97	17.11	13.67

HPI= Hojas Presentes al Inicio de la enfermedad  
 HPF= Hojas Presentes al final de la enfermedad

### 5.1 Relación entre la defoliación y la roya

Los análisis mostraron que la relación directa entre la roya y la defoliación, está mejor explicada por el uso de parámetros simples como la incidencia y/o el número de hojas con roya (HR) como variables independientes contra el número de hojas presentes (HP) como variable dependiente. Es decir, que el estudio de los efectos causados por la enfermedad requiere de parámetros sencillos como la incidencia, o simplemente el número de individuos afectados.

Los coeficientes de correlación más altos se obtuvieron utilizando la incidencia como variable independiente contra HP. Al correlacionar los promedios de HR contra HP se obtienen coeficientes significativos en las fincas muestreadas, lo que afirma que sin necesidad de transformación alguna es posible determinar la relación roya-defoliación, que puede apreciarse en la

disminución sucesiva de la curva HP a medida que la curva de HR va en aumento (Figura 8).

Se ha dicho que la epidemia alcanzó sus más altos niveles de incidencia en La Pintada, donde es posible apreciar con toda claridad el descenso de la curva HP a medida que se incrementan los niveles de la epidemia. En La Pintada, por la regularidad de sus curvas simples, se puede afirmar que la roya es un factor importante en la defoliación, por la presencia de una curva de HP constante que comienza a decaer cuando la epidemia alcanza sus más altos niveles (Figura 8).

La Fundadora y La Laguna mostraron una baja correlación durante todo el período de muestreo (jul 9 - feb 4), pero ésta es mayor durante la fase de la epidemia en el caso de La Fundadora. Aún cuando existe una alta correlación en esta fase, la curva de HP es irregular, con altos y bajos, incluso tan bruscos, como el que se presenta en el momento de la epidemia, por lo que no puede considerarse que la roya sea el principal factor de defoliación en esta finca.

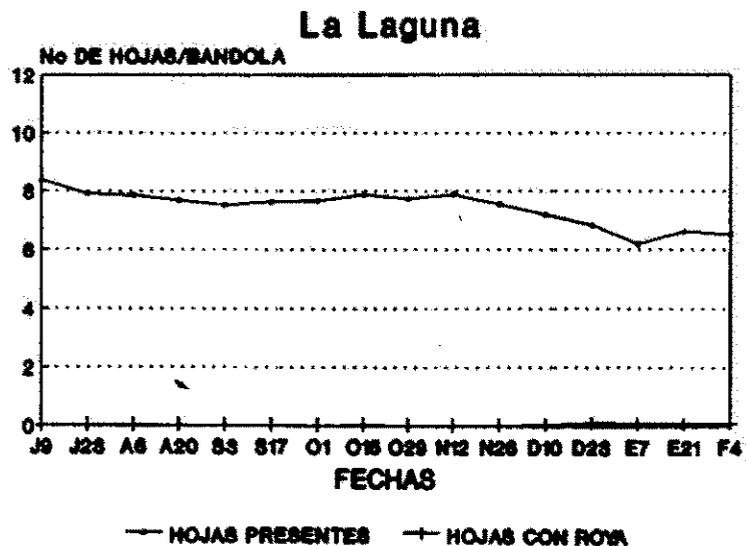
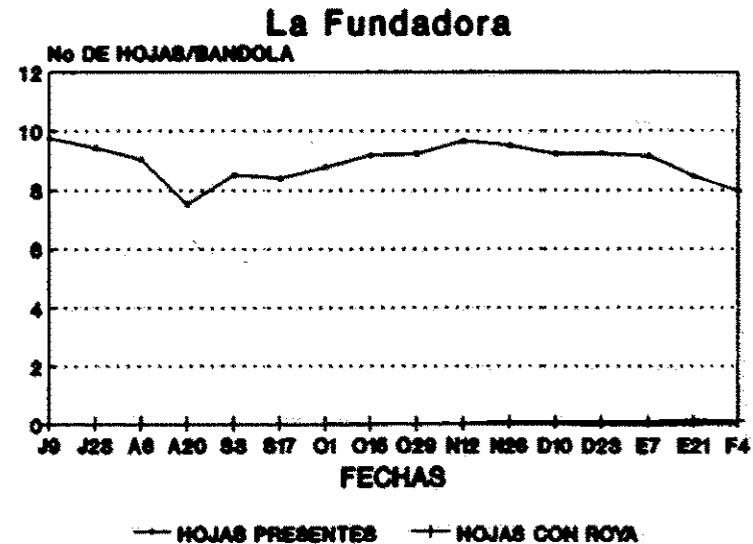
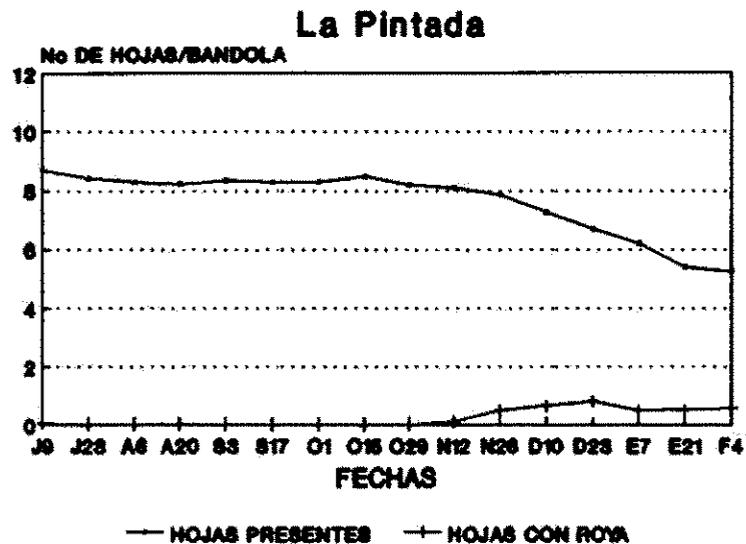


Figura 8. Curvas de hojas con roya y hojas presentes en las tres fincas en estudio

## 5.2 En los estratos

La defoliación es mayor en los estratos superiores en La Pintada y La Laguna. En La Fundadora el más afectado fue el estrato medio (Cuadro 12).

Considerando que en La Pintada fue donde se presentó una verdadera epidemia de roya, y que ésta coincide con la caída de los valores promedios de hojas presentes, existiendo una correlación significativa entre ellas, se puede decir que la roya es un factor biótico importante en la defoliación que presentó esta finca. Esto muestra que la presencia de la enfermedad coincide con la defoliación, sin ser necesariamente el factor más importante, ya que el cultivo experimenta una defoliación natural en los últimos meses del año (Vásquez, 1992; Somarriba, 1992) y existen otros factores bióticos importantes que ejercen influencia sobre la defoliación. En La Laguna y La Fundadora puede apreciarse que hay menor porcentaje de defoliación y menor incidencia de la enfermedad, pudiendo considerarse otros factores bióticos causantes de tal afectación, como por ejemplo la mancha de hierro (Cercospora coffeicola B & Ck).

**Cuadro 12. Defoliación observada en las tres fincas en estudio a nivel de estratos**

	HPI	HPF	DIFERENCIA	PORCENTAJE
PINTADA S	8.40	4.53	3.87	46.07
PINTADA M	7.77	5.53	2.24	28.82
PINTADA I	8.57	5.70	2.87	33.48
LAGUNA S	9.87	8.10	1.77	17.93
LAGUNA M	6.70	6.20	0.50	7.46
LAGUNA I	6.23	5.33	0.90	14.45
FUNDADOR S	11.17	9.70	1.47	12.82
FUNDADOR M	9.23	7.23	2.00	21.67
FUNDADOR I	8.36	6.93	1.43	17.10

S= superior

M= medio

I= inferior

En el cuadro 13a, se detallan los coeficientes de correlación y regresión de la epidemia en La Pintada durante todo el muestreo y divididos en etapas, de la curva simple de HR sobre la de HP, para determinar en que momentos y en que estratos la enfermedad es más importante. Esta finca presentó un comportamiento regular de las curvas que permitió hacer análisis exclusivo a nivel de estratos y en momentos diferenciados del muestreo.

Espacialmente los estratos inferiores mostraron una mayor correlación entre la Roya y la caída de hojas, siendo el menos correlacionado el estrato superior, esto se relaciona con la preferencia de la roya por desarrollarse en el estrato inferior. La velocidad de defoliación es mayor en el estrato inferior durante el transcurso de la epidemia. Además el estrato inferior presenta

la característica de ser el único donde la defoliación persiste aún al final del muestreo, cuando los otros estratos experimentan una recuperación foliar en sus valores (Cuadro 13a).

Considerando la manifestación cronológicamente definida de La Pintada en lo que a sus curvas de HP y el desarrollo de la enfermedad se refiere, se determinaron los coeficientes de correlación y de regresión de la incidencia sobre la curva HP (Cuadro 13b).

En general durante todo el muestreo existe una correlación significativa entre la Roya y la caída de hojas, pero al realizar el análisis específicamente en la fase de manifestación de la epidemia (oct 29 - feb 4), y dentro de ésta entre nov 26 y dic 23, en lo que se denominó como subfase 1, dichos coeficientes de correlación son en todos los estratos igual a 1, siendo un período donde ambas variables están totalmente correlacionadas, y donde la curva de HP cae con mayor velocidad. Los resultados evaluados 0,1 y 2 pares de semanas de anticipación de la incidencia sobre la curva HP muestran mayor correlación 2 pares de semanas anticipadas en las diferentes etapas. Esto quiere decir que la enfermedad tiene un efecto de acumulación que se presenta posteriormente al comportamiento exhibido.

**Cuadro 13a. Coeficientes de Correlación y Regresión en La Pintada entre hojas con roya y hojas presentes**

ESTRATOS	GENERAL JUL9-FEB4		EPIDEMIA OC29-FEB4		SUBFASE 1 NO26-DI23		SUBFASE 2 DI10-FEB4	
	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.
<b>SUPERIOR</b>	0.60	-2.9	0.10	0.2	1	-4.9	0.86	2.7
<b>MEDIO</b>	0.84	-2.4	0.50	-1.7	1	-1.6	0.69	3.2
<b>INFERIOR</b>	0.89	-3.1	0.81	-3.1	1	-4.6	0.53	-2.1
<b>FINCA</b>	0.79	-3.1	0.56	-2.4	1	-3.5	0.67	2.4

**Cuadro 13b. Coeficientes de Correlación y Regresión en La Pintada entre Incidencia de la enfermedad y Hojas Presentes**

ESTRATOS	GENERAL JUL9-FEB4		EPIDEMIA OC29-FEB4		SUBFASE 1 NO26-DI23		SUBFASE 2 DI10-FEB4	
	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.
<b>SUPERIOR</b>	0.76	-0.3	0.37	-0.2	1	-0.5	0.36	0.12
<b>MEDIO</b>	0.90	-0.2	0.72	-0.2	1	-0.1	0.08	0.03
<b>INFERIOR</b>	0.94	-0.2	0.92	-0.2	1	-0.3	0.85	-0.1
<b>FINCA(0)</b>	0.90	-0.2	0.80	-0.2	1	-0.3	0.30	-0.1
<b>FINCA(1)</b>	-	-	0.81	-0.2	0.99	-0.1	0.99	-0.6
<b>FINCA(2)</b>	-	-	0.87	-0.2	0.95	-0.1	0.99	-0.3

En La Fundadora y en La Laguna hay un comportamiento contradictorio en relación a La Pintada, ya que el estrato superior y el medio presentan coeficientes de correlación significativos, en cambio el estrato inferior no. Estos resultados confirman la idea que en estas fincas existen otros factores, además de la Roya, que

contribuyeron a la defoliación mayor en esos estratos (Cuadro 14 y 15).

**Cuadro 14. Coeficientes de Correlación y Regresión durante todo el muestreo y en el período de manifestación de la enfermedad en La Fundadora**

ESTRATOS	HR VS HP				INCIDENCIA VS HP			
	GENERAL		EPIDEMIA		GENERAL		EPIDEMIA	
	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.	C.C.	C.R.
<b>SUPERIOR</b>	0.03	0.32	0.80	-7.3	0.02	0.02	0.81	-0.6
<b>MEDIO</b>	0.36	-5.9	0.88	-10.	0.20	-0.2	0.52	-0.4
<b>INFERIOR</b>	0.11	-1.5	0.02	0.26	0.12	-0.1	0.04	-0.0
<b>FINCA</b>	0.12	-1.4	0.75	-10.	0.09	-0.1	0.65	-0.7

**Cuadro 15. Coeficientes de Correlación y Regresión durante la presencia de la enfermedad en La Laguna**

ESTRATOS	HR VS HP		INCIDENCIA VS HP	
	COE.CORR.	COE.REGR.	COE.CORR.	COE.REGR.
<b>SUPERIOR</b>	0.40	-4.18	0.30	-0.29
<b>MEDIO</b>	0.21	-0.78	0.23	-0.05
<b>INFERIOR</b>	0.21	-1.05	0.18	-0.05
<b>FINCA</b>	0.68	-6.31	0.72	-0.44

### 5.3 Comparando la defoliación con la Incidencia Simple y Acumulada

La incidencia se ha mencionado como el parámetro que mejor explica el efecto defoliador de la roya, esto confirma lo recomendado por Mendoza (1993), sobre el uso de este parámetro para estudios epidemiológicos de esta enfermedad.

Se ha visto que el uso de variables tomadas directamente, tal y como aparecen en el ambiente, como es el caso del número de HR, explica los efectos de la enfermedad de manera fácil. Sin embargo, la incidencia, que resulta de una transformación porcentual simple al dividir el número de hojas con la enfermedad sobre el total de hojas presentes, permite confirmar de una forma más estrecha esos efectos de la enfermedad.

Entre nov 26 y dic 23 en La Pintada se produce un primer período que permite ver a simple vista esa influencia de la Roya sobre la curva HP, con un coeficiente de regresión de -3.48 y un coeficiente de correlación igual a 1 a nivel de los estratos y de finca (Figura 9). En nov 26 la enfermedad registra una incidencia simple de 7.17% (aprox 8%) y un efecto acumulativo de la incidencia de 9.91% (aprox 10%). Esta acumulación se reproduce en las dos fechas siguientes y casi uniformemente hasta el último muestreo; en la curva HP en ese mismo período se produce una caída en sus valores.

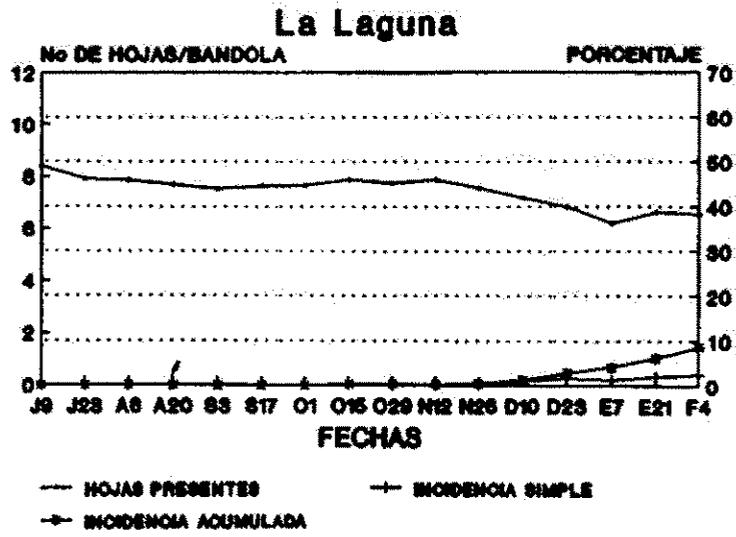
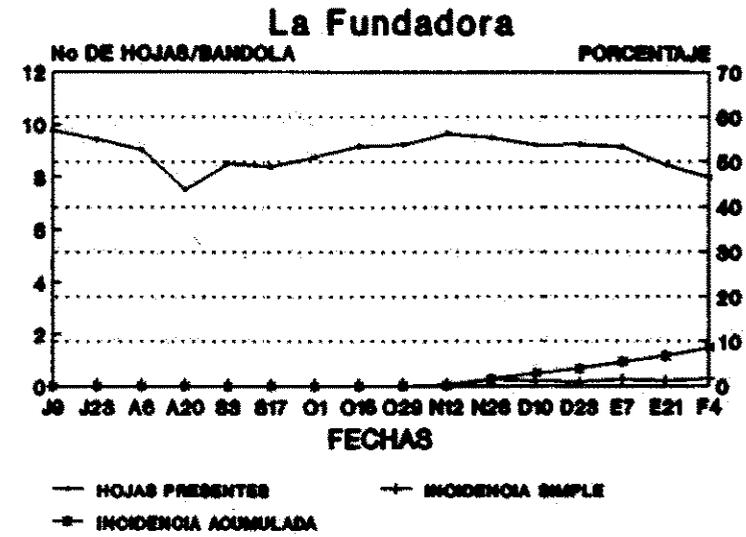
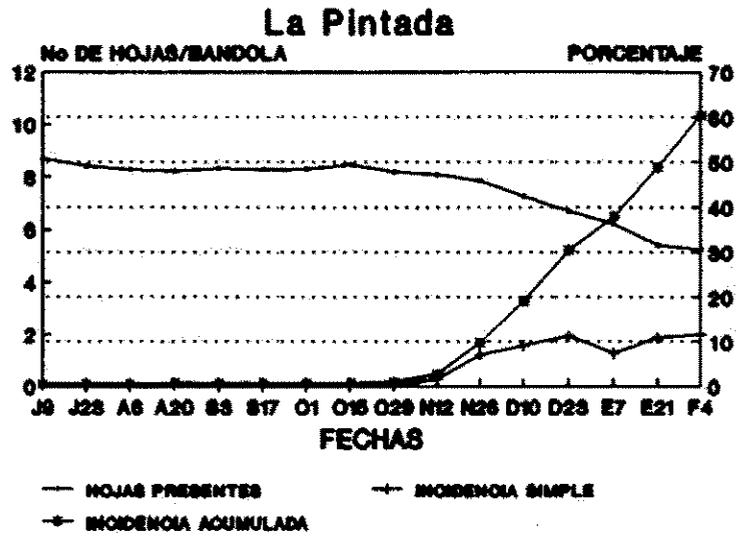
En enero 7 se produce un nivel de acumulación de 7.4%, produciendo una ligera estabilización posterior en la pendiente de HP. Aunque posteriormente a esta fecha se producen nuevamente los incrementos aproximados al 10% en la incidencia, no se ve correspondencia en la pendiente de HP, posiblemente porque los efectos de la Roya no son inmediatos, sino que se expresan con posterioridad (Figura 9). Esta última acumulación habría producido después de la última fecha una caída de la curva HP similar a la registrada entre nov 26 - dic 23 ó dic 23 - ene 7.

El efecto defoliador de la roya se hace presente con posterioridad a los niveles de incidencia de la epidemia en un período determinado, y no simultáneamente. Así, cuando alcanza una acumulación de 10% y niveles de 8% en la incidencia simple, es de esperarse que a este hecho le sucedan efectos negativos sobre el área foliar, confirmándose como "Momento Crítico para el Manejo" de la enfermedad.

La irregularidad de la curva HP induce a pensar que no es la Roya el principal factor que produce el grado de defoliación que se presentó en La Fundadora. Esto se confirma al comparar los niveles de incidencia simple que no llegan al 2% y un efecto de acumulación que ni se aproxima al 10% en el último muestreo. El coeficiente de correlación sólo es significativo entre HR contra HP, lo que quiere decir que entre unidades de hojas existe una aparente correlación que no se confirma cuando se relaciona la

incidencia con la defoliación, posiblemente por la influencia de otros factores.

Los índices registrados en La laguna son similares a los de La Fundadora, por lo cual puede concluirse que los efectos producidos no tienen relación directa con la enfermedad en estas dos fincas.



**Figura 9. Curvas de incidencia simple, incidencia acumulada y hojas presentes en las tres fincas en estudio**

## 6 COMPARACION GENERAL ENTRE CICLOS (1991-92 vs 1992-93)

En 1991-92 Vásquez realizó un estudio epidemiológico en las mismas fincas y los lotes (A) donde se hicieron las evaluaciones del presente trabajo. Tomando sus resultados y los obtenidos en el presente ciclo de evaluación se establece la siguiente relación dentro de cada una de las fincas en estudio (Cuadro 16):

-La Fundadora registra una dinámica de la enfermedad muy similar al ciclo anterior en el mismo lote del muestreo aleatorio. La incidencia máxima registrada en ambos ciclos es baja. En este lote la enfermedad no ha alcanzado niveles epidémicos debido principalmente al porcentaje de sombra y no a la altitud, pues en lotes cercanos como el de Parcelas Apareadas (lote B) se encontraron altos porcentajes de incidencia. Aunque la enfermedad no ha alcanzado niveles epidémicos en estos dos ciclos, puede observarse que el valor de incidencia máxima bajó en más de un 50% del ciclo 91-92 a 92-93, posiblemente se deba al deterioro ambiental del inóculo residual.

-La Laguna presentó una verdadera epidemia en el ciclo 1991-92. Se puede apreciar la caída de los valores que alcanzó en el presente ciclo con respecto al ciclo anterior, que demuestran que no se repitió la epidemia, probablemente por el mismo deterioro del inóculo residual.

-La Pintada por segundo ciclo consecutivo presentó una epidemia verdadera, lo cual la hace un caso especial, pues al menos el lote utilizado para el muestreo aleatorio por conglomerados ha permitido el desarrollo de la enfermedad a tal nivel. Esta fue la única finca que mostró en ambos ciclos niveles de incidencia mayores al valor inicial de la epidemia en meses anteriores al inicio de la misma, conservando cantidades considerables de inóculo de un ciclo a otro. Los valores de la variable de la incidencia de la enfermedad fueron los más altos de las tres fincas en estudio por segundo año consecutivo, aunque también sus valores se redujeron drásticamente del ciclo 92-93 al 91-92.

**Cuadro 16. Relación entre variables (ciclo 91-92 vs ciclo 92-93)**

CICLO	LA PINTADA		LA FUNDADORA		LA LAGUNA	
	91-92	92-93	91-92	92-93	91-92	92-93
<b>INICIO</b>	AGO.15	OCT.29	-	NOV 12	OCT. 10	NOV. 26
<b>FINAL</b>	FEB. 6	FEB. 4	-	FEB 4	FEB. 6	FEB. 4
<b>DURACION (SEMANAS)</b>	25	14	-	12	18	10
<b>X MAXIMA (%)</b>	23.4	11.6	3.6	1.66	15.3	2.44
<b>ACUMULACION FINAL (%)</b>	334.6	60.5	-	7.48	120.8	8.6

En todas las fincas los parámetros de la enfermedad se redujeron considerablemente; La Laguna, por ejemplo, que en el ciclo 91-92 presentó una verdadera epidemia, los valores registrados muestran que no se produjo nuevamente en el ciclo 92-93. Las variaciones del manejo son mínimas entre los ciclos, por lo cual la importancia misma de la enfermedad varía de un año a otro. Pueden aparecer epidemias después de un año con poca enfermedad, o bajos niveles después de ataques epidémicos, debido a que la roya es una enfermedad cíclica de acuerdo a la fenología del cultivo (Becker, 1987), y con poca frecuencia se ven estados de mayor agotamiento en países donde el café se siembra actualmente (Rayner, 1973). Ese comportamiento cíclico responde a la relación altamente específica entre el patógeno y el cultivo, después de un ciclo con una alta incidencia de la enfermedad (91-92), seguido por un ciclo con baja incidencia de ésta (92-93), se puede esperar que la enfermedad alcance niveles tan altos o mayores como los de 91-92 en el ciclo 93-94, lo cual ya comienza a apreciarse en los lotes de estas mismas fincas (Monterroso, comunicación personal).

En relación a las precipitaciones, se puede confirmar su efecto en ambos ciclos, encontrándose coeficientes de correlación negativos. Esto confirma el efecto negativo de las altas precipitaciones al producir un lavado del inóculo, y el mayor desarrollo de la enfermedad al disminuirse la intensidad de las mismas.

Vásquez además encontró que los rangos de temperatura óptimos para la enfermedad se produjeron durante la época lluviosa, lo cual no pudo corroborarse en el ciclo 92-93 por carecer del aparato de medición; sin embargo, se puede decir que las precipitaciones suaves permiten el desarrollo de la enfermedad no sólo por proveer de agua líquida necesaria para la germinación de las uredosporas y contribuir a la humedad relativa, sino también porque influye directamente sobre la temperatura, que es la variable más influyente sobre la enfermedad (Nutman & Roberts, 1963; Montoya, 1974; citados por Becker, 1987).

En cuanto a la defoliación se puede ver que efectivamente este fenómeno se presenta en las tres fincas en estudio, como una respuesta fisiológica del café, por segundo año consecutivo; sin embargo, los niveles de la incidencia de la enfermedad como los porcentajes de defoliación fueron menores en el presente ciclo. Si se observa específicamente el caso de La Pintada, puede verse que a diferencia de las otras dos fincas, existe una relación notable al producirse la caída de la curva de hojas presentes, marcada y evidentemente, a medida que se produce el desarrollo de la epidemia.

El grado de defoliación presentó, al igual que la incidencia de la enfermedad, cambios notables del ciclo 91-92 al ciclo 92-93. En el ciclo 91-92 se reportaron porcentajes de defoliación de un 50%, mientras que en el ciclo 92-93, observamos un máximo de 37.67%

en el caso de La Pintada. Se puede decir que esto confirma que existe una relación entre la enfermedad y el grado de defoliación que se produce en el cultivo; dentro de un mismo ciclo la mayor defoliación se produjo en la finca con mayor incidencia de roya (La Pintada), y entre ciclos el más afectado por la defoliación, fue 91-92 cuando hubo mayor incidencia de la enfermedad.

## 7 LA ROYA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO

### **7.1 Los Lotes de Evaluación Experimental (Lotes B)**

A diferencia de los lotes de descripción del comportamiento que han sido mencionados en las partes anteriores del estudio, en estos lotes los recuentos iniciaron en diferentes momentos, una vez que la enfermedad ya se había expresado. En La Pintada se registraron tres fechas, cinco en La Fundadora y cuatro en La Laguna. La fecha del primer muestreo para cada finca fue la siguiente:

- La Fundadora, 26 de noviembre de 1992;
- La Pintada, 10 de diciembre de 1992; y
- La Laguna el 30 de diciembre de 1992.

Los máximos niveles de incidencia, acumulación durante las fechas del muestreo y algunas variables de la enfermedad en cada finca se detallan en el cuadro 17. Se puede observar que existen diferencias con los valores de la epidemia alcanzados en los lotes A. En el caso particular de La Fundadora en este lote registró en poco tiempo niveles epidémicos, infuídos principalmente por el porcentaje de sombra (55%) y porque en este tipo de lotes no se hizo uso del manejo tradicional con fungicidas cúpricos.

**Cuadro 17. Variables de la incidencia (%) registrada en los lotes experimentales**

VARIABLES	PINTADA	FUNDADORA	LAGUNA
X-INICIAL	9.13	9.77	1.48
X-MAXIMA	9.13	13.28	2.89
X-FINAL	7.46	13.28	0.91
EFECTO ACUM FIN (AF)	23.67	53.32	6.82
Nº DIAS DEL MUESTREO (NDM)	56	80	75
EFECTO ACUM POR DIA*	0.42	0.67	0.09

\*Efecto de acumulación por día= AF/NDM

## 7.2 Aplicación del tratamiento

Siendo La Fundadora la única finca que presentó porcentajes de 8% de incidencia cuando se iniciaba el llenado de grano, se procedió a la aplicación de Bacillus thuringiensis en las parcelas tratadas de los lotes B. Como se ha mencionado la aplicación de este producto se hizo con la intención de provocar variaciones en la incidencia de la enfermedad para obtener grupos diferenciados de plantas. Finalmente se pudo determinar que no se produjeron tales variaciones y que los niveles de la enfermedad fueron muy similares entre plantas tratadas y no tratadas.

La eficacia de esta bacteria en la protección del café contra la roya ya ha sido provada por algunos investigadores en busca de formas de inducción de resistencia. Roveratti y Moraes (1986- datos no publicados), citados por Moraes (1987), realizaron

importantes avances en laboratorio e invernadero, encontrando el efecto sistémico de Thuricide-HP que corresponde al aislado HD-1 de Bacillus thuringiensis, así como su capacidad de inducir resistencia.

Aunque los resultados del presente estudio no confirman la efectividad del producto demostrada por otros autores, no se puede afirmar categóricamente que éste no sea efectivo. Podemos decir que los efectos del producto no son iguales al ser aplicado bajo condiciones de campo, ya que no puede establecerse el momento preciso en que se produce la inoculación (natural), aunque se estableció un nivel de daño (en un 8% de incidencia simple) en trabajos realizados anteriormente por Vásquez en 1992, ya que determina el momento en que la enfermedad bajo condiciones favorables produce verdaderas epidemias, momento en el cual debe aplicarse un método de manejo.

Se puede decir que este producto biológico no tiene un efecto similar al ser aplicado en el campo, en relación a su aplicación y efectividad en invernadero. Es importante reconocer que su aplicación se hizo para determinar preliminarmente y de forma general su efecto sobre la protección del café mediante la capacidad de provocar variación entre plantas tratadas y plantas no tratadas con el producto. En vista de no producirse esta variación esperada, se puede insinuar que no tuvo un efecto de protección sobre el cultivo. En tal sentido podrían hacerse investigaciones

sobre la efectividad de este producto en el campo, ya que este estudio sólo nos permite determinar preliminarmente su acción, sin pretender conclusiones definitivas al respecto.

### **7.3 Correlación entre la roya y la producción**

En las tres fincas y en los dos tipos de lotes (A y B) no se encontró correlación significativa entre las variables de la enfermedad y las de producción. En el cuadro 18 se muestran para cada finca las mayores correlaciones encontradas (entre 0.2 y 0.35) y entre cuales variables se produjeron esas correlaciones (en lotes B). Estas bajas correlaciones contrastan con las obtenidas entre la roya y la defoliación, de acuerdo a lo cual podríamos decir que la defoliación no está relacionada a la reducción de la producción del presente ciclo.

En estos lotes las correlaciones se produjeron principalmente entre las variables de la enfermedad con la *r* y entre las variables de producción con la **cosecha y peso a nivel de planta**. Los coeficientes, además de bajos, fueron positivos, lo que podría entenderse como un efecto estimulador de la enfermedad sobre la producción; pero si se considera que la correlación establece la relación recíproca de las variables, puede decirse que las variables de producción, tienen un efecto directo sobre el nivel de incidencia de la enfermedad sobre la planta. Según Avelino *et al* (1991), la carga de producción es un factor que induce

susceptibilidad en la planta y explica el 49% de la variabilidad de la infección.

**Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre 0.20 y 0.35 en los lotes experimentales en las tres fincas en estudio.**

VARIABLES DE PRODUCCION	VARIABLES DE LA ENFERMEDAD			
	X MAX	r	abcI	COCIENTE
COSECHA PTA	+P+L	+P	+P	+P
PESO COS. PTA	+P	+P+F	+P	+P
COS. BANDOLA	-	+L+F	-	-
PES. COS. BAN.	-	+L	-	+P
PESO PROM/GRANO	-	-	-	+L

P= La Pintada  
 F= La Fundadora  
 L= La Laguna

En los lotes A, no sometidos a tratamientos y con 5 sitios distribuidos al azar, se produjo en las tres fincas las mayores correlaciones entre el área bajo la curva de la incidencia (**abcI**) y el cociente de abc de Hojas con Roya sobre abc de Hojas Presentes (**abCHR/abCHP**) como variables de la enfermedad contra las variables de producción a nivel de planta (**cosecha y peso**). Aunque en este lote no se confirman las variables de enfermedad, ya que las más correlacionadas fueron el **abcI** y el **CIE** (cociente), sí se puede afirmar que las variables de producción más adecuadas son a nivel de planta (**cosecha y peso**), ya que éstas se correlacionan en los lotes A como en los lotes B. Es importante mencionar que en estos

lotes se produjeron mayores coeficientes de correlación (entre 0.35 y 0.47) e incluso negativos en La Laguna (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Coeficientes de correlación entre 0.35 y 0.47 en los lotes del muestreo aleatorio en las tres fincas en estudio.**

VARIABLES DE PRODUCCION	VARIABLES DE LA ENFERMEDAD			
	X MAX	r	abcI	COCIENTE
COSECHA PTA.	-	-	+P-L+F	+P-L+F
PESO COS. PTA.	-	-	+P-L+F	+P-L+F
COS. BANDOLA	-	-	-	-
PESO COS.BAND.	-	-	-	-
PESO PROM/GRANO	-	-	-	-

P= La Pintada  
 F= La Fundadora  
 L= La Laguna

Aunque se sabe que la enfermedad está relacionada con efectos negativos sobre el rendimiento, puede decirse que la evaluación realizada en el ciclo 92-93 demuestra que la roya no es un factor importante en la disminución de los rendimientos, al menos en un ciclo de estudio. Esto coincide con los resultados obtenidos por Avelino *et al* (1991), que afirma que en un año de evaluación no se encuentra esa relación negativa de la enfermedad sobre el rendimiento.

En el ciclo 91-92 Vásquez reporta niveles epidémicos de la enfermedad en La Pintada y La Laguna, y un 50% de defoliación en estas dos fincas y en La Fundadora, sin reportar una relación directa con el rendimiento. En el ciclo 92-93 se encontraron

niveles epidémicos en La Pintada en el lote de comportamiento y en La Fundadora en el lote B (experimental), siendo menores a los del ciclo anterior. Además la mayor defoliación registrada fue en La Pintada con un 37.97%; pero esto no se puede relacionar a la producción en el presente ciclo.

Según Becker (1987), se ha comprobado una relación significativa entre la producción y la incidencia de la roya; años con alta producción de frutos coinciden con una alta incidencia de roya (Bock, 1962; Ortolani, 1973) y cafetos cuyos frutos fueron retirados lograron recuperarse y tener menos hojas infectadas (Alfonsi et al, citados por Monaco, 1977). Si se considera que en el ciclo 91-92 la enfermedad presentó altos niveles de incidencia y se produjo una mayor defoliación en el cultivo, aunque no se reporta una relación con la producción, y en el presente ciclo de evaluación, tanto los niveles de incidencia como la defoliación fueron menores, se pueden esperar mayores niveles de incidencia para el ciclo posterior, considerando que la roya es una enfermedad cíclica de acuerdo a la fenología del cultivo (Becker, 1987). El área foliar es esencial para predecir el desarrollo de la enfermedad (Becker, 1987) y la carga de producción es un factor que produce incremento en la susceptibilidad del cafeto a la roya (Avelino et al, 1991).

## 8 COMPARACION DE LOS METODOS DE ESTIMACION

### 8.1 Diferencias entre los lotes utilizados (A y B).

En cuanto a las características físicas existen similitudes entre los lotes (A y B) en La Pintada y La Laguna, con una ligera variación en el manejo (% de sombra) en La Laguna (Cuadro 1). En La Fundadora existen claras diferencias entre el lote A y el lote B, como es el porcentaje de sombra y la densidad de siembra.

El manejo y las condiciones climáticas se espera que sean similares entre lotes colindantes. En La Laguna y La Pintada los porcentajes de sombra entre ambos lotes son similares; sin embargo, en La Fundadora el porcentaje de sombra es diferente con un 10% en el lote de comportamiento (A) y un 55% en el lote experimental (B), alcanzando niveles epidémicos en este último. Se puede decir que la sombra es el factor principal, ya que favorece las diferencias de los niveles de incidencia registrados en ambos lotes y promueve un microclima adecuado en el lote B para el desarrollo de la roya.

El hecho que la sombra sea un factor determinante radica en el bloqueo de la radiación solar. La radiación solar es el tercer factor climático que juega un papel importante en el desarrollo epidemiológico de la roya, influyendo en la germinación de las uredosporas, en el inicio de la infección y duración del período de

incubación a través de la temperatura ambiental (Nutman y Roberts, 1970; Moraes et al, 1975; Machado y Matiello, 1979; citados por Becker, 1987).

La Fundadora no registró niveles de una verdadera epidemia en el lote A donde se hicieron aplicaciones de fungicidas cúpricos y el porcentaje de sombra es de un 10%. Sin embargo, en el lote B con aplicación de Bacillus thuringiensis y porcentajes de sombra de 55%, alcanzó en poco tiempo niveles epidémicos.

En La Pintada y La Laguna tanto las condiciones de los lotes A y B como los niveles mismos de la enfermedad fueron similares. Los lotes B en estas fincas no fueron tratados con Bacillus por no alcanzar la enfermedad un 8% de incidencia simple.

## **8.2 Comparación de los resultados**

Tanto los resultados obtenidos en los lotes A como en los lotes B demuestran una baja correlación (no significativa) entre la roya y los rendimientos. Es decir, que los dos métodos utilizados para estimar esa relación no permiten definir en un ciclo de estudio el efecto preciso. Mientras en los lotes B, sometidos a un ensayo con un diseño de parcelas apareadas, los resultados de la correlación son menos significativos y todos positivos, en los lotes A, usando un simple muestreo aleatorio por conglomerados con

menor número de plantas, se obtuvieron coeficientes de correlación más altos, pero en unos casos positivos y en otros negativos, produciéndose mayor variación de los resultados.

En ambos casos, los resultados hacen pensar que la roya no tiene un efecto evidente sobre la producción del café en un mismo ciclo de estudio. Esto confirma lo encontrado por Avelino *et al* (1991), acerca de que no se encuentran efectos negativos de esta enfermedad sobre la cosecha en el mismo año de estudio.

Por lo anteriormente expresado se puede decir que el muestreo aleatorio por conglomerados resulta más apropiado, por ser un método sencillo y práctico, con un número menor de plantas. Se hace necesario mediante el uso de este método evaluar el efecto de la roya sobre la cosecha, relacionando la incidencia de la enfermedad de 1 ó 2 ciclos anteriores con la cosecha del ciclo en estudio, para determinar con precisión las repercusiones futuras de esta enfermedad sobre la cosecha.

## CONCLUSIONES

- La incidencia fue un parámetro adecuado para la medición de la intensidad de la roya en el presente estudio.

- Las epidemias estudiadas en este ciclo tuvieron una baja incidencia durante el período de muestreo, iniciándose entre octubre y noviembre, y alcanzando sus máximos valores en el último muestreo (febrero 4).

- La única finca que presentó una epidemia verdadera fue La Pintada, donde los máximos valores de la incidencia se encontraron en el estrato inferior.

- El deterioro del inóculo residual influyó en el desarrollo de las epidemias.

- Las precipitaciones moderadas en orden creciente ejercen un efecto positivo sobre el desarrollo de la enfermedad. Todas las epidemias iniciaron su desarrollo a partir de los meses con precipitaciones menores.

- La defoliación es un fenómeno natural del cafeto que coincidió con el desarrollo de la epidemia. La incidencia de la enfermedad puede ser considerada como un factor importante que actúa sobre ese fenómeno.

- Las variables de incidencia de la enfermedad y el número de hojas enfermas permiten estimar la relación de la roya con la defoliación con relativa facilidad.

- La importancia de las epidemias varió del ciclo 91-92 al ciclo 92-93. El comportamiento de la enfermedad es diferente de un año a otro, encontrándose niveles bajos de ésta en un ciclo posterior a otro ciclo donde se produjeron niveles epidémicos elevados.

- La sombra influyó en la incidencia de la enfermedad, produciendo diferencias evidentes entre lotes colindantes en La Fundadora.

- La bacteria Bacillus thuringiensis no tuvo el efecto esperado de variación en la incidencia de la roya al ser aplicada en el campo en el ciclo de estudio 92-93.

- La roya no presentó un efecto tangible de reducción de la cosecha en el mismo ciclo de estudio de su incidencia.

- El muestreo aleatorio por conglomerados resultó más conveniente, por ser un método práctico y sencillo.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de estimación del efecto de la roya sobre la producción del café, tomando la incidencia del ciclo 92-93 sobre la producción del ciclo 93-94.

- Hacer investigación para estimar la acción y efectividad de Bacillus thuringiensis, como método de control alternativo de la roya en el campo, utilizando diferentes formulaciones y dosis del mismo.

- Tomar en cuenta el 10% de efecto acumulativo de la incidencia como nivel crítico para realizar el manejo de la roya.

- Sería adecuado que los técnicos manejaran las características de los diferentes lotes de la finca en un mapa, con la intención de controlar las zonas que potencialmente podrían permitir una mayor incidencia de la enfermedad, como los lotes con mucha sombra, por ejemplo.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

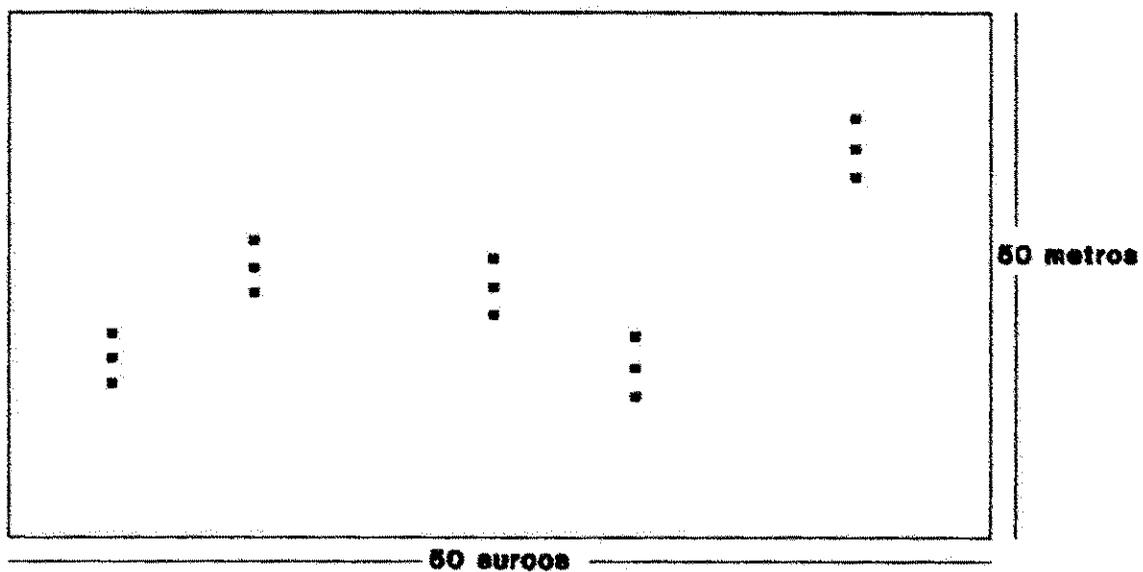
1. AGRIOS, G. 1991. Fitopatología. México, D.F., Méx., Limusa. p. 29-32, 205-210.
2. AVELINO, J.; RIVEIRO, R.; TOLEDO, J.C. 1991. Epidemiología de la roya anaranjada (Hemileia vastatrix) y evaluación de las pérdidas en la producción del café: avances de un año. In Memoria técnica de investigaciones en café 1990-1991. (1991, Guatemala, Gua.). [Memorias]. Guatemala, Gua., ANACAFE. p. 109-115.
3. BARBOSA T., I.; WIGERS, P. Evaluación de la roya (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) en híbridos de Timor y Coffea arabica L. In Informe Técnico del Departamento de Protección Vegetal, ciclo 1989-90. (1991, Matagalpa, Nic.). [Informe]. Matagalpa, Nic., CONCAFE.
4. BECKER, S. 1987. El sistema Coffea spp y Hemileia vastatrix. In La Roya del cafeto: conocimiento y control. Eschborn, República Federal de Alemania, GTZ. p. 1-59.
5. DICKINSON, C.H.; LUCAS, J.A. 1987. Patología Vegetal y Patógenos de Plantas. Trad. por Manuel Guzmán Ortiz. México, D.F., Méx., Limusa. 312 p.

6. INTA-GTZ. 1977. La roya del cafeto y su combate en Nicaragua. Frankfurt, República Federal de Alemania, GTZ. 43 p.
7. KRANZ, J.; SCHUMUTTERER, H.; KOCH, W. 1972. Enfermedades, plagas y malezas de cultivos tropicales. Traducción del alemán. Berlín, Hamburgo, Verlag Paul Parey. 722 p.
8. LARA, M.; GUHARAY, F. Efecto de aspersiones de formulaciones comerciales de Bacillus thuringiensis sobre el desarrollo de la roya del café. In Congreso Internacional MIP. (4., 1992, El Zamorano, Hond.). [Resumen]. El Zamorano, Hond. p. 100.
9. LAS PERDIDAS QUE CAUSAN LAS ENFERMEDADES. 1982. In French, E.R.; Hebert, T.T. Métodos de Investigación Fitopatológica. San José, C.R., IICA. p. 187-256.
10. MARENCO, E.; ACEVEDO, M. 1993. Epidemiología de la antracnosis del café en la VI Región de Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Managua, Nic., UNA. 48 p.
11. MENDOZA, R. 1993. Propuesta de estimadores para el estudio epidemiológico de las enfermedades foliares del café. Tesis Ing. Agr. Managua, Nic., UNA. 72 p.

12. MORAES, W. 1987. Bioquímica de la resistencia: un control alternativo de la roya del cafeto. In La roya del cafeto: conocimiento y control. Eschborn, República Federal de Alemania, GTZ. p. 65-188.
13. NAVAS, L.E. Determinación del número y épocas de aspersión para el control de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk. & Br.). In Congreso Nacional y Centroamericano, México y el Caribe de Manejo Integrado de Plagas. (5; 1., 1987, Guatemala, Gua.). [Memorias]. Guatemala, Gua., AGMIP. p. 355-363.
14. OSEGUERA, S.H. 1991. Epidemiología de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk.) en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. Tegucigalpa, Hond., IICA. 59 p.
15. PLANK, J.E. VAN DER. 1963. Plant diseases: Epidemics and Control. New York, EE.UU., Academic Press. 349 p.
16. RAYNER, R. 1972. Micología, Historia y Biología de la roya del cafeto. Turrialba, C.R., IICA. 68 p.
17. SOMARRIBA, G. 1992. Epidemiología de la "mancha de hierro" del café (Cercospora coffeicola Berk. & Ck.) en las regiones norte y pacífico de Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Managua, Nic., UNA. 79 + x p.

18. VASQUEZ, O. 1992. Epidemiología de la Roya del Café (Hemileia vastatrix B. & Br.) en las zonas Norte y Pacífico de Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Managua, Nic., UNA.  
56 + vii p.
19. WALLER, J.M. 1987. Coffee diseases current status and recent developments. Rev. Trop. Pl. Path. (India) 4: 1-33.
20. ZADOKS, J.C.; SCHEIN, R.D. 1979. Epidemiology and Plant Disease Management. New York, EE.UU., Oxford University Press. 427 p.

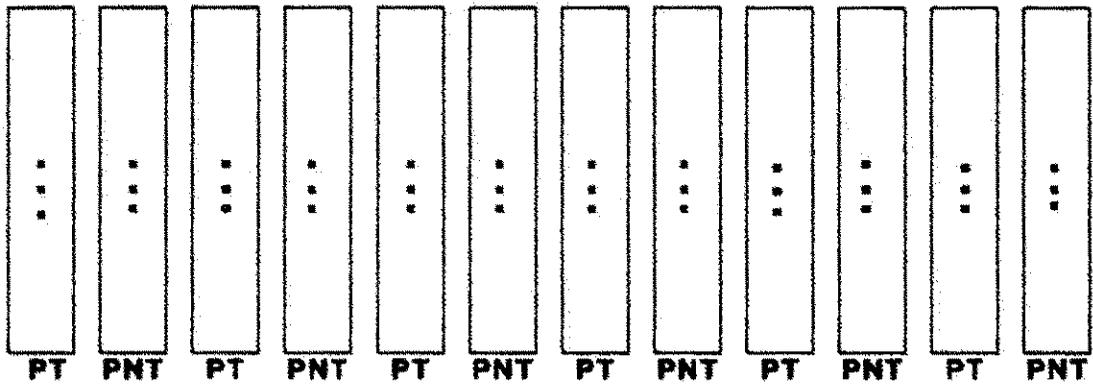
## ANEXO 1



### Lote del muestreo aleatorio por conglomerados

**Nota:** los puntos simbolizan las plantas agrupadas en cinco conglomerados (sitios) de tres.

## ANEXO 2



PT- Parcela Tratada  
PNT- Parcela No Tratada

### Lote de Parcelas Apareadas

**Nota:** Los puntos simbolizan las tres plantas tomadas de la parte central de las pequeñas parcelas