

# EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA INCOMPLETA DE CAFÉ A *Hemileia vastatrix* RAZAS II Y XXII EN PROGENIES DE CATURRA X HÍBRIDO DE TIMOR DEL GRUPO FISIOLÓGICO E, EN CONDICIONES DE ALMÁCIGO<sup>1</sup>

Diego Francisco Álvarez-Lemus\*; Gabriel Alvarado-Alvarado\*\*\*

## RESUMEN

ÁLVAREZ L., D. F.; ALVARADO A., G. Evaluación de la resistencia incompleta de café a las razas II y XXII de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor del grupo fisiológico E, en condiciones de almacigo. *Cenicafé* 52(4):270-288. 2001

Se evaluaron componentes de resistencia incompleta en almacigo, en progenies F5 y F6 de var. Caturra por el Híbrido de Timor, pertenecientes al grupo fisiológico E, que se inocularon con las razas II y XXII de *Hemileia vastatrix*. Caturra fue el testigo susceptible. Se inocularon plántulas utilizando la técnica de gota. Se evaluaron los componentes de resistencia Período de Incubación (PI), Inicio de la Esporulación (INESP), Período de Latencia (PL), Intensidad de Esporulación (IE), Porcentaje de Lesiones Esporulantes (PLE), Frecuencia de Infección (FI) y Área Bajo la Curva de Crecimiento de la Lesión (ABC). Todas las progenies presentaron niveles altos de resistencia incompleta que en algunos casos limitaron la reproducción del patógeno y mostraron niveles de resistencia diferentes a los de Caturra, con mayores PI, INESP y PL, y menores IE, PLE, FI y ABC. No hubo efecto de las razas ni especificidad con los hospedantes, pero sí buena correlación entre los componentes de resistencia, lo que permitió seleccionar el INESP, PLE y FI para evaluación posterior de germoplasma. Se encontraron asociaciones entre las variables de medida de la resistencia en el campo y los componentes de resistencia evaluados en el almacigo, de interés para la selección por resistencia incompleta. La variabilidad en la respuesta de resistencia y la escasez de plantas del grupo E, resaltan el valor de examinar y seleccionar los materiales al nivel de planta como fuente de resistencia incompleta.

**Palabras claves:** Café, *Coffea arabica*, componentes de resistencia, *Hemileia vastatrix*, resistencia incompleta, resistencia genética, variedad Caturra, Híbrido de Timor.

## ABSTRACT

Components of incomplete resistance were evaluated in plantlets of F5 and F6 progenies derived from the cross between *Coffea arabica* var. Caturra and Timor Hybrid. The plantlets belonged to the physiological group E and were inoculated with races II and XXII of *Hemileia vastatrix* Berk et Br. using the drop technique. Caturra cultivar was used as susceptible control. The resistance components evaluated were Incubation Period (IP), Sporulation Beginning (SB), Latency Period (LP), Sporulation Intensity (SI), Percentage of Sporulant Lesions (PSL), Infection Frequency (IF) and Area Under Disease Progress Curve (AUDPC). All the progenies exhibited high incomplete resistance levels that, in some cases, delayed the pathogen reproduction and showed resistance levels different from those of the Caturra cultivar, with higher IP, INESP and LP, and lower IE, PSL, FI and AUDPC. There was neither effect of the strains nor specificity with the hosts. Nevertheless, there was a good correlation among the evaluated resistance components which allowed to select BS, PSL and IF for future germplasm evaluations. There were some associations among resistance measurement variables in field and resistance components measured in the plantlets, which could be appealing for selection by incomplete resistance. The resistance response variability and the lack of group E plants, emphasize the importance of screening and selecting the materials at plant level as a source of incomplete resistance.

**Keywords:** Coffee, *Coffea arabica*, resistance components, *Hemileia vastatrix*, incomplete resistance, genetic resistance, Caturra variety, Timor Hybrid.

<sup>1</sup> Fragmento de la tesis "Evaluación de la resistencia incompleta de café a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. razas II y XXII, en progenies de Caturra x Híbrido de Timor del grupo fisiológico E, en condiciones de almacigo" presentada a la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

\* Estudiante de Ingeniería Agronómica. Becario Colciencias-Cenicafé

\*\* Investigador Científico II. Mejoramiento Genético y Biotecnología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

El proceso de mejoramiento del café (*Coffea arabica* L.) por resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) realizado por Cenicafé, ha permitido al caficultor colombiano el manejo de la enfermedad sin recurrir al uso de productos químicos costosos y contaminantes. El empleo de variedades mejoradas con resistencia a la roya es la forma más económica y efectiva para el manejo de la enfermedad.

La obtención de resistencia durable a la roya del café es uno de los principales objetivos del mejoramiento genético del café. Bajo un esquema de diversidad, este objetivo involucra el aprovechamiento y utilización de las diferentes fuentes de resistencia presentes en el germoplasma disponible. Las variedades mejoradas que se utilizarán en los próximos años estarán compuestas por líneas con resistencia completa y/o incompleta. Estas variedades retardan considerablemente el establecimiento y propagación de razas compatibles del patógeno y evitan la ocurrencia de epidemias.

La Disciplina de Mejoramiento Genético y Biotecnología de Cenicafé, desde 1988, viene desarrollando el proyecto "Selección por resistencia incompleta a la roya del café", con el objetivo de identificar y aprovechar este tipo de resistencia. Para ello se ha trabajado sobre germoplasma de generación avanzada proveniente del cruzamiento entre líneas de la variedad Caturra de *C. arabica* y el Híbrido de Timor (Cat x H.T.) como base para la selección, teniendo en cuenta el hecho de que estos materiales poseen un fondo de resistencia incompleta importante, que se hace explícito cuando la resistencia completa es vencida por nuevas combinaciones del patógeno.

Parlevliet (20), define resistencia genética como la capacidad que tiene un hospedante de limitar el crecimiento de un patógeno. Esta resistencia afecta la multiplicación del patógeno e indirectamente su dispersión. La resis-

tencia se ha clasificado con base en la interacción hospedante-patógeno, tipo de herencia, durabilidad, etapa de la patogénesis en la que actúa, características de la epidemia, entre otros, generando controversia entre los diferentes autores (19, 20, 24, 30). Vanderplank (30), plantea la existencia de dos tipos de resistencia, vertical y horizontal, de acuerdo a la ocurrencia o no de interacción en sentido estadístico entre razas y variedades. La resistencia horizontal se expresa contra todas las razas del patógeno mientras que la vertical es de tipo específico; la vertical es de carácter monogénico y la horizontal poligénico, por lo que se ha postulado que la resistencia vertical no es durable en el tiempo mientras que la horizontal sí. En la práctica, más que definir una clasificación estricta de la resistencia se debe analizar la interacción hospedante-patógeno en cada caso y discutir su posible uso en términos de resistencia durable.

Eskes (11), estudiando la resistencia del café a la roya, definió la resistencia incompleta como aquella que permite alguna reproducción del patógeno sobre un hospedante dado. Esta resistencia puede ser analizada con base en una evaluación detallada del desarrollo del patógeno y de la enfermedad.

En café, la resistencia ha sido estudiada en condiciones de campo, invernadero y laboratorio mediante la calificación y/o cuantificación de los síntomas y signos de la enfermedad, asumiendo que estos se relacionan con el desarrollo del patógeno sobre el hospedante. En campo se ha evaluado el desarrollo de las epidemias de roya, identificando materiales con resistencia incompleta a la enfermedad mediante parámetros relacionados con incidencia y severidad, y con los efectos de la enfermedad sobre la producción (1, 6, 7). En vivero (plantas jóvenes) la resistencia incompleta ha sido evaluada utilizando escalas tipológicas y mediante los componentes de la resistencia (10, 11, 12, 25, 26, 31). Las escalas tipológicas describen y

califican el tipo de reacción presente, en términos de síntomas y signos de hospedante y patógeno, respectivamente; no miden parámetros cuantitativos. Dentro de estas escalas se encuentra la escala 0-9 desarrollada por Oliveira en el CIFC<sup>1</sup> que es una adaptación del sistema clásico de evaluación empleado para la roya de los cereales, y ha sido utilizada ampliamente en la evaluación de resistencia en germoplasma de café; la escala de reacciones crecientes 0-7 propuesta por Leguizamón (15), que permite observar la dinámica del desarrollo de lesiones individuales; y las escalas I, II, III y IV, desarrolladas por Eskes y Toma-Braghini, citados por Eskes (10), que evalúan incidencia y severidad tomando como unidad de observación la planta, la rama, la hoja y discos de hoja, respectivamente.

La resistencia en café también ha sido cuantificada mediante los componentes de resistencia tales como frecuencia de infección, período de latencia, intensidad de esporulación y duración de la esporulación. Estos componentes en forma individual tienen efectos diferentes en el desarrollo de la enfermedad y en conjunto, limitan la ocurrencia de epidemias (10, 11, 22). La expresión de la resistencia incompleta es cuantitativa y su efecto final corresponde a la sumatoria del efecto de los componentes de la resistencia (20).

Otro parámetro utilizado en la medida de la resistencia es el área bajo la curva de progreso de la enfermedad; éste, involucra el tiempo, la tasa de progreso y el nivel final de intensidad de la enfermedad. El área bajo la curva ha sido, considerado como el parámetro mas consistentemente asociado con la resistencia incompleta en la mayoría de patosistemas (21, 22).

En café, la resistencia incompleta ha sido estudiada sobre germoplasma de variado ori-

gen, principalmente en genotipos de *C. arabica*, *C. canephora* y derivados del Híbrido de Timor. (1, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 18, 25, 26, 31). En genotipos derivados del Híbrido de Timor la existencia de este tipo de resistencia ha sido puesta en evidencia por diferentes investigadores. Su expresión se ha caracterizado por variaciones importantes en el grado de resistencia, expresada por la ocurrencia de tipos de reacción intermedios y bajos, por prolongaciones en el tiempo a inicio de síntomas y signos del patógeno (períodos de incubación y latencia), así como un área afectada de menor magnitud y menor producción de esporas (14, 18, 25, 26, 31).

La evaluación de germoplasma derivado del H.T. del grupo fisiológico E, en donde el gen SH5 es inefectivo contra las razas que poseen el factor de virulencia v5, es de gran interés porque permite ver el fondo de resistencia proveniente de este híbrido, en ausencia de genes mayores de resistencia. La cuantificación del grado de resistencia incompleta debe realizarse en genotipos sensibles a las razas del patógeno contra las que se desea evaluar (10, 11).

En Cenicafé se explora germoplasma de generación avanzada con atributos agronómicos sobresalientes, en busca de genotipos con resistencia incompleta a la roya del cafeto, principalmente a través de evaluaciones de campo. Debido al gran volumen de germoplasma por evaluar, el empleo de métodos que permitan identificación temprana de genotipos con resistencia incompleta es promisorio, ya que permitirían explorar un alto número de materiales por esta característica en corto tiempo y con menos recursos.

Como objetivos de esta investigación se buscó evaluar una metodología de cuantificación de la resistencia incompleta, en condiciones de almácigo a través de la medi-

<sup>1</sup> Centro de Investigaçao das Ferrugens do Cafeeiro (Centro de Investigaciones de la "Roya" del Cafeto), Oeiras, Portugal.

ción de los componentes de la resistencia, señalando aquellos que mejor describen su expresión e identificar progenies del grupo fisiológico E con alto nivel de resistencia incompleta, en germoplasma derivado del cruzamiento entre la variedad Caturra y el Híbrido de Timor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del experimento.** El trabajo se desarrolló en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, localizado en Chinchiná, Caldas, a 1400msnm, con un promedio de temperatura de 20,8°C y precipitación anual de 2656mm. Las inoculaciones del material vegetal se realizaron en el Laboratorio de la Disciplina de Fitopatología y las evaluaciones en los almácigos de Cenicafé y de la Estación Central Naranjal.

**Selección de segregantes del grupo fisiológico E.** Se inoculó la descendencia de 122 progenitores de generación avanzada de Cat x H.T. con la raza II de *H. vastatrix*, y se seleccionaron 185 plantas sensibles del grupo fisiológico E en 27 de ellos (Tabla 1). La proporción de plantas del grupo E en la mayoría de progenies inoculadas varió entre 0,19 y 1,48%. Las progenies de Rs.460.P66, BI.51, BI.53, BI.74, BI.76 y BI.625, que presentaron las mayores proporciones de plantas del grupo E (10,0 a 14,4%) fueron previamente seleccionadas por resistencia incompleta a la roya, y desde la aparición de la enfermedad en Colombia presentaban lesiones en el campo. La baja frecuencia de plantas del grupo E es explicable por la selección previa por resistencia completa a *H. vastatrix* hecha en estos materiales, consistente en eliminar aquellos progenitores con altas proporciones de plantas sensibles a la raza II (8).

**Material vegetal para evaluación de resistencia incompleta.** Se evaluaron plantas

segregantes del grupo fisiológico E de 27 progenitores de Cat x H.T.; la variedad Caturra de *C. arabica* se utilizó como testigo susceptible (Tabla 2). El material se sembró en bolsas de polietileno de 23x40cm sobre un sustrato compuesto por suelo y materia orgánica en proporción 3:1.

**Inóculo de roya.** Se utilizaron las razas II<sub>(v5)</sub> y XXII<sub>(v5, v6)</sub> de *H. vastatrix*, proporcionadas por la Disciplina de Fitopatología de Cenicafé. Éstas se multiplicaron sobre plántulas de la var. Caturra provenientes de semilla obtenida por autofecundación. Se utilizó inóculo con germinación de uredinosporas superior al 50%.

**TABLA 1.** Progenitores de Cat x H.T. en los que se seleccionaron progenies del grupo fisiológico E.

Progenitor	Progenie		% E
	Inoculadas	E	
BI.74	160	23	14,40
Rs.460.Rs.P66	160	22	13,75
BI.51	160	19	11,90
BI.76	160	19	11,90
BI.625	160	18	11,30
BI.53	160	16	10,00
CX.2190	943	14	1,48
CU.1872	1040	12	1,15
CX.2251	969	6	0,62
CU.1873	1021	4	0,39
CX.2192	911	4	0,44
CX.2506	1044	3	0,29
CX.2175	984	3	0,30
CX. 2171	975	3	0,31
CX.2368	989	2	0,20
Rs.853.Rs.P53	160	2	1,25
CU,1817	861	2	0,23
CU.1875	1046	2	0,19
DH.101	931	2	0,24
BG.502	160	2	1,25
CU.1794	911	1	0,11
BG.24	160	1	0,60
CU.1814	933	1	0,11
CX.2356	791	1	0,13
CU.1827	667	1	0,15
Rs.841.Rs.P68	160	1	0,63
CX.2188	847	1	0,12

**TABLA 2.** Genealogía de los materiales estudiados en el experimento MEG0277.

Híbrido	Genealogía	F3	F4	F5
H.3001	CA <sup>(*)</sup> -CV.1 x HT 1343 I.574 CV2	A.192	Pr.64	BI.51
“	“			BI.53
“	“			BI.625
“	“	A.293	Lb.490	BI.74
“	“			BI.76
H.3004	CA.L572 x HT 1343 Mezcla(**)	A.404	Rs.460	Rs.460.Rs.P66
H.3005	CR.L426 x HT 1343 Mezcla	B.1308	CX.2251	
“	“	B.1030	CU.1872	
“	“	B.1322	CX.2190	
H.3001	CA-CV1 x HT 1343 I574 CV2	A.168	Rs.853	Rs.853.Rs.P53
“	“	A.170	Sp.461	BG.24
“	“	A.192	Lb.230	BG.502
“	“		Rs.841	Rs.841.Rs.P68
H.3004	CA.L572 x HT 1343 Mezcla	AW.2982	DH.101	
H.3005	CR.L426 x HT 1343 Mezcla	B.991	CU.1794	
“	“	B.995	CX.2356	
“	“		CX.2368	
“	“	B.997	CU.1814	
“	“	B.1030	CU.1873	
“	“		CU.1875	
“	“	B.1159	CX.2506	
“	“	B.1322	CX.2171	
“	“		CX.2175	
“	“		CX.2188	
“	“		CX.2192	

(\*) CA:Caturra amarillo; CR:Caturra rojo

(\*\*) Mezcla de polen de árboles de la Introducción 1343 del Híbrido de Timor.

### Inoculación para evaluación de resistencia incompleta.

En cada planta se tomaron pares de hojas completamente desarrolladas en las que se hizo la inoculación, aleatoriamente, una hoja con la raza II y la otra con la raza XXII, utilizando la técnica de gota (Figura 1) (2). La concentración del inóculo fue de  $75 \times 10^3$  urediniosporas/mL (15).

**Variables de respuesta.** Las evaluaciones se realizaron cada 2 días a partir de los 15 días después de la inoculación (ddi). Se determinaron las siguientes variables de respuesta:

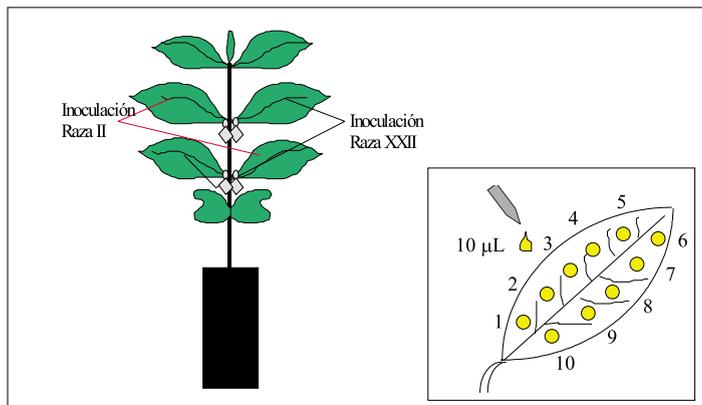
Período de Incubación (PI), como el tiempo transcurrido entre la inoculación y la aparición de los primeros síntomas.

Inicio de la Esporulación (INESP), como el número de días entre la inoculación y la aparición de las primeras estructuras reproductivas.

Período de Latencia (PL), como el número de días entre la inoculación y la esporulación en el 50% de los sitios con síntomas.

Área Bajo la Curva de Crecimiento de la Lesión (ABC), midiendo semanalmente el área de la lesión en los sitios en que se presentaron síntomas, desde su aparición hasta los 50-55 días, asumiendo un crecimiento circular de la lesión (2).

Intensidad de Esporulación (IE), como el número de esporas producidas por unidad de



**Figura 1.**  
Esquema de inoculación, mediante la técnica de gota (15).

área. Quince días después del PL se recolectaron las esporas producidas en cada una de las lesiones de la unidad experimental y se midió el área correspondiente (AL). Se preparó una suspensión de urediniosporas en un volumen conocido de agua destilada (V) y se contó el número de esporas/mL de suspensión (NE), utilizando la cámara de conteo de células (Counting Cell, Sedgewick Rafter Cell S50). La Intensidad de esporulación se calculó de acuerdo a la siguiente relación:

$$IE = (NE \times V) / AL.$$

Frecuencia de Infección (FI), como el porcentaje de sitios inoculados en los que se presentaron síntomas.

Porcentaje de Lesiones Esporulantes (PLE), como la relación entre el número de lesiones con esporas por hoja y el número de manchas cloróticas por hoja.

**Diseño experimental y tratamientos.** Los tratamientos se sortearon en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 28 x 2 (27 progenies y la variedad Caturra, inoculadas con las razas II y XXII del patógeno). La unidad experimental fue la hoja. El número de unidades

experimentales varió de acuerdo al número de plantas del grupo **E** identificadas y a la disponibilidad de hojas jóvenes, completamente desarrolladas, adecuadas para la inoculación.

**Análisis estadístico.** Se realizó análisis de varianza para las variables mencionadas. Se compararon las progenies con el testigo susceptible por medio de la prueba de Dunnett ( $p=0,95$ ) y se establecieron grupos homogéneos entre ellas mediante la prueba múltiple de Tukey ( $p=0,95$ ). Se calculó el grado de asociación entre componentes de resistencia mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (5%), y mediante el coeficiente de correlación de rangos de Spearman ( $r_s$ ) se estableció una asociación entre la información obtenida en el almácigo con resultados de campo, en los que se evaluó la resistencia incompleta en progenies de BI.51, BI.53, BI.74, BI.76 y BI.625, hermanas de autofecundación de las evaluadas en este experimento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La reacción de las progenies del grupo **E** evaluadas frente a las razas II y XXII, permitió separar la respuesta en dos grupos de progenies, el **Grupo Esporulado (I)** conformado

por 6 progenies en las que la infección avanzó hasta la esporulación; y el **Grupo No esporulado (II)** conformado por 21 progenies en las que sólo se presentaron síntomas caracterizados por reacciones de hipersensibilidad, típicas de la expresión de resistencia completa y no se completó el monociclo de la enfermedad en el período de observaciones. La variedad Caturra expresó un desarrollo normal de la enfermedad (Tabla 3).

Se plantearon las siguientes hipótesis para explicar esta respuesta:

- Las progenies poseen un alto grado de resistencia incompleta que no permitió durante el tiempo de la evaluación observar el inicio de la esporulación.

- Se indujo la expresión de resistencia sistémica en hojas verdaderas como consecuencia de la inoculación sobre hojas cotiledonares en la identificación de segregantes del grupo E.

- Se identificaron falsos positivos debido a la mayor presión de inóculo sobre las hojas cotiledonares, lo que podría permitir la expresión transitoria de síntomas de la enfermedad en algunas de las plantas seleccionadas.

La literatura señala la existencia de resistencia residual en derivados del H.T., sin que exista acuerdo sobre el determinismo de la misma, que opera cuando los genes mayores responsables de la resistencia completa son vencidos. Trabajos realizados en laboratorio, en vivero y en el campo, coinciden en señalar la existencia de una amplia variación en resistencia incompleta, desde altos niveles hasta completa susceptibilidad, pasando por reacciones intermedias (10, 11, 12, 15, 18, 25, 26, 27, 31).

Goncalves *et. al.*, citados por Eskes (11), evaluaron la resistencia en 60 plantas del H.T.

**Tabla 3.** Porcentaje de hojas con esporulación y síntomas en las progenies inoculadas en los Grupos Esporulado (I) y no esporulado (II), y variedad Caturra.

<b>GRUPO ESPORULADO</b>			
<b>Progenitor</b>	<b>Síntomas</b>	<b>Esporulación</b>	
BI. 51	78,16	10,86	
BI. 53	75,21	8,50	
BI. 74	90,13	3,26	
BI. 76	83,45	0,96	
BI. 625	70,85	5,74	
Rs.P66	83,91	59,83	

<b>GRUPO NO ESPORULADO</b>			
<b>Progenitor</b>	<b>Síntomas</b>	<b>Progenitor</b>	<b>Síntomas</b>
BG.24	69,05	CX.2188	61,90
BG.502	59,17	CX.2190	87,05
CU.1794	100,00	CX.2192	90,03
CU.1814	100,00	CX.2251	66,47
CU.1817	87,06	CX.2356	60,71
CU.1827	83,33	CX.2368	73,21
CU.1872	55,61	CX.2506	69,44
CU.1873	74,21	DH.101	72,92
CU.1875	24,75	Rs.P53	95,00
CX.2171	97,22	Rs.P68	71,67
CX.2175	81,62		

<b>TESTIGO SUSCEPTIBLE</b>		
<b>Variedad</b>	<b>Síntomas</b>	<b>Esporulación</b>
CATURRA	97,67	94,48

en la isla de origen. Encontraron que 23 plantas no presentaron síntomas (resistencia completa), 29 presentaron clorosis y reacciones heterogéneas, en tanto que 8 fueron completamente susceptibles. En la Universidad Federal de Vicosa (UFV), se evaluó la progenie de 150 plantas F4 y F5 de Cat x H.T., y se constató que muchas plantas tenían reacción intermedia (11). Trabajos realizados en el Instituto Agronómico de Campinas (IAC), orientados por Eskes (12), tienden a demostrar que la resistencia incompleta presente en derivados del H.T. es de naturaleza específica. Leguizamón (15), evaluó el nivel de resistencia incompleta en progenies F3 de Cat x H.T. susceptibles a la raza II, encontrando variación en la expresión de la misma.

Varzea *et. al.* (31), probaron progenies F5

de Cat x H.T. procedentes de Colombia, con las correspondientes razas compatibles. Encontraron que cuando la resistencia completa es vencida, prevalece un alto grado de resistencia residual a la misma. Santacreo (25, 26) afirma que la ocurrencia de esporulación en combinación con reacciones de hipersensibilidad es indicativa de que la resistencia horizontal puede estar asociada con reacciones de resistencia vertical. Moreno (18) observó variación en el nivel de resistencia en progenies de generaciones avanzadas de Cat x H.T. desarrolladas en Colombia, susceptibles a la raza II, y la atribuyó a la expresión de genes de resistencia incompleta cuya combinación puede producir reacciones de resistencia completa, y no a genes mayores de la serie SH6-SH9.

Broers (4, 5), anota que en algunos materiales de trigo en los que se midieron los componentes de resistencia a *Puccinia striiformis*, se podría haber presentado esporulación si la maduración de las plantas hubiera sido más prolongada, lo que habría permitido un período más largo para el desarrollo del patógeno.

Alvarado y Castillo (1) en condiciones de campo, midieron el progreso de la roya sobre genotipos resistentes y susceptibles a *H. vastatrix*, encontrando que la resistencia que poseen se caracteriza por una marcada dilación en el inicio de la epidemia – entre 4 y 5 meses - y una baja tasa de progreso de la enfermedad.

Vanderplank (30) destaca los enormes efectos cuantitativos de la resistencia horizontal que opera sobre el proceso de infección al reducir la proporción de esporas que llegan a producir pústulas. En opinión de Deadman (9) bajo ciertas circunstancias la resistencia horizontal puede detener el inicio de la epidemia, si el porcentaje de esporas que pueden infectar exitosamente un hospedante se reduce. El primer ciclo de una epidemia policíclica puede ser detenido en la misma forma que ocurriría cuando se presenta resistencia vertical. Por otra

parte, al reducirse el nivel de enfermedad, se reduce el inoculo responsable del próximo ciclo de patogénesis. Si la resistencia dilatoria observada en café, sobre genotipos de Cat x H.T. del mismo origen de los que se utilizaron en este trabajo, tiene un efecto similar al discutido por Deadman y Vanderplank, esto podría explicar la bajísima reproducción del patógeno durante el período de evaluaciones, insuficiente para observar la esporulación del hongo.

Con relación a la posible inducción de resistencia sistémica en café los resultados obtenidos son contradictorios. Hojas de café pretratadas con urediniosporas muertas o con extractos de esporas, mostraron protección localizada y de corta duración, que se manifiesta por una baja densidad de lesiones cuando fueron infectadas nuevamente. Sin embargo, las infecciones de roya establecidas no parecen inducir protección sistémica (11).

El café es una planta de ciclo productivo que se prolonga por 20 o más años y la epidemia de roya es un proceso lento que ocupa aproximadamente 16 de los 18 a 20 meses que duran las hojas. Parece lógico suponer que si ocurre el fenómeno de la resistencia sistémica, las primeras infecciones operarían como un mecanismo de atenuación de las futuras epidemias. Sin embargo, es evidente que eso no sucede en el cultivo del café, donde la magnitud de las epidemias se encuentra asociada con períodos de alta producción, favorecidas por la temperatura y la distribución y cantidad de las lluvias.

En cuanto a la identificación de falsos positivos del grupo E, contradice la experiencia de más de 20 años de evaluación rutinaria de derivados del Híbrido de Timor, adelantada en la Disciplina de Fitopatología de Cenicafé, inoculando mediante la técnica de aspersión las hojas cotiledonares del material en evaluación (16). Los resultados obtenidos de la frecuencia de plantas del grupo E, concuerdan con las proporciones obtenidas en el CIFIC de Portugal y con

las frecuencias de plantas susceptibles (grupo E) observadas en el campo en fincas de caficultores

**Componentes de resistencia.** El análisis de las variables de respuesta se realizó en forma independiente para los grupos I y II. En los grupos I y II hubo diferencias estadísticas entre progenies para los componentes de resistencia evaluados. No hubo efecto de razas, excepto para la frecuencia de infección en el grupo I, ni interacción raza por progenie (Tablas 4 y 5). Los promedios de los componentes de resistencia para de los grupos I y II se presentan en las Tablas 6 y 7, respectivamente.

**Período de Incubación.** En general, las progenies evaluadas presentaron mayores valores en

los períodos de incubación, retrasando el inicio de síntomas hasta en 28% con relación a la variedad Caturra. En el grupo I el PI relativo varió entre 1,05 y 1,23, mientras que en el grupo II varió entre 0,97 y 1,28 (Tablas 6 y 7).

Genotipos portadores de resistencia parcial reducen el progreso en la colonización del tejido, lo que ocasiona una disminución visible en la tasa de desarrollo de los síntomas cuando se les compara con genotipos susceptibles (22).

Evaluaciones realizadas en el CIFIC de Portugal, en progenies F4 de Cat x H.T. de Colombia, separadas por su grupo fisiológico de reacción a *H. vastatrix*, mostraron que las segregantes del grupo E conformaban un grupo

**TABLA 4.** Análisis de varianza para los componentes de resistencia en el Grupo I

Fuentes de Variación	GL	PI		INESP		PLE		FI		ABC	
		GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Progenie	6	4,79E-5 ***	1,25E-2 ***	7,58E+11 ***	1,09E+6 ***	3,21E+9 ***					
Raza	1	0,00 Ns	1,60E-4 Ns	2,97E+9 Ns	1,30E+5 ***	7,26E+7 Ns					
Progenie x Raza	6	1,00E-7 Ns	1,29E-4 Ns	9,65E+9 Ns	1,25E+4 Ns	1,41E+7 Ns					

Fuentes de Variación	GL	IE		PL	
		GL	CM	GL	CM
Progenie	5	1,02E ***	3	1,09E-1 ***	
Raza	1	1,24E-1 Ns	1	5,57E-4 Ns	
Progenie x Raza	5	6,80E-2 Ns	3	1,06E-3 Ns	

1/Transformada a PI<sup>2</sup>; 2/Transformada a INESP<sup>1/2</sup>; 3/Transformada a (log<sub>10</sub> PL); 4/Transformada a (log<sub>10</sub> IE); 5/Transformada a PLE<sup>2/3</sup>; 6/ Transformada a FI<sup>1,3</sup>

**TABLA 5.** Análisis de varianza para los componentes de resistencia en el Grupo II

Fuentes de variación	GL	PI <sup>1/</sup>		FI <sup>2/</sup>	
		GL	CM	GL	CM
Progenie	21	1,04E-5 ***	2,69E+5 ***		
Raza	1	1,60E-7 Ns	5,48E+2 Ns		
Progenie x raza	21	6,10E-7 Ns	8,27E+2 Ns		

1/ Transformada a PI<sup>2</sup>; 2/ Transformada a FI<sup>1,3</sup>

**TABLA 6.** Promedio de los componentes de resistencia, en términos absolutos y expresados con relación a la variedad Caturra (Grupo I).

PROGENITOR	PI		INESP		PL		IE	
	Prom	Rel. Cat <sup>1/</sup>	Prom	Rel. Cat	Prom	Rel. Cat	Prom	Rel. Cat
BI.51	19,98*** <sup>2/</sup>	1,20	40,18***	1,37	43,67***	1,34	304,45***	0,46
BI.53	20,48***	1,23	42,28***	1,44	43,00***	1,32	213,43***	0,32
BI.74	17,42	1,05	41,44***	1,41	40,33	1,24	449,22	0,67
BI.76	17,62***	1,06	35,00	1,19	—	—	158,83	0,24
BI.625	19,84***	1,19	46,50***	1,59	—	—	185,68***	0,28
Rs.460.Rs.P66	17,79***	1,07	34,72***	1,18	36,75***	1,13	653,95	0,98
CATURRA	16,64	1,00	29,32	1,00	32,60	1,00	667,36	1,00
CV (%)	23,86		19,00		10,99		45,26	

PROGENITOR	PLE		FI		ABC	
	Prom	Rel. Cat	Prom	Rel. Cat	Prom	Rel. Cat
BI.51	47,59***	0,52	38,88***	0,52	291,49***	0,09
BI.53	44,81***	0,49	39,45***	0,53	208,88***	0,06
BI.74	31,32***	0,34	57,49***	0,77	525,53***	0,16
BI.76	28,53***	0,31	48,85***	0,65	328,57***	0,10
BI.625	40,73***	0,45	38,23***	0,51	180,57***	0,06
Rs.460.Rs.P66	85,03***	0,93	60,16***	0,80	2155,14***	0,66
CATURRA	91,27	1,00	74,80	1,00	3293,51	1,00
CV (%)	45,11		52,07		137,24	

1/ Valores expresados con relación a la Variedad Caturra.

2/ \*\*\*Diferencias significativas al 5%, de acuerdo a la prueba de Dunnett.

homogéneo caracterizado por presentar un PI mayor y estadísticamente diferente con relación a Caturra (31). Resultados similares fueron obtenidos por Santacreo (25, 26), al inocular introducciones de *C. arabica*, portadoras de factores simples de resistencia y derivados de Cat x H.T., con valores de PI superiores en 26 y 40% respectivamente, con relación al testigo susceptible (Catuai).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el grupo no esporulado, es conveniente realizar un seguimiento de la respuesta de resistencia en el campo.

#### **Inicio de la esporulación y período de latencia.**

El INESP tardó de 18 a 46% más que la variedad Caturra, y sólo en la progenie de BI.76 presentó valores similares al testigo. Las progenies de

BI.51, BI.53, BI.74 y BI.625 presentaron valores estadísticamente similares para esta variable. El PL de las progenies de Rs.460.P66, BI.53 y BI.51 fue mayor y diferente al de la variedad Caturra, entre 13 y 34%. En las progenies de BI.76 y BI.625, aunque se presentó esporulación, no se pudo establecer este componente ya que menos del 50% de las lesiones esporuló.

A pesar de lo fácil de su medida, en la mayoría de las progenies evaluadas (77,8%) no fue posible establecer el PL, debido a que se presentó esporulación en menos del 50% de las lesiones inducidas, lo cual corrobora lo observado por Vanderplank (30) acerca de los enormes efectos cuantitativos de la resistencia horizontal, al reducir la producción de esporas. Cuando se pudo determinar, el PL permitió detectar diferencias estadísticas entre las progenies y el testigo sus-

**TABLA 7.** Promedio de los componentes de resistencia, en términos absolutos y expresados con relación a la variedad Caturra (Grupo II).

Progenitor	PI		FI	
	Prom.	Rel. Cat <sup>1/</sup>	Prom.	Rel. Cat
CATURRA	16,64	1,00	74,80	1,00
BG.24	20,15	1,21	26,00***	0,35
BG.502	16,52	0,99	25,84***	0,35
CU.1794	19,05	1,14	47,02***	0,63
CU.1814	20,24***	1,22	42,98***	0,57
CU.1817	18,06	1,09	56,53***	0,76
CU.1827	19,00	1,14	37,50	0,50
CU.1872	20,65***	1,24	29,96***	0,40
CU.1873	19,97***	1,20	37,31***	0,50
CU.1875	16,17	0,97	37,50***	0,50
CX.2171	19,76***	1,19	51,17***	0,68
CV (%)	21,90		61,95	

Progenitor	PI		FI	
	Prom.	Rel. Cat <sup>1/</sup>	Prom.	Rel. Cat
CX.2175	18,90	1,14	49,72***	0,66
CX.2188	18,50	1,11	42,50***	0,57
CX.2190	19,24***	1,16	51,04***	0,68
CX.2192	19,72***	1,18	36,54***	0,49
CX.2251	21,35***	1,28	28,06***	0,38
CX.2356	21,27***	1,28	41,00***	0,55
CX.2368	20,23***	1,22	35,67***	0,48
CX.2506	18,67	1,12	46,25***	0,62
DH.101	16,70	1,00	54,50	0,73
Rs.P53	16,22	0,97	63,06	0,84
Rs.P68	18,50	1,11	27,34***	0,37
CV (%)	21,90		61,95	

1/ Valores expresados con relación a la Variedad Caturra.

2/ \*\*\* Diferencias significativas al 5%, de acuerdo a la prueba de Dunnett.

ceptible. El efecto dilatorio que se manifiesta en este tipo de resistencia, retarda y limita la reproducción del patógeno, favoreciendo respuestas de estas características.

Santacreo (25) en germoplasma de *C. arabica* y en derivados de Cat x H.T. encontró muy poca producción de esporas y plantas que no esporularon, por lo que no pudo determinar el PL en algunos de los materiales estudiados. Eskes y Carvalho (12) conside-

ran que la medida del PL como criterio de selección por resistencia incompleta en poblaciones segregantes no es recomendable a menos que se trabaje con muchas repeticiones, lo cual se dificulta por la disponibilidad de materiales a evaluar.

Eskes (10) encontró asociación negativa y significativa entre el PL y la FI – medida como densidad de lesiones, DL- en materiales de *C. arabica*. Sugiere utilizar en estas poblaciones el PL como criterio de selección por presentar menores coeficientes de variación. Resultados obtenidos por Leguizamón *et al.* (17) confirman el PL como un componente de fácil medida en variedad Caturra y en otros genotipos susceptibles que poseen poca variación por resistencia incompleta; el valor promedio del PL encontrado por ellos fue de 32,6 días, con la raza II. Este último valor es similar a los obtenidos en este trabajo en el testigo susceptible (Tabla 6).

**Intensidad de esporulación y porcentaje de lesiones esporulantes.** En los materiales estudiados se encontró que la menor producción de estructuras reproductivas, expresadas como intensidad de esporulación y porcentaje de lesiones esporulantes, muestra que la resistencia que poseen interfirió con la reproducción del hongo después de establecida la infección, lo que permite suponer una alta reducción del inóculo final. En las progenies de BI.51, BI.53 y BI.625 el IE fue estadísticamente menor al de la variedad Caturra con valores entre 0,24 y 0,46. El PLE relativo varió entre 0,31 y 0,93, y en todas las progenies fue estadísticamente menor al de la variedad Caturra. La resistencia incompleta existente en estos materiales, se caracteriza por una alta proporción de lesiones no esporuladas y por la necrosis temprana de las lesiones esporulantes, tal como reiteradamente se observó en este trabajo.

La cuantificación de esporulación en derivados del H.T del grupo fisiológico E, en genotipos de *C. arabica* y en la variedad Caturra, le permitió a Varzea *et al.* (31) establecer grupos de genotipos por su

**TABLA 8.** Coeficiente de correlación lineal de Pearson entre los componentes de resistencia medidos en progenies de Cat x H.T. del grupo fisiológico E.

	INESP	PL	IE	PLE	FI	ABC
PI	0,77**	0,87	-0,66	-0,39	-0,90**	-0,69
INESP		0,94**	-0,67	0,61**	-0,82**	-0,83**
PL			-0,93**	-0,84**	-0,97**	-0,98**
IE				0,85**	0,86**	0,90**
PLE					0,69**	0,92**
FI						0,90

\*\* Significativo al 5% de probabilidad

grado de resistencia horizontal a la roya, aunque señala el autor que su medida es dispendiosa y se ve afectada por varios factores.

En evaluaciones de la resistencia horizontal en la variedad Conilón de *C. canephora* Cadena (6) cuantificó la esporulación -mediante Índice de Esporulación- y concluyó que este parámetro es el más preciso para diferenciar reacciones de susceptibilidad y resistencia en plantas de pocos meses de edad; sin embargo, considera que es muy dispendioso. Eskes (10) sugiere otros componentes, como el PI o el PLE, menos complicados para medirlos y también menos variables que ésta.

Jhonson y Taylor (14) señalan que la cuantificación de la producción de esporas constituye un método refinado para medir la resistencia del hospedante que corresponde a la sumatoria de todos los mecanismos de resistencia; sin embargo, su medida es dispendiosa y de difícil uso en la evaluación rutinaria de germoplasma.

**Frecuencia de infección.** Las progenies evaluadas presentaron FI menores, y significativamente diferentes a la variedad Caturra. En el grupo I, la FI varió desde 0,51, en la progenie BI.625, hasta 0,80 en la Rs.460.P66; en el grupo II el rango de variación estuvo comprendido entre 0,37 y 0,76. En las progenies del grupo I fue posible establecer 4 grupos. En el primero la variedad Caturra (1,0); en el segundo las progenies de Rs.460.P66 y BI.74

(0,8 y 0,77); en el tercero la de BI.76 (0,65); y en el cuarto las de BI.53, BI.51 y BI.625 (0,53; 0,52; 0,51).

**Área bajo la curva de crecimiento de la lesión (ABC).** El ABC de las progenies del grupo I fue menor al de la variedad Caturra. Estos resultados permitieron establecer grupos homogéneos de resistencia, diferentes estadísticamente

entre sí y con respecto al testigo susceptible así: uno conformado por las progenies de BI.51, BI.53, BI.74 y BI.76, con valores entre 0,06 y 0,16; otro por la de Rs.460.P66, con 0,66; y un último en el que se encuentra la variedad Caturra (1,0) (Tabla 6).

Los resultados obtenidos muestran que a pesar de que el patógeno puede penetrar exitosamente el tejido sano de un hospedante con algún grado de resistencia incompleta, el crecimiento del patógeno se reduce propiciando una merma visible en la tasa de desarrollo de síntomas y en el área afectada cuando se le compara con el progreso de la enfermedad en un genotipo susceptible (22), como ocurre sobre la variedad Caturra.

Singh y Rao (29), consideran que el área bajo la curva estima la cantidad de enfermedad desarrollada en una epidemia y refleja la tasa de desarrollo y la severidad de la enfermedad cuando el inóculo inicial es similar para todos los hospedantes. En opinión de Reynolds y Cunfer (22), el área bajo la curva de progreso es el parámetro mejor asociado con la resistencia incompleta en la mayoría de los patosistemas; además, permite comparar el desarrollo de la enfermedad en genotipos con diferentes niveles de resistencia.

**Asociación entre componentes de resistencia.** El análisis de correlación permitió establecer asociaciones significativas en el 70% de los

casos, con coeficientes de determinación que variaron entre 38% y 96%. En el 60% de las asociaciones establecidas, un componente explicó la respuesta de otro en más del 50% (Tabla 8).

Las variables con mayor participación en asociación significativa con otras, en su orden fueron: FI y PL (5 veces), INESP, ABC y IE (4 veces), PLE (3 veces) y PI (2 veces).

Varzea *et al.* (31) registran correlaciones significativas entre el PL y la producción de esporas, expresada como uredosporas por lesión- UPL, en diferentes experimentos sobre progenies de Cat x H.T., con coeficientes entre -0,51 y -0,99. Cadena (6) obtuvo asociación significativa entre el PL (al que llamó período de incubación, PI) y variables relacionadas con la reproducción del patógeno como el número de lesiones con esporas y cantidad de esporas por lesión, con coeficientes de correlación entre 0,51 y 0,94.

Los resultados de la asociación entre los componentes de resistencia, obtenidos por Santacreo (25) en diferentes evaluaciones de genotipos de *C. arabica* y derivados del H.T., son similares a los de esta investigación. Las mejores correlaciones se presentaron entre el PI y FI (-0,84), PI y INESP (0,81; 0,93), PI y Producción de esporas (0,77; 0,98), INESP y PL (0,87; 0,92; 0,98), INESP y PLE (0,70), y PL y Producción de esporas (-0,92).

A pesar que la asociación entre el PLE y FI ( $r = 0,69^{**}$ ), explica la respuesta de una variable en función de la otra en 48%, esta magnitud permite suponer que la incidencia de la enfermedad no está tan estrechamente asociada con la severidad en genotipos con resistencia incompleta, como sí ocurre en las variedades susceptibles (Caturra, Catuai, Típica, Borbón, etc.) en las cuales esta relación se explica en más del 90% (23, 28).

El área bajo la curva (ABC) presentó altos valores de correlación con las variables INESP (-0,83\*\*), PL (-0,98\*\*), IE (0,90\*\*) y con PLE (0,92\*\*), a pesar de presentar altos valores en los coeficientes de variación. Este componente reúne la variación de la respuesta de resistencia encontrada con la medida de los componentes de la misma. Estos resultados, están de acuerdo con los registrados por Johnson *et al.* (13), quienes obtuvieron correlaciones altas entre ABC con PL, con PLE, con IE y con el tiempo de defoliación, evaluando cercosporiosis sobre genotipos de maní.

La asociación entre componentes de resistencia y su facilidad de medida permiten la selección de algunos de ellos para trabajos rutinarios de evaluación. El INESP, PLE y FI son los más apropiados.

**Asociación entre resultados de campo y almácigo.** La progenie de cinco progenitores seleccionados por resistencia incompleta - BI.51, BI.53, BI.74, BI.76 y BI.625 - se evaluó en experimentos de campo mediante la cuantificación del efecto de la roya sobre la producción, el progreso de la enfermedad, la defoliación y el balance del follaje, y la estimación de la incidencia y severidad de la enfermedad por medio de escalas de campo, en períodos de epidemia severa (Tabla 9). En estas progenies se comprobó la capacidad para retardar y dilatar el desarrollo de la enfermedad como consecuencia de la resistencia presente (1). La progenie de estos mismos progenitores, seleccionada previamente por ser del grupo fisiológico E, se evaluó en el presente trabajo a través de la medida de los componentes de la resistencia incompleta en condiciones de vivero (Tabla 9).

La variedad Caturra presentó los menores valores para las variables producción media, balance de follaje, PI, INESP y PL; y los mayores para las variables restantes. Estos resultados muestran diferencias claras entre la variedad

Caturra y las progenies estudiadas, tanto en las evaluaciones de campo como en el almácigo.

A partir de los resultados obtenidos se calcularon los coeficientes de correlación de rangos de Spearman (Tabla 10), encontrándose algunas asociaciones entre variables de mucho

interés para la selección por resistencia incompleta. Las pérdidas en producción como consecuencia de la roya presentaron asociación positiva y significativa con la intensidad de la esporulación (IE), y el 77% de las mismas se explican por la eficiencia reproductiva del patógeno. La incidencia y severidad de la roya en

**Tabla 9.** Valores de los parámetros de evaluación de la resistencia incompleta en el campo y componentes de resistencia incompleta medidos en el almácigo, en progenitores Cat x H.T. y en plantas del grupo E seleccionadas en cada uno de ellos, respectivamente.

Progenitor	Evaluación en campo <sup>a</sup>					Evaluación en almácigo <sup>b</sup>						
	Calificación de roya (Escala 0-9) <sup>1</sup>	Incidencia de roya <sup>2</sup>	Balace de follaje <sup>3</sup>	Defoliación <sup>4</sup>	Pérdidas <sup>5</sup>	PI	INESP	PL	IE	PLE	FI	ABC
BI.51	4,05	8,39	132,50	20,34	10,3	19,98	40,18	43,67	304,45	47,59	38,88	291,49
BI.53	4,55	14,70	147,00	19,68	0,0	20,48	42,28	43,00	213,43	44,81	39,45	208,88
BI.74	2,87	9,84	114,73	32,16	2,6	17,42	41,44	40,33	449,22	31,32	57,49	525,53
BI.76	3,28	8,23	110,50	29,34	0,0	17,62	35,00	—	158,83	28,53	48,85	328,57
BI.625	4,06	4,00	143,50	16,99	0,0	19,84	46,50	—	185,68	40,73	38,23	180,57
CATURRA	6,16	39,59	81,80	59,39	10,5	16,64	29,32	32,6	667,36	91,27	74,8	3293,51

<sup>a</sup>/ Realizada sobre progenies de BI.51, BI.53, BI.74, BI.76, BI.625 sin selección por grupo fisiológico.

<sup>b</sup>/ Realizada sobre progenies de BI.51, BI.53, BI.74, BI.76, BI.625 del grupo fisiológico E.

1/ Promedio de 4 evaluaciones en condiciones de alta epidemia

2/ Calculada como la relación entre el número de hojas afectadas y el número de hojas presentes al momento de cada lectura. Promedio de incidencia de roya en las regiones productiva y en diferenciación de la rama.

3/ Calculado como la relación entre follaje presente en cada lectura con relación a la cantidad de follaje inicial (observada en abril). Promedio de 3 evaluaciones, realizadas en los meses de junio, agosto y octubre/91.

4/ Promedio del porcentaje de defoliación por efecto de la roya en las regiones productiva y en diferenciación de la rama.

5/ Porcentaje de pérdidas en producción (Periodo cosechas 1990-1992)

**TABLA 10.** Valores del coeficiente de correlación de rangos de Spearman ( $r_s$ ) entre las variables medidas en el campo y en el almácigo, en 5 progenies del grupo de Cat x H.T.

Almácigo	Campo					
	Calificación de roya (0-9)	Incidencia	Balace de follaje	Defoliación	Pérdidas	
PI	0,09	-0,25	-0,89**	-0,83*	-0,52	
INESP	-0,09	-0,43	-0,89**	-0,83*	-0,64	
PL	-0,40	-0,80	-0,80	-0,80	-0,40	
IE	0,26	0,77*	0,37	0,66	0,88**	
PLE	0,77*	-0,60	0,03	0,14	0,69	
FI	0,03	0,71	0,77*	0,94***	0,52	
ABC	-0,12	0,49	0,93***	0,99***	0,70	

\* Significativo al 10%, \*\* Significativo al 5%, \*\*\* Significativo al 1%

campo (escala ordinal 0–9) se asociaron positiva y significativamente con el PLE, con un  $r = 0,77$ . Igual respuesta se obtuvo entre incidencia en campo e IE ( $r = 0,77$ ). Estas correlaciones confirman la relación entre el nivel de infección en campo con las medidas referentes a la capacidad reproductiva del patógeno medidas en almácigo (IE y PLE).

La variable porcentaje de defoliación registrada en campo presentó asociación positiva y significativa con la FI en almácigo ( $r = 0,94$ ). No se encontró correlación entre el PL y las varia-

bles de campo, lo cual indica la independencia entre estas variables. Otras correlaciones entre variables de campo y vivero, a pesar de ser significativas, no se discuten por carecer de sentido biológico.

Estos resultados muestran que las medidas sobre plantas jóvenes en el almácigo, relacionadas con la capacidad reproductiva del patógeno, explican en alta proporción (60 a 80%) el nivel de infección en el campo y las pérdidas en producción como consecuencia de la enfermedad.

**Tabla 11.** Promedio de los componentes de resistencia, en progenies de Cat x H.T. del grupo fisiológico E, inoculadas con una mezcla de *H.vastatrix* recolectada en el Parque Clonal de la Variedad Colombia.

Progenitor	PI		INESP		PL		IE		PLE		FI	
	Prom	<sup>1/</sup>										
CATURRA	16,7	1,00	31,2	1,00	33,9	1,00	407,0	1,00	96,1	1,00	62,0	1,00
BI.51	22,1	1,32	43,4	1,39	45,7	1,34	294,6	0,72	71,9	0,75	23,1	0,37
BI.53	20,2	1,21	38,4	1,23	40,7	1,20	204,6	0,50	62,7	0,65	32,4	0,52
BI.74	17,6	1,05	35,5	1,14	41,4	1,22	185,2	0,45	70,7	0,74	64,2	1,04
BI.76	17,7	1,05	38,1	1,22	39,6	1,16	219,4	0,54	68,9	0,72	52,9	0,85
BI.625	21,8	1,30	38,7	1,24	40,3	1,19	137,1	0,34	70,6	0,73	22,7	0,37
Rs.460.Rs.P66	18,3	1,09	35,5	1,14	40,0	1,18	330,1	0,81	87,5	0,91	57,9	0,93
CU.1794 <sup>2/</sup>	14,0	0,84	—	—	—	—	—	—	—	—	50,0	0,81
CU.1814 <sup>2/</sup>	17,0	1,02	—	—	—	—	—	—	—	—	80,0	1,29
CU.1817 <sup>2/</sup>	15,5	0,93	—	—	—	—	—	—	—	—	90,0	1,45
CU.1827 <sup>2/</sup>	17,0	1,02	—	—	—	—	—	—	—	—	70,0	1,13
CU.1872	18,8	1,13	44,4	1,42	59,0	1,74	101,3	0,25	61,1	0,64	30,0	0,48
CU.1873	16,8	1,00	45,3	1,45	42,0	1,24	85,4	0,21	78,6	0,82	45,0	0,73
CU.1875	14,0	0,84	28,0	0,90	56,0	1,65	135,2	0,33	40,0	0,42	100,0	1,61
CX.2171	17,0	1,02	47,7	1,53	54,0	1,59	199,4	0,49	60,0	0,62	56,7	0,91
CX.2175	22,0	1,32	50,5	1,62	59,0	1,74	75,6	0,19	61,9	0,64	40,0	0,65
CX.2188	28,0	1,68	52,0	1,67	—	—	481,3	1,18	66,7	0,69	30,0	0,48
CX.2190	17,1	1,03	42,1	1,35	44,8	1,32	269,1	0,66	61,8	0,64	55,7	0,90
CX.2192	18,5	1,11	35,3	1,13	52,0	1,53	511,5	1,26	78,9	0,82	62,5	1,01
CX.2251	16,8	1,01	33,8	1,08	49,7	1,46	246,5	0,61	85,3	0,89	50,0	0,81
CX.2356	14,0	0,84	28,0	0,90	52,0	1,53	611,2	1,50	100,0	1,04	40,0	0,65
CX.2368	18,0	1,08	33,0	1,06	52,0	1,53	342,8	0,84	100,0	1,04	55,0	0,89
CX.2506	15,5	0,93	52,0	1,67	56,0	1,65	106,5	0,26	77,5	0,81	70,0	1,13
DH.101	17,0	1,02	43,5	1,40	54,0	1,59	289,1	0,71	87,5	0,91	60,0	0,97
Rs.P53	16,3	0,98	35,0	1,12	40,0	1,18	45,4	0,11	50,0	0,52	93,3	1,51
Rs.84P68.Rs	18,0	1,08	27,0	0,87	43,0	1,27	577,4	1,42	100,0	1,04	50,0	0,81
BG.24	18,0	1,08	—	—	—	—	—	—	—	—	10,0	0,16
BG.502	17,0	1,02	—	—	—	—	—	—	—	—	15,0	0,24
CV (%)	<b>17,17</b>		<b>18,46</b>		<b>10,56</b>		<b>75,11</b>		<b>31,33</b>		<b>52,41</b>	

<sup>1/</sup> Valores expresados con relación a la variedad Caturra.

<sup>2/</sup> No hubo esporulación

**Inoculación con *H. vastatrix* recolectada en campo.** En vista de los resultados obtenidos en las progenies del grupo II, en las cuales la infección fue exitosa pero no hubo reproducción del patógeno, se inocularon todas las progenies con una mezcla de inóculo recolectada en clones de Cat x H.T. localizados en el Parque Clonal de la Variedad Colombia, entre ellos, los progenitores de las progenies evaluadas.

La población de roya tomada en el campo tiene un número variable de factores de virulencia, como consecuencia de la diversidad presente en el conjunto de hospedantes. La finalidad de esta prueba fue observar la respuesta de los materiales frente a un inóculo de mayor complejidad en donde el factor v5, que caracteriza a la raza II, esta presente. Rodríguez<sup>2</sup> analizó la composición de muestras de roya de lotes experimentales de la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé, localizados en la Estación Naranjal, y observó que al menos el factor v5 estaba presente.

Todas las progenies presentaron síntomas y el PI relativo varió entre 0,84 y 1,68; seis progenies presentaron valores inferiores al de la variedad Caturra para esta parámetro. Se presentó esporulación en 21 de las 27 progenies inoculadas. El INESP relativo varió entre 0,87 y 1,67, y tres progenies (Rs.841.P68, CX.2356 y CU.1875) presentaron valores menores que la variedad Caturra. Las progenies CU.1794, CU.1814, CU.1817, CU.1827, BG.24 y BG.502 no presentaron esporulación; estas habían sido clasificadas dentro del grupo no esporulado, en las inoculaciones con las razas II y XXII. Todas las progenies presentaron PL mayores al testigo, entre un 16 y 74%.

El IE relativo estuvo entre 0,11 y 1,50; los genotipos CX.2188, CX.2192, Rs.841.P68 y CX.2356 produjeron mayor cantidad de esporas

que la variedad Caturra, mientras que en el resto el IE relativo varió entre 0,11 y 0,84. Todas las progenies, excepto Rs.841.P68, CX.2356 y CX.2368, presentaron menores PLE que la variedad Caturra, con valores entre 0,42 y 0,91. La FI relativa varió entre 0,24 y 1,51. Ocho progenies presentaron FI mayores que la variedad Caturra.

Los resultados de esta inoculación confirman la compatibilidad entre las progenies estudiadas y las razas existentes en el campo sobre ese germoplasma. Este hecho favorece la hipótesis de que las progenies del grupo II poseen un alto nivel de resistencia incompleta, que en algunos casos, limita totalmente la reproducción de la roya, tal como ocurrió con algunas progenies al ser inoculadas con las razas II y XXII, e incluso con el inóculo tomado en el campo. Con la evaluación de germoplasma del grupo E frente a inóculo de campo se vislumbra el caso extremo de quiebra de la resistencia completa en los derivados del H.T., progenitores de estas plantas, y lo que les podría ocurrir en el evento poco probable de no poseer factores de resistencia de la serie SH6-SH9. La respuesta obtenida permite apreciar que los materiales presentan alta resistencia incompleta, que es eficaz aún cuando se confrontan con razas más complejas. El empleo de inóculo proveniente del campo para la evaluación de germoplasma por resistencia incompleta, permite tener una idea de la respuesta frente al ataque de la enfermedad en el campo ya que se asemeja mas a la condición real, que la que se tiene cuando se trabaja con razas individuales.

**Tipos de reacción y sintomatología.** Se observaron síntomas caracterizados por la presencia de centros cloróticos o necrosados y reacciones del tipo flecks, en plantas de una misma progenie, en hojas de una misma planta y aún en sitios de una misma hoja. Sintomatologías similares son descritas en café por Rodríguez *et. al.* citados por

<sup>2</sup>Rodríguez, K. D. Comunicación personal. 1999, Chinchiná, Caldas, Colombia.

Eskes (11), Eskes *et. al.* (12) y Santacreo (25, 26), entre muchos, y en trigo por Broers (4, 5).

En términos generales, la expresión de la resistencia incompleta es afectada por las condiciones ambientales y fisiológicas de la planta. En las condiciones de vivero en que se condujo el ensayo, en la estación central Naranjal, las variaciones estacionales de temperatura son mínimas (1,1°C), pero las variaciones diarias son fuertes (hasta 18°C) (3), y posiblemente interfieren en el crecimiento del hongo y en la expresión de la resistencia. Con seguridad, parte importante de la variación observada en la respuesta de los materiales probados está influida por el clima, puesto que las inoculaciones artificiales muestran que hojas de diferente edad son susceptibles a la enfermedad. Sin embargo, las condiciones de crecimiento y el manejo de las plantas fueron similares para todos los materiales, y en lo posible se trabajó sobre hojas de la misma edad, con características adecuadas para la inoculación.

**Sobre el inóculo utilizado.** Al analizar la respuesta de las progenies frente a las razas II y XXII, no se presentó efecto de las razas ni interacción progenie por raza. Estos resultados sugieren que las razas II y XXII, inoculadas independientemente, presentan la misma capacidad parasítica sobre las progenies evaluadas. Es razonable esperar respuestas similares al inocular con razas de mayor complejidad, si se asume que en estos genotipos opera una resistencia incompleta en el sentido Vanderplank.

**Comentario final.** La dificultad para la obtención de plantas del grupo E, a partir de progenitores de Cat x H.T. que han sido sometidos a selección rigurosa contra segregantes del mismo grupo, destaca su valor como probables fuentes de resistencia a la roya. En este sentido, las plantas identificadas en cada progenie, deben aprovecharse para evaluación y análisis con fines de selección.

La cuantificación de los componentes de resistencia permitió observar que las progenies evaluadas, en general, presentan niveles altos de resistencia incompleta de interés para el mejoramiento de café. Esta resistencia se caracteriza por mayores períodos de incubación y latencia, mayor tiempo para el inicio de los síntomas, menor producción de esporas y frecuencia de infección, así como un crecimiento extremadamente reducido del área enferma, con relación al testigo Caturra. Sin embargo, se observó variabilidad en la respuesta de resistencia entre y dentro de las progenies evaluadas. Moreno (18) plantea la hipótesis de que la ocurrencia de bajos ataques de roya y alta variación en la respuesta de resistencia, en ausencia de los genes mayores provenientes del H.T., puede ser conferida por genes de resistencia incompleta. Eskes (11) señala que los genes menores son afectados por la planta y el ambiente y operan en forma continua en el proceso de la resistencia. Esta característica podría explicar la variabilidad observada en la respuesta de resistencia incompleta en los materiales evaluados. De acuerdo con Moreno (18), la variación encontrada en la respuesta de resistencia incompleta puede deberse, en parte, a la diversidad de genes de resistencia presentes en el H.T. y a la estrategia de mejoramiento empleada, sin recurrir al retrocruzamiento, que permite mantener en la población la resistencia proveniente de esta introducción.

La importancia y el interés que tiene la búsqueda de fuentes de resistencia incompleta a la roya en materiales del grupo E seleccionados por atributos agronómicos sobresalientes, radican en que frente a un eventual caso de quiebra general de la resistencia completa, las poblaciones establecidas, con altos niveles de resistencia incompleta, permitirían una reducción en el inicio y desarrollo de la enfermedad, suficiente para no tener que recurrir al control químico.

La realización de pruebas tempranas de evaluación de la resistencia incompleta a través de la medida de los componentes de resistencia en poblaciones derivadas de Cat x H.T. es muy promisorias. Estas pruebas aportan al mejorador una medida muy aproximada del nivel de resistencia incompleta, para la preselección de materiales de interés.

### AGRADECIMIENTOS

A los señores Carlos Andrés Arias, Enrique Chanchí y Jorge Dickson Ocampo por su colaboración en las inoculaciones y evaluaciones de campo, y a la Dra. Lucelly Orozco por la asesoría en el análisis de los datos.

### LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; CASTILLO Z., J. Progreso de la roya del café sobre genotipos resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 47(1):42-52. 1996.
2. ÁLVAREZ G., I.C. Efecto de fungicidas sistémicos en el ciclo reproductivo de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1985. 152 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo)
3. BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. El clima de la Estación Central Naranjal en Chinchiná, Caldas, Colombia. *Cenicafé* 49(4):290-307. 1998.
4. BROERS, L.H.M. Influence of development stage and host genotype on three components of partial resistance to leaf rust in spring wheat. *Euphytica* 44:187-195. 1989.
5. BROERS, L.H.M. Components of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars and the relations for field assessments. *Euphytica* 96:215-223. 1997.
6. CADENA G., G. Expresión de resistencia horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix*) en la variedad Conilon (*Coffea canephora*). Bogotá, Universidad Nacional-Instituto Colombiano Agropecuario, 1978. 185 p. (Tesis: Magister Scientiae).
7. CASTILLO Z., J.; ALVARADO A., G. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya *Hemileia vastatrix* en condiciones de campo en la región central de Colombia. *Cenicafé* 48(1):40-58. 1997.
8. CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Chinchiná, Cenicafé, 1988. 171 p.
9. DEADMAN, M.L. Epidemiological consequences of plant disease resistance. In: JONES, D.G. (ed). *Epidemiology of plant diseases*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 123-137
10. ESKES, A.B. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Wageningen, Institute of Plant Breeding Agricultural University, 1983. 145 p. (Thesis: Philosophy Doctor)
11. ESKES, A.B. Resistance. In: KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. (eds). *Coffee rust: Epidemiology, resistance and management*. Boca Ratón, CRC Press, 1989. p. 171-291.
12. ESKES, A.B. ; CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. *Euphytica* 32:625-637. 1983
13. JOHNSON, C.S. ; BEUTE, M.K. ; RICKER, M.D. Relationship between components of resistance and disease progress of early leaf spot on Virginia type peanut. *Phytopathology* 76(5):495-499. 1986.
14. JOHNSON, R.; TAYLOR, A.J. Spore yield of pathogens in investigations of the race-specificity of host resistance. *Annual Review of Phytopathology* 14:97-119. 1976.
15. LEGUIZAMÓN C., J. E. Contribution a la connaissance de la resistance incomplete du cafeier arabica (*Coffea arabica*) a la rouille orange (*Hemileia vastatrix* Berk et Br). Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 1983. 183 p. (These: Docteur-Ingenieur).
16. LEGUIZAMÓN C., J.E. ; MORENO R., G. ; CASTILLO Z., J. Roya del café. Estudios de resistencia genética. Pruebas de resistencia a la roya del café en componentes de la variedad Colombia. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Informe anual de la Sección de Fitopatología 1985-1987. Chinchiná, Cenicafé, 1987.

17. LEGUIZAMÓN C., J.E. ; OROZCO G., L. ; GÓMEZ G., L. Períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del café en la zona cafetera central de Colombia. *Cenicafé* 49 (4):325-339. 1998.
18. MORENO R., G. Etude du polymorphisme de L'Hybride de Timor en vue de l'amélioration du caféier arabica: Variabilité enzymatique et agronomique dans les populations d'origine; résistance incomplète à *Hemileia vastatrix* dans les croisements avec *Coffea arabica*. Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 1989. 153 p. (These: Docteur-Ingenieur).
19. NELSON, R.R. Breeding plants for disease resistance; concepts and applications. Philadelphia, The Pennsylvania State University Press, 1977. 401 p.
20. PARLEVLIET, J.E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology* 17:203-222. 1979
21. REYNOLDS, L.K.; NEHER, D.A. Statistical comparisons of epidemics. *In: FRANCY, L.S.; NEHER, D.A. (eds). Exercises in plant disease epidemiology*. St. Paul, APS Press, 1997. p. 34-37.
22. REYNOLDS, L.K.; CUNFER, B.M. Components of partial host resistance and epidemic progress. *In: FRANCY, L.S.; NEHER, D.A. (eds). Exercises in plant disease epidemiology*. St Paul, APS Press, 1997. p. 111-114.
23. RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E.; GIL V., L.F. Recomendaciones para el manejo de la roya del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé* N°. 19:7-36. 1999.
24. ROBINSON, R. A. The controversy concerning vertical and horizontal resistance. *Revista Mexicana de Fitopatología* 9 (1):57-63. 1991.
25. SANTACREO, R. Evaluación del nivel de resistencia horizontal a *Hemileia vastatrix* Berk et Br en germoplasma de *Coffea arabica* y Catimor. *Turrialba* 39 (3):377-386. 1989.
26. SANTACREO, R. Evaluación del nivel de resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* Berk et Br en germoplasma de *Coffea arabica* de la colección del CATIE. *In: SIMPOSIO sobre Caficultura Latinoamericana*, 17. San Salvador, Octubre 23-27, 1995. *Memorias*. San Salvador, IICA-PROMECAFÉ, 1995. V. 1.
27. SILVA, M.L.; RJO, L.; RODRIGUES JR., C.J. Differences in aggressiveness of two isolates of race III of *Hemileia vastatrix* on the cultivar Caturra of *C. arabica*. *In: Scientifique Internationale sur le Café*, 11. Lomé, Février 11-15, 1985. Paris, ASIC, 1985. p. 635-645.
28. SILVA A., R.; MAFFIA, L.A.; ZAMBOLIM, L.; BERGER, R.D. Incidence-severity relationships in the pathosystem *Coffea arabica-Hemileia vastatrix*. *Plant Disease* 83 (2):186-188. 1999.
29. SINGH, H.; RAO, M.V. Area under the disease progress curve: Its reliability as a measure of slow-rusting resistance. *Plant Breeding* 103:319-323. 1989.
30. VANDERPLANK, J. E. Disease resistance in plants. 2. ed. London, Academic Press, 1984. 194 p.
31. VARZEA, V.M.P.; RODRIGUES JR., J.C. Evaluation of the level of horizontal resistance to *Hemileia vastatrix* of some arabica plants of different physiological groups when confronted with virulent races. *In: Colloque Scientifique International sur le Café*, 11. Lomé, Février 11-15, 1985. Paris, ASIC, 1985. p. 625-633.