PERÍODOS DE INCUBACIÓN (PI) Y DE LATENCIA (PL) DE LA ROYA DEL CAFETO EN LA ZONA CAFETERA CENTRAL DE COLOMBIA

Jairo Leguizamón-Caycedo*; Lucelly Orozco-Gallego**; Lucía Gómez-Gómez***

RESUMEN

LEGUIZAMÓN C., J.E.; OROZCO G., L.; GÓMEZ G., L. Períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del cafeto en la zona central cafetera de Colombia. Cenicafé 49(4): 325-339. 1998.

Se estudió en 3 localidades de la zona cafetera central la duración de los períodos de incubación, PI (tiempo a síntomas) y de latencia, PL (tiempo a signos) del hongo *Hemileia vastatrix*, su comportamiento a través del año y su relación con factores climáticos. En el laboratorio se inocularon mensualmente plantas de var. Caturra de 6 meses con urediniosporas de *H. vastatrix*, raza II (v5); luego se llevaron a condiciones de sol y sombra. Quince días después de la inoculación y cada dos días se midió el número de plantas con síntomas, hojas con manchas, manchas por hoja y manchas esporuladas. Se consideró para su análisis, un modelo de clasificación simple con arreglo factorial 3x2x2 (pisos térmicos, modalidades de cultivo y estados PI, PL). Se encontraron diferencias significativas entre pisos térmicos, modalidades de cultivo (sol, sombra) y estados PI y PL, pero no en sus diferentes interacciones. PI fluctuó entre 22 y 24 días, al sol y 18 y 22 a la sombra; PL de 34-36 días al sol y 32-35 a la sombra. A mayor altitud se prolongaron PI y PL y resultaron más cortos a la sombra. Las temperaturas máximas y mínimas del aire estuvieron entre 16 y 28°C. No se observaron variaciones estacionales en la duración de los períodos, como tampoco se presentaron cambios significativos en la temperatura en el año. A 1600msnm, PI y PL fueron más prolongados, por tanto, el número de aplicaciones para control de la enfermedad debe ser menor, así como mayor el intervalo entre aspersiones, situación por estudiarse en condiciones de campo.

Palabras claves: *Hemileia vastatrix*, síntomas, signos, enfermedades, café, *Coffea arabica*

ABSTRACT

Duration of incubation period, PI (time until symptoms), and latency period, PL (time until signs), behavior throughout the year and relationship of the fungus with climatic factors were studied in three localities in the central coffee-growing region. Six-month Caturra cv. plants were monthly inoculated with *Hemileia vastatrix*, race II (v5) urediniospores. Plants were then placed under sun and shade conditions. Every two days, starting fifteen days after inoculation, the number of plants with symptoms, leaves with spots, spots per leaf, and sporulated spots were measured. A simple classification model with factorial arrangement 3x2x2 (altitude, cultivation condition and PI, PL stages) was used. Significant differences were found between altitudes, cultivation conditions (sun, shade) and stages PI and PL, but not among their different interactions. PI ranged between 22 and 24 days under sunlight and between 18 and 22 under shade; PL ranged between 34 and 36 days under sunlight and between 32 and 35 under shade. At higher altitudes PI and PL were prolonged, and under shade such periods were shortened. Maximum and minimum air temperatures were between 16 and 28ºC. No seasonal variations in the duration of periods were observed and temperature did not show significant changes throughout the year. At an altitude of 1600 m, PI and PL were longer and therefore the number of applications to control disease should be less and the interval between aspersions longer, a situation to be studied under field conditions.

Keywords: *Hemileia vastatrix*, symptoms, signs, diseases, coffee, *Coffea arabica*.

* Investigador Principal I. Fitopatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

** Investigador Científico II. Biometría Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Ingeniero Agrónomo. Carrera 23 No 56-25. Manizales, Caldas, Colombia.

En estudios epidemiológicos del hongo causante de la roya del cafeto, *Hemileia vastatrix* Berk. y Br., es necesario conocer la duración de los ciclos de las generaciones, ya que en este caso particular su duración es mayor que para otros organismos, lo cual exige la toma o ajuste de las medidas de control químico o genético.

Wallis y Firman (28) han sugerido que con base en las variaciones de los períodos de incubación y de latencia de *H. vastatrix*, es posible definir distintos tipos de manejo de la enfermedad, factor importante para recomendar apropiadamente su manejo a los caficultores colombianos.

Varios investigadores (4, 11, 14, 17, 23), han determinado que en los períodos de incubación y de latencia de la roya influyen diversos factores, como la temperatura, la variedad de café, las razas fisiológicas del hongo y el estado de nutrición del hospedante susceptible. En otros países se ha demostrado que estos períodos están linealmente correlacionados con la temperatura y se han desarrollado ecuaciones de regresión para estimar la duración de los períodos en función de la temperatura ambiente (7, 11, 17, 18, 29).

Zadoks y Shein (29) sugieren que la información de la duración de los períodos de incubación y de latencia que influyen en las diferentes fases de los procesos monocíclicos de organismos como *H. vastatrix*, con comportamiento policíclico, debe usarse para predecir la enfermedad en el campo y aún, para evaluar pérdidas de cosecha.

Con este estudio se buscó determinar la duración de los períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) del hongo en la zona central cafetera colombiana, su comportamiento a través del año y su relación con factores climáticos, con el objeto de reunir elementos para el manejo y la estimación de la enfermedad. Para el efecto se escogieron tres sitios de la zona cafetera, de alta producción, con diferentes altitudes, diferentes temperaturas del aire y lotes ubicados a plena exposición solar y a la sombra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El estudio se realizó en tres localidades cercanas entre sí y situadas dentro de un mismo sistema montañoso, en la vertiente occidental de la cordillera central andina colombiana. En las localidades estudiadas se presentan distintas características de clima, debido a su posición dentro de la franja altitudinal de la montaña, lo cual se refleja principalmente en las diferencias en la temperatura del aire. Estas regiones son representativas de una amplia zona cafetera de alta producción.

En la Tabla 1 se registra la ubicación geográfica y las medias de diferentes variables del clima para cada localidad: Santágueda, Cenicafé y El Jazmín, ubicadas a 1010, 1310 y 1600msnm, respectivamente.

Inoculación. En el laboratorio se tomaron mensualmente 300 plantas de café variedad Caturra de 6 meses de edad y se hizo la inoculación por el envés de cuatro hojas verdaderas por cada planta asperjando una suspensión de 80×10^4 urediniosporas de *H. vastatrix*, raza II (v5), por mililitro de agua destilada esterilizada. Después de la inoculación permanecieron en cámara húmeda (con saturación de humedad), a 24 °C y en completa oscuridad durante 16 horas; luego se dejaron en el ambiente del laboratorio durante 24 horas. El estudio se desarrolló durante tres años.

Se llevaron 100 plantas a cada una de las 3 localidades y se colocaron 50 a plena exposición solar y 50 bajo umbráculo (sombra) de guadua que cubría el 50% de la superficie de un techo a 2m de altura. Se comprobó la efectividad de la inoculación dejando algunas plantas

TABLA 1. Localización geográfica y condiciones meteorológicas de El Jazmín, Cenicafé y Santágueda, ubicadas en los departamentos de Risaralda y Caldas (Colombia).

LOCALIDAD	Altitud (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Temperatura °C			Lluvia (mm)	Dias lluviosos al año
				Min.	Max.	Media		
El Jazmín	1600	4,55	75,38	14,7	24,5	19,1	2740	233
Cenicafé	1310	5,00	75,36	16,7	27,5	21,1	2520	245
Santágueda	1010	5,05	75,40	17,5	29,3	22,7	2443	216

testigo en condiciones óptimas controladas para conseguir el desarrollo de la enfermedad.

Variables medidas. Después de 15 días de la inoculación y posteriormente cada 2 días, en 30 plantas de las 50 y en cada localidad se hicieron las siguientes observaciones: tiempo de aparición de los primeros síntomas visibles de la enfermedad y número de plantas con síntomas, tiempo y número de hojas con lesiones medidas con la escala de Eskes (5), número de lesiones por hoja y número de hojas con lesiones esporuladas. Se registraron diariamente las temperaturas máximas y mínimas del aire, medidas en una estación climatológica ubicada cerca del almácigo, en cada sitio. No se hicieron medidas de microclima en los almácigos. Los datos meteorológicos se obtuvieron en estaciones aledañas a cada experimento.

Variables calculadas. Con la información obtenida se calcularon el Período de Incubación (PI) y el Período de Latencia (PL) definidos como número de días transcurridos desde la inoculación hasta que el 50% de las hojas inoculadas presentaran síntomas de la enfermedad, y número de días transcurridos hasta que el 50% de las hojas con síntomas presentaran lesiones esporuladas, respectivamente.

Con las temperaturas medias correspondientes a cada período de lectura se determinó el **tiempo térmico** diario y acumulado, utilizando la diferencia entre la temperatura media diaria y 16 °C, considerada como la mínima básica para el desarrollo del hongo:

TT = (Temperatura media diaria -16°C) x PI(días).

Se determinó también, la tasa relativa de cambio promedia (horas/1°C) de PI y PL, por cambio unitario (1°C) en las temperaturas mínima y máxima del aire.

Análisis estadístico. Se hizo análisis descriptivo de las variables en todas las condiciones, para lo cual se determinó: la media, el error estándar, el coeficiente de variación , los límites de confianza, verificación de la hipótesis de normalidad de los datos de las variables y homogeneidad de los errores. La variable duración en días, para PI y PL, se sometió al análisis de varianza combinado según un modelo de clasificación simple con arreglo factorial, para determinar las diferencias entre pisos térmicos, modalidad de cultivo (sol y sombra) y su interacción.

Se hizo también un análisis de regresión lineal simple y múltiple de PI y PL para la modalidad de plena exposición solar, en función de las temperaturas máxima y mínima del aire y del tiempo térmico calculado. Las temperaturas a la sombra se calcularon con base en las

del aire y las diferencias se deben a la mayor longitud de los períodos a la sombra.

Se evaluaron y validaron las ecuaciones de regresión generadas en otros países para el período de latencia en función de las temperaturas máximas y mínimas registradas durante el ensayo en Colombia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Períodos de incubación y de latencia. Pisos térmicos. En la Tabla 2 se presentan los datos correspondientes a la duración de PI y PL, en los tres pisos térmicos y las dos modalidades de cultivo (sol - sombra).

Santágueda (1010 msnm y 23 °C). Se observó que bajo sombra disminuye la duración de estos períodos, resultados que concuerdan con los obtenidos por Moraes *et al.* (17). El período de incubación a la sombra tiene una diferencia de 4 días con el registrado al sol y de latencia de 3 días. En este sitio transcurrieron 13 días, desde la aparición de los síntomas hasta la producción de inóculo, tanto al sol como a la sombra. Mónaco *et al.* (15) indican que la evolución de la roya puede retardarse por la presencia de temperaturas elevadas, aún cuando las otras condiciones para el desarrollo del patógeno sean favorables. En Santágueda se ha podido corroborar lo anterior; se observa que la duración de los períodos es mayor al sol y no presentan estacionalidad, lo mismo ocurre con la temperatura.

TABLA 2. Análisis descriptivo de la duración de los períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de *Hemileia vastatrix* en café, con las temperaturas del aire registradas en el período del ensayo.

PISOS TERMICOS	MODALIDAD DE CULTIVO	ESTADOS (DIAS)				DIF	TEMPERATURA°C	
		PI		PL			Mínima	Máxima
		$\overline{X}$ ± Sx	CV	$\overline{X}$ ±Sx	CV		$\overline{X}$ ±Sx	$\overline{X}$ ± Sx
SANTAGUEDA								
(1010 msnm 23°C)	SOL	21,92±0,51	12,06	34,59±0,63	9,49	12,67	17,55±0,18	29,39±0,23
	SOMBRA	18,40±0,39	10,89	31,55±0,64	10,59	13,15		
	DIF	3,52		3, 04				
CENICAFE								
(1310 msnm 21°C)	SOL	22,84±0,61	13,29	34,48±0,65	9,4	11,64	16,91±0,11	27,37±0,19
	SOMBRA	20,29±0,43	11,00	32,70±0,60	9,51	12,41		
	DIF	2,55		1,78				
EL JAZMIN								
(1600 msnm 19 °C)	SOL	23,63±0,44	9,69	36,29±0,66	9,41	12,66	15,22±0,12	24,80±0,21
	SOMBRA	21,59±0,51	12,33	34,63±0,59	0,88	13,04		
	DIF	2,04		1, 66				

$\overline{X}$: Promedio de datos registrados.
Sx : Error estándar
CV: Coeficiente de variación

Cenicafé (1310 msnm y 21 °C). Se observan las diferencias entre PI y PL al sol e igualmente a la sombra, estas fueron aproximadamente de 12 días. Las diferencias entre la condición de sol y sombra fueron para PI de 3 días y para PL, 2 días. De igual manera, se observó que la aparición de los primeros síntomas de la enfermedad (PI) presentó mayor variación que la aparición de las urediniosporas (PL), puesto que el hongo es mucho más afectado por la temperatura en las primeras etapas de colonización del hospedante, que para la producción de inóculo.

El Jazmín (1600 msnm y 19 °C). No se observaron diferencias entre las modalidades sol y sombra. Los períodos fueron más cortos a la sombra, con temperatura media del aire registrada de 19 °C. Las diferencias entre PI y PL, para ambas modalidades fueron de 13 días lo cual es explicable porque aún al sol, las temperaturas del aire son bajas debido a la alta nubosidad que prevalece en la región.

Para los tres sitios estudiados se ilustra la fluctuación de PI y PL de la roya del cafeto, con las temperaturas mínimas y máximas del aire asociadas, a través de la duración del experimento (Figuras l, 2 y 3).

Comparación entre pisos térmicos, modalidades de cultivo y estados PI, PL: En el análisis combinado de varianza para la duración en días de los períodos de PI y PL en los tres sitios (Tabla 3), se encontraron diferencias a un nivel de probabilidad <0,05 entre pisos térmicos y esta diferencia estuvo entre El Jazmín y los otros dos pisos térmicos, pero no entre éstos;

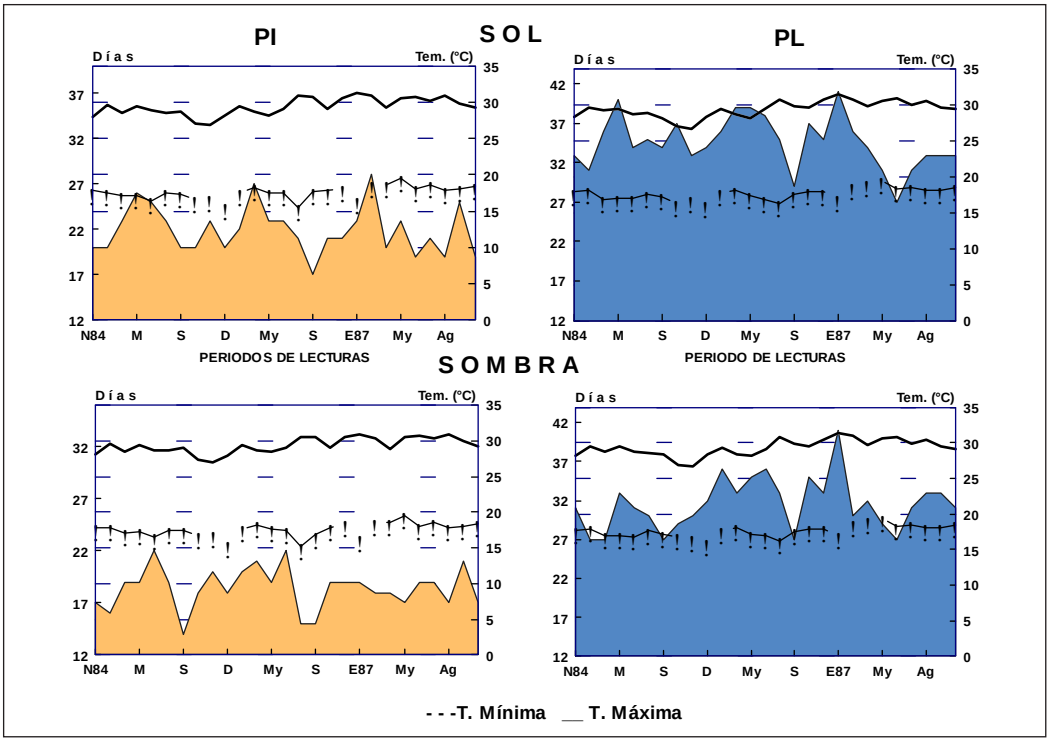

Figura 1. Períodos (días) de incubación y latencia. Santágeda ubicado a 1110msnm, 5ºLN 75ºLW.

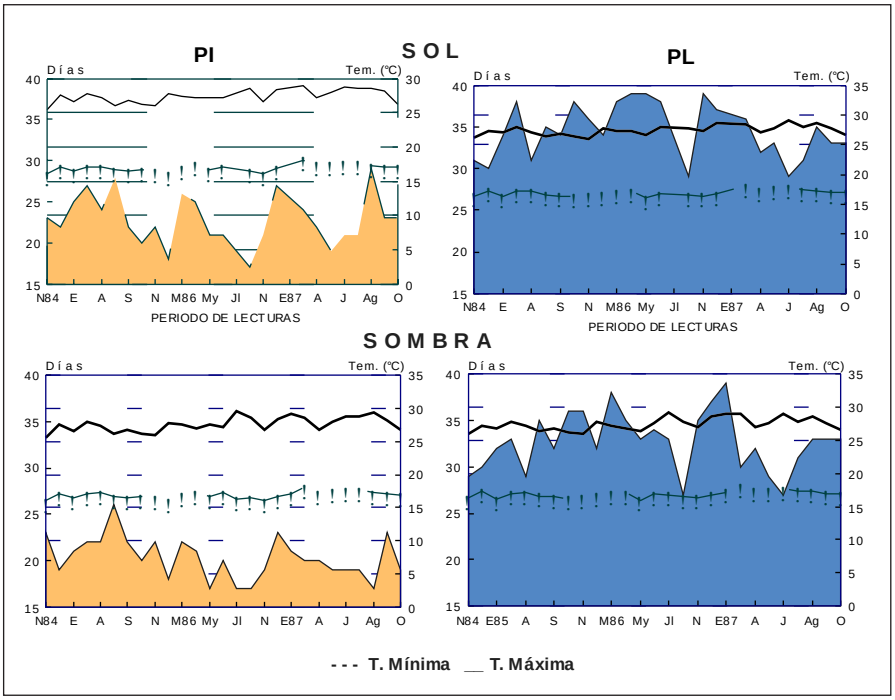

Figura 2. Períodos (días) de incubación y latencia. Cenicafé. 1310msnm, 5ºLN 75ºLW.

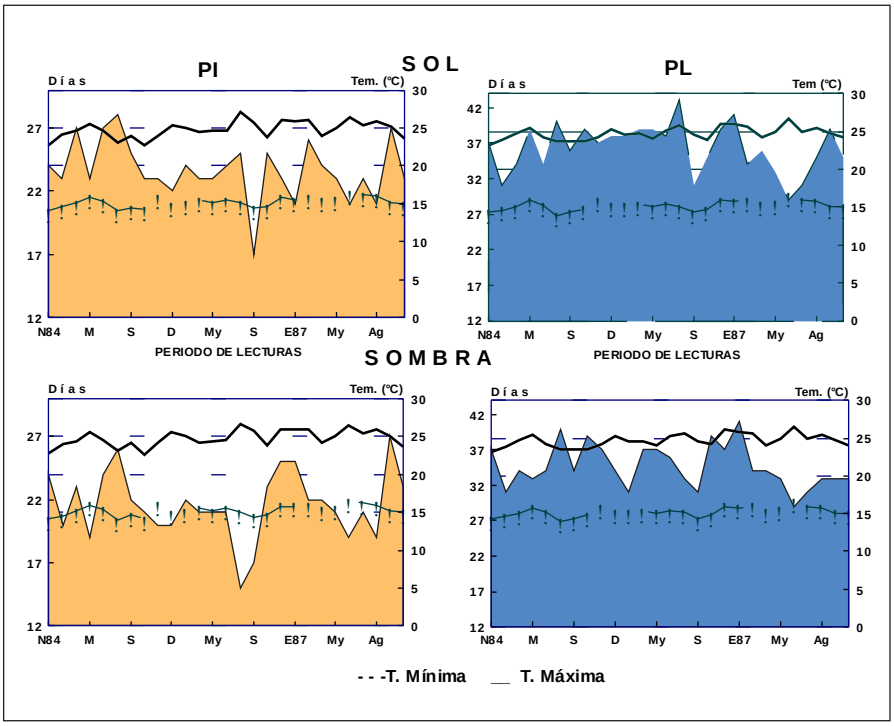

Figura 3. Períodos (días) de incubación y latencia. El Jazmín. 1600msnm, 5ºLN 75ºLW.

TABLA 3. Análisis combinado de varianza de la duración en días de los períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del cafeto *Hemileia Vastatrix Berk. y Br.* al sol y a la sombra, en tres pisos térmicos de la zona central cafetera colombiana.

FACTORES DE VARIACIÓN	G.L	DURACIÓN (PI) y (PL) (días)		
		CM	F	P>F
P. térmicos	2	159,86	19,10	0,0001
Modalidad: Sol y Sombra	1	471,96	56,40	0,0001
P. térmicos x modalidad	2	15,16	1,81	0,1651 n.s
Estados	1	12678,92	1515,28	0,0001
P. térmicos x estados	2	6,44	0,77	0,4639 n.s
Modalidad x estados	2	5,82	0,7	0,4049 n.s
Piso térmico*modalidad*estado	2	0,28	0,03	0,9675 n.s
Error	319	8,37		
R^2		0,84		
Homogeneidad (Ji^2)	16.388 probchi =0,8706 ns			

La diferencia entre pisos con la prueba de Tukey (W), está entre El Jazmín vs Cenicafé y Santágueda, no entre Cenicafé y Santágueda Ninguna interacción presentó diferencias significativas.

entre modalidades de cultivo (sol o sombra) y duración de los períodos incubación o latencia, pero no hubo interacción. El PI varió entre 22-24 días al sol y 18-22 a la sombra; PL de 34-36 días al sol y 32-35 a la sombra.

En las Figuras 4 y 5 se ilustra la duración de PI y PL, en los tres pisos térmicos y las dos modalidades de cultivo (al sol y a la sombra). Se aprecia que estos períodos son más prolongados a medida que se asciende en altitud, siendo más cortos a la sombra en todas las localidades; las diferencias en promedio fluctuaron entre 2 y 4 días. Down citado por Bock (3) en observaciones hechas en Kenya, anota que el ataque de la roya del cafeto decrece con un aumento en la altitud. Las condiciones térmicas registradas en los tres sitios estuvieron dentro del intervalo óptimo para la roya del cafeto (16 - 28°C); sólo ocurrieron temperaturas inferiores a 16°C en El Jazmín y mayores de 28 °C en Santágueda.

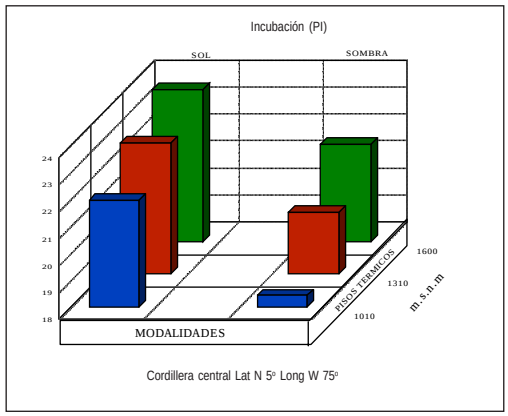

Figura 4. Periodos (días) de incubación (PI) de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. y Br.en tres pisos térmicos de la zona cafetera colombiana.

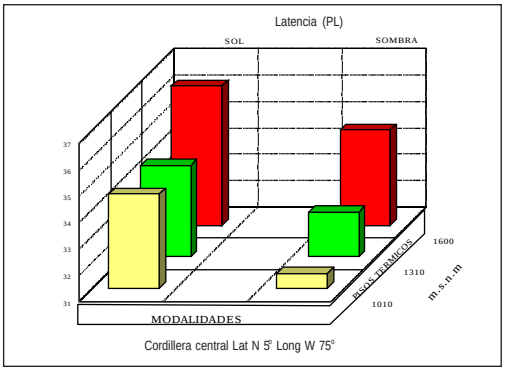

Figura 5. Períodos (días) de latencia (PL) de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. y Br.en tres pisos térmicos de la zona cafetera colombiana.

La importancia de la duración de estos períodos en el control de la enfermedad se refleja en la clasificación propuesta por Wallis y Firman (28) en la cual sugieren que para períodos de incubación menores de 20 días sólo se recomiendan variedades resistentes; entre 20-30 días la utilización de control químico, y más de 30 días, no se requiere control. De acuerdo a los resultados en Cenicafé (21 °C), el control químico sería más frecuente y exigente que en el Jazmín (19 °C) y para Santágueda lo más recomendable es el uso de variedades con resistencia a la enfermedad.

Modalidades de cultivo (al sol o a la sombra). A través del tiempo no se observaron variaciones estacionales en PI y PL, así como tampoco se presentaron cambios significativos en la temperatura a través del año. La duración de los períodos siempre fue mayor al sol (Figuras 1,2 y 3). En la localidad más fría (1600 msnm) PI y PL fueron más prolongados, lo cual indica que en esta condición el número de aplicaciones para control de la roya debe ser menor, así como mayor el intervalo entre aspersiones, situación que deberá estudiarse en condiciones de campo.

Son pocos los trabajos que se han hecho comparando condiciones de sol y sombra, Moraes *et al.* (17) encontraron diferencias en los períodos de incubación y de latencia al sol y a la sombra, resultando más cortos a la sombra que al sol. En el presente trabajo se encontraron los mismos resultados, lo cual se atribuye a que los almácigos con umbráculo producen plantas más desarrolladas, se conserva suficiente humedad del suelo y se mantiene regulada la temperatura (mayores las temperaturas mínimas y más bajas las máximas) lo cual permite un rango de temperatura más favorable para el desarrollo del hongo (9).

Relación entre PI y PL con las temperaturas. Las temperaturas máximas y mínimas del aire registradas durante gran parte de las observaciones estuvieron cerca del rango óptimo para el desarrollo de la enfermedad (16 a 28°C) y no se presentaron situaciones extremas limitativas.

En el análisis estadístico de las temperaturas registradas entre pisos térmicos, al sol, se encontraron diferencias al nivel de probabilidad < 0,05 entre éstos (Tabla 4); no obstante, en el estudio de las regresiones, aún cuando se encontró relación significativa en algunos casos, su variación explicada fue baja (R^2 <50%). No se encontró evidencia estadística (esperada) de relación lineal negativa en cada modalidad entre los períodos de incubación y de latencia de la roya del cafeto, con respecto a las temperaturas mínimas y máximas del aire, registradas en el mismo período, relación que encontraron otros investigadores (11, 17, 23) y con base en ella, desarrollaron ecuaciones de regresión mediante las cuales pudieron estimar la duración de los períodos en función de la temperatura ambiente (Tabla 5). Tampoco se encontró relación alguna con el tiempo térmico calculado.

El efecto de la temperatura sobre la duración de estos períodos ha sido comprobado por varios investigadores. Nutman y Roberts (19), y Montoya (16) en trabajos sobre la biología del hongo indican que la temperatura actúa directamente sobre el proceso de germinación e

TABLA 4. Análisis de varianza de las temperaturas mínimas y máximas registradas al sol durante el período de incubación (PI) de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. en tres pisos térmicos de la zona central cafetera Colombiana.

FACTORES DE VARIACIÓN	GL	TMIN°C		TMAX°C	
		CM	F	CM	F
Pisos térmicos	2	39,10	75**	143,50	118.3**
Error	76	0,52		1,21	
R^2		0,66		0,76	

** Prob > F = 0,0001.

infección de las urediniosporas y luego del establecimiento en los tejidos foliares, sobre PI y PL.

De acuerdo con Kushalappa y Eskes (10), el proceso de colonización de la roya en los tejidos del hospedante está altamente influenciado por la temperatura. De acuerdo con Bock (3), Machado y Matiello (13) y Waller (27), el hecho de que exista una relación inversa entre la altitud y la temperatura del aire se reflejó en el desarrollo de la enfermedad, ya que los períodos de incubación y de latencia disminuyeron con la altitud. Becker *et al.* (2) señalaron que en las zonas subtropicales del Brasil el período de incubación registró una duración de 21 días; en cambio, en regiones más calientes de la India, el período fue de 15 días.

Rayner (24), menciona que el rango de temperatura para el desarrollo del hongo está entre 16 y 28 °C. Alfonsi *et al.* (1) muestran que temperaturas nocturnas menores de 15°C, así como temperaturas diurnas mayores de 30°C pueden retardar significativamente las epidemias de la roya, aún cuando otros factores sean favorables. Cabe anotar que los tres pisos térmicos estudiados, se alejan un poco de este intervalo El Jazmín con temperaturas mínimas inferiores a los 15 °C y Santágueda con temperaturas máximas superiores a los 30 ° C.

Evaluación y validación de ecuaciones obtenidas en función de las temperaturas mínimas y máximas del aire. En la Tabla 5 se consignan las 3 ecuaciones mencionadas y los resultados sobre la duración del PL, utilizando los registros de temperaturas mínimas y máximas de los tres pisos térmicos; se aprecia que en todos los casos los períodos calculados fueron más largos que aquellos observados en Colombia.

Rayner (24), comparó el efecto de las temperaturas máximas y mínimas en los períodos de incubación y de latencia en Kenya y propuso la ecuación:

$$Y = 90{,}61 - 0{,}408 * X_1 - 0{,}440 * X_2 \quad <<1>>$$

Donde:

X_1 = T° máxima
X_2 = T° mínima, en grados Farenheit.

Moraes *et al.* (17), teniendo en cuenta que no se adaptaba la ecuación de Rayner a las condiciones del Brasil, desarrollaron ecuaciones

TABLA 5. Estimación de períodos de latencia (PL) de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) en Colombia , en función de las temperaturas registradas en el período del ensayo y utilizando ecuaciones obtenidas en otros países.

LOCALIDAD	Período de Latencia (PL) en días	
	Sol	Sombra
	KENYA	**RAYNER**
	$Y=63,474-0,734(X_1)-0,729(X_2)$	**R^2 (1)**
Santágueda 1010msnm	28,05	28,05
Cenicafé 1310msnm	29,98	29,89
El Jazmín 1600msnm	33,30	33,30
	BRASIL	**MORAES *et al.* (17)**
	$Y=103,01-0,98X_1-2,10X_2$	**$R^2 = 0,91$**
Santágueda 1010msnm	37,36	37,34
Cenicafé 1310msnm	40,66	40,56
El Jazmín 1600msnm	46,79	46,68
	HONDURAS	**MULLER**
	$Y=80,2+1,49X_1-1,21X_2$	**R^2 (1)**
Santágueda 1010msnm	49,92	49,82
Cenicafé 1310msnm	49,79	50,03
El Jazmín 1600msnm	52,85	52,86

Y = PL (Días entre penetración y aparición, 50% de esporulación)
X_1 = Temperatura máxima media en °C
X_2 = Temperatura mínima media en °C
(1) No incluye el valor del R^2

propias para sus condiciones regionales; algo similar se hizo en Honduras (18), donde también calcularon sus respectivas ecuaciones.

De lo anterior se concluye que, en las condiciones de la zona cafetera colombiana, no se pueden estimar los períodos en función de la temperatura, dado que en esta zona no se registran variaciones estacionales de ésta. Por tanto, en un mismo sitio no se obtienen resultados diferentes en los períodos de incubación y de latencia a través del tiempo, por la influencia de este elemento meteorológico. Las ecuaciones de regresión para la estimación del PL en función de las temperaturas medias máxima y mínima, desarrolladas por investigadores de otros países, no se ajustaron a las condiciones de Colombia.

Tasas relativas de PI y PL en función de la temperatura. Al no encontrarse en este trabajo ecuaciones significativas estadísticamente, para estimar la duración de PI y PL en función de la temperatura ambiente, se estimó esta influencia utilizando las tasas relativas, puesto que según los resultados obtenidos en este ensayo se aprecia claramente su existencia, al presentarse diferencias de los períodos entre los pisos térmicos.

En la Tabla 6 se presenta un resumen de los períodos (PI, PL) en los tres pisos térmicos y las dos modalidades de cultivo, con su correspondiente rango de temperaturas y el tiempo térmico asociado al período de observaciones. Estos períodos fueron más prolongados en el Jazmín, donde se registraron temperaturas mínimas medias de 15,2°C. y en Santágueda al sol, con temperaturas máximas medias de 29,3°C; ambos casos ubicados por fuera del intervalo óptimo para el desarrollo de la roya del cafeto.

En la Figura 6 se ilustra la reducción de los períodos a medida que se aumentan las temperaturas mínimas del aire, con la única excepción de los períodos de Santágueda al sol, lo cual como ya se anotó se debe a temperaturas altas que afectan negativamente el desarrollo de la enfermedad y no a las mínimas que resultan óptimas.

En la Tabla 7 se observa en la tasa relativa promedia de cambio (horas por grado centígrado) del PI de la roya del cafeto entre pisos

TABLA 6. Períodos (Días) de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) calculados y el rango de temperaturas registradas (C) en los tres pisos térmicos.

Rango de temperatura		JAZMIN (19 °C) Min. 15,2 max. 24,7		CENICAFE (21 °C) Min. 16,9 max. 27,4		SANTAGUEDA (23 °C) Min. 17,6 max. 29,3	
		PI	PL	PI	PL	PI	PL
SOL	$\overline{X}$	23,63	36,04	22,84	34,48	18,41	34,59
	Sx	0,44	0,59	0,61	0,65	0,51	0,63
	TT(1)	85,88	132,63	124,65	187,52	152,71	239,94
SOMBRA	$\overline{X}$	21,59	34,63	20,29	32,7	18,41	31,55
	Sx	0,51	0,59	0,46	0,6	0,39	0,64
	TT	77,45	126,22	110,09	177,84	127,80	220,19

(1)TT = Grados Día
Sx = Error estándar
$\overline{X}$ = Promedio

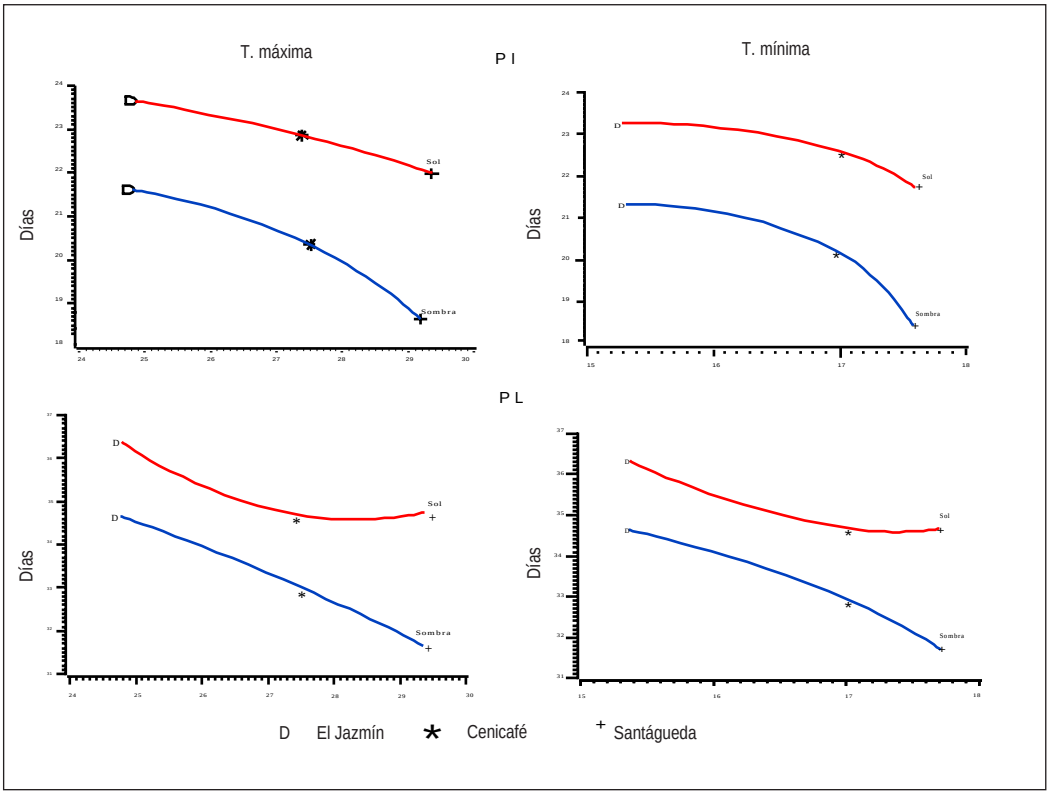

Figura 6. Tasas relativas de cambio, de los períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del café al sol y a la sombra, según comportamiento de la temperatura (máx. y min.) media, en tres tres pisos térmicos de la zona cafetera colombiana.

TABLA 7. Tasa de cambio promedio (horas/ ° C) de los períodos de Incubación (PI) y de Latencia (PL) de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) por cambio unitario (°C) en las temperaturas mínima o máxima del aire.

TCP = Δ / ΔT O ΔH / ΔT

		SOL		SOMBRA	
		T min.	**T max.**	**T min.**	**T max.**
P I	Días	-0,94381	-0,380	- 1,85	-0,7616
	Horas	23 h/ ° C	9 h/ ° C	44 h/ ° C	18 h/ ° C
P L	Días	-0,4578	-0,369	- 1,41	-0,6624
	Horas	11 h/ ° C	9 h/ ° C	34 h/ ° C	16 h/ °C

ΔD : Incremento en días
ΔH : Incremento en horas
ΔT : Incremento en temperatura °C
TCP: Tasa cambio promedio

térmicos estudiados al sol, una tendencia a disminuir su duración de 23 a 9 horas, con un aumento de 1°C en las temperaturas mínimas o máximas del aire. En el caso de la sombra fue de 44 a 18 horas. Con PL al sol, la tasa de cambio fue de 11 a 9 horas, notándose un aumento entre los pisos térmicos más calientes cuando la temperatura máxima estuvo por encima de 29 °C; se considera esto como un efecto en detrimento de la formación de urediniosporas de la roya del cafeto. Lo anterior lo registran Mónaco *et al.* (15), cuando indican que la evolución de la roya del cafeto tiende a ser retardada por efecto de temperaturas elevadas del aire, las cuales inhiben la esporulación del hongo. A la sombra, la tasa relativa de cambio fue de 34 a 16 horas por 1° C, al aumentar las temperaturas mínimas o máximas del aire, respectivamente.

La temperatura mínima registrada para la modalidad de cultivo a la sombra tuvo un efecto en la tasa relativa media de cambio de la enfermedad, haciendo que este cambio fuera más lento; es de anotar que la temperatura del aire asociada a la sombra se debe a la longitud de los períodos más no a la observación directa bajo sombra.

Estas diferencias entre la duración de los períodos de incubación y de latencia de la roya del cafeto en los distintos pisos térmicos, permiten orientar el control de la roya de manera diferencial. Según éstos, en zonas cafeteras más frías será menor el número de aplicaciones y mayor el intervalo entre aspersiones. Las investigaciones que se adelanten en épocas de control y frecuencias de aspersión, así como para los estudios de pronósticos, deberán considerar la duración de los períodos de incubación y de latencia observados en cada uno de los pisos térmicos. Los períodos de incubación y de latencia más cortos bajo sombra, coincidieron con lo observado en los estudios epidemiológicos realizados por Leguizamón *et al.* (12) en el campo en árboles adultos, donde la incidencia de la enfermedad siempre fue mayor bajo sombra, en las condiciones climáticas estudiadas, especialmente donde no hubo limitaciones en el suministro de agua.

En general, a través del tiempo no se observaron variaciones estacionales en la duración de los períodos de incubación y latencia y no se presentaron cambios significativos en la temperatura a través del año. La duración de los períodos siempre fue mayor a plena exposición solar en cualquier piso térmico. A medida que se ascendió en altitud PI y PL se prolongaron, siendo más cortos a la sombra en todas las localidades; las diferencias estuvieron entre 2 y 4 días en promedio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Junta del Acuerdo de Cartagena JUNAC, por el aporte económico dado para la realización de este trabajo, así como al Dr. Erasmo Pérez Nieto por su decisivo apoyo.

A los ayudantes de Fitopatología, Biometría y Agroclimatología, en especial a: Arcesio González, Alirio Quintero (qepd), Rubén Darío Ospina T., Carlos A. González, Carlos E. Velásquez, Carlos A. Zuluaga, Roberto Ospina A. y Hernando García O. por su ayuda permanente en los trabajos de laboratorio, campo y digitación de datos y textos, y programación de la información.

LITERATURA CITADA

1. ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; FIGUEIREDO, P. Condicoes climáticas e niveis de infeccao da ferrugem do cafeeiro em *C. arabica* L. *In*: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5.Guarapari, ES (Brasil), Outubro 18-21, 1977. Resumos. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1977. p. 108-109.

2. BECKER R., S.; MORAES, W.B.C.; QUIJANO R., M. La roya del cafeto: conocimiento y control. Schriftenreihe der 215:1-288. 1991.

3. BOCK, K.R. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. Control of coffee leaf rust in Kenya Colony. Transactions of the British Mycological Society 45(3):289-300. 1962.

4. CHALFOUN, S.M. Importancia da chuva e da temperatura do ar na incidencia da ferrugem *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em cafeeiros de tres localidades do estado de Minas Gerais. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1980. 50p. (Tesis: Maestrado)

5. ESKES, A.B. Incomplete resistance to coffee leaf rust *Hemileia vastatrix*. Wageningen, Institute of Plant Breeding Agricultural University, 1983. 145 p. (Tesis: Philosophy Doctor).

6. FIGUEIREDO, P.; ARRUDA, H.V. DE Estudo da biología de algumas racas de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Arquivos do Instituto Biológico 41(1):47-51. 1974.

7. FIGUEIREDO, P.; MARIOTTO, P.R.; SILVEIRA, A.P. DA.; GERALDO, C. Período de incubacao, evolucao de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. e a utilizacao da equacao de Rayne em algunos municipios cafeeiros do estado de Sao Paulo. O Biológico 43(1-2):32-40. 1977.

8. GARCIA B., J.; SAYAGO A., M.A.; PEREZ N., E.; SOTO N., E. Roya; simulación de la incidencia y virulencia de *Hemileia vastatrix* a través del estudio de un marco de referencia biofísico, como método de reconocimiento de la enfermedad en la región andina y áreas adyacentes. Maracay, Ministerio de Agricultura y Cría, 1974. 63 p.

9. JARAMILLO R., A.; GOMEZ G., L. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. Cenicafé 40(3):65-79. 1989.

10. KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. Coffee Rust: Epidemiology, Resistance, and Management. Boca Raton, CRC Press, 1989. 345 p.

11. KUSHALAPPA, A.C.; MARTINS, C.P. Incubation and generation periods for *Hemileia vastatrix* on coffee in Vicosa, Minas Gerais. Fitopatología Brasileira 5(2):177-183. 1980.

12. LEGUIZAMON C., J.E.; OROZCO G., L.; GOMEZ G., L. Estudio de períodos de incubación y latencia de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* en la zona cafetera colombiana. *In*: Informe final de investigación en epidemiología de la roya del cafeto *Hemileia vastastrix* Berk. et Br. en Colombia. Chinchiná, JUNAC-CENICAFE, 1991. p. 57-63.

13. MACHADO, J.R.M.; MATIELLO, J.B. Curva epidemiológica da ferrugem *Hemileia vastatrix* Berk et Br. em cafeeiros sombreados e a pleno sol, na Ibiapaba, noroeste do Ceará. *In*: Simposio sobre Ferrugens do Cafeeiro.Oeiras 17-20 de Outubro. 1983. Comunicacoes. Oeiras, Centro de Investigacao das Ferrugens do Cafeeiro, 1983. p. 159-161.

14. MAYNE, W.W. Seasonal periodicity of coffee leaf disease *Hemileia vastatrix*, B. et Br. Mysore, The Mysore Coffee Experiment Sation, 1930. 20 p. (Bulletin No. 6).

15. MONACO, L.C.; RIBEIRO, I.J.A.; TISSELI F, O.; SUGIMORI, M.H.; SCALI, M.H. Efeito da temperatura na esporulacao da ferrugem. *In*: Congresso Brasileiro sobre Pragas e Doencas, 1. Victoria, ES, Julho 4-6, 1973. Río de Janeiro, IBC-GERCA, 1973. p. 36.

16. MONTOYA H., R. Influencia da temperatura e da luz na germinacao infectividade e periodo de geracao de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. Vicosa. Universidade Federal de Vicosa, 1973. GOP.(Tesis: Maestrado).

17. MORAES, S.A.; SUGIMORI, M.H.; RIBEIRO, I.J.A.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO J., M.J. Período de incubacao de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em tres regioes do estado de Sao Paulo. Summa Phytopathologica 2(1):32-38. 1976.

18. MULLER, R.A. Algunos conceptos sobre los estudios de epidemiología y de evaluación de los daños causados por la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* B. et Br. y *H. coffeicola* Maublanc et Roger. *In*: Taller Regional sobre Epidemiología de la Roya del Cafeto. Antigua 7-9 de noviembre. 1984. Antigua, IICA-PROMECAFE, 1984. 20 p. (Serie de Publicaciones misceláneas No. 604).

19 NUTMAN, F.J.; ROBERTS, F.M. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Transactions of the British Mycological Society 46(1):27-48. 1963.

20. OLIVEIRA, B. DE. As ferrugens do cafeeiro. Lisboa, Junta de Exportacao do Café, 1960. 61 p.

21. ORTOLANI, A.A. Contribuicao ao estudo ecológico da ferrugem do cafeeiro *Hemileia vastatrix* Berk et Br. em diferentes populacoes de *Coffea arabica* L. da regiao de Pindorama, SP. Botucatu, Faculdade de Ciencias Médicas e Biológicas, 1973. 91 p. (Tese Doutor em Ciencias).

22. PEDRO J., M.J. Effects of meteorological factors on the development of coffee leaf rust. EPPO Bulletin 13(2):153-155. 1983.

23. RAYNER, R. Micología, historia y biología de la roya del cafeto. Turrialba, IICA-Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, 1972. 68 p. (Publicación Miscelánea No. 94).

24. RAYNER, R.W. Germination and peneteration studies on coffee rust *Hemileia vastatrix.* Annals of Applied Biology 49(3):497-505. 1961.

25. RIBEIRO, I.J.A.; MONACO, L.C.; TISSELLI FILHO, O.; SUGIMORI, M.H. Efecto de la alta temperatura sobre la evolución de *Hemileia vastatrix* en cafeto susceptible. Turrialba 29(3):213-218. 1979.

26. SANTACREO, R.; REYES P., E.; OSEGUERA O., S. Estudio del desarrollo de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafeteras de Honduras, C.A. *In:* SIMPOSIO Latinoamericano sobre Caficultura, 6. Panamá, Noviembre 24-25, 1983. San José, IICA-PROMECAFE, 1983. p. 199-213.

27. WALLER, J.M. Coffee rust - epidemiology and control. Crop Protection 1(4):385-404. 1982.

28. WALLIS, J.A.N.; FIRMAN, I.D. Spraying *arabica coffee* for the control of coffee berry disease *Colletotrichum coffeanum.* Annals of Applied Biology 55(1):139-148. 1965.

29. ZADOKS, J.C.; SHEIN, I.D. Epidemiology and plant disease management. Oxford, Oxford University Press, 1979. 427p.