

RESISTENCIA INCOMPLETA DE GENOTIPOS DE CAFÉ A LA ROYA BAJO CONDICIONES DE CAMPO EN LA REGIÓN CENTRAL DE COLOMBIA

Jaime Castillo-Zapata*; Gabriel Alvarado-Alvarado*

RESUMEN

CASTILLO Z., J.; ALVARADO A. G. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. Cenicafé 48(1): 40-58. 1997.

Se comparó la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* Berk y Br. de 22 progenies F4, F5 y F6 de Caturra x Híbrido de Timor. Se incluyeron las variedades Caturra (susceptible) y Colombia (con resistencia específica y completa) y una progenie susceptible (AN.620). Se midieron el porcentaje de hojas afectadas (incidencia) y el de defoliación en dos porciones de la rama de diferente edad. Las observaciones se realizaron en abril, junio, agosto y octubre de 1991, para examinar el progreso de la enfermedad en etapas tempranas, intermedias y tardías. Se establecieron grupos por su genealogía, y mediante contrastes ortogonales se partieron las sumas de cuadrados. Resultaron como grupos homogéneos y resistentes aquellos derivados de A.192 y A.293 y grupos heterogéneos los de A.206 y de H.3005. La progenie AN.620 fue susceptible y la B.1276 fue altamente resistente. Se pudo establecer que la resistencia incompleta está claramente relacionada con el balance de follaje, el cual se estimó mediante la relación entre el follaje ganado por nuevo crecimiento y el perdido por defoliación. El inicio de la epidemia se retardó 4 ó 5 meses y la tasa de incremento fue mucho menor en los materiales resistentes que en los susceptibles. A partir de esta observación se discute la naturaleza genética de la resistencia.

Palabras claves: Mejoramiento genético, *Hemileia vastatrix*, *Coffea arabica*, Híbrido de Timor, Caturra, var. Colombia, roya del café, resistencia genética.

ABSTRACT

Incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* Berk & Br. was compared between 22 progenies of F4, F5 and F6 of a Caturra x Timor hybrid. Varieties also included were Caturra (susceptible) and Colombia (with complete and specific resistance) and a susceptible progeny (AN.620). Measurements of incidence (% leaves affected) and defoliation (in two parts of branches of different ages) were taken in April, June, August and October 1991 to observe the progress of the disease in the early, intermediate and late stages. Groups were established according to genealogy and square sums were partitioned by orthogonal contrast, with homogeneous and resistant groups being those derived from A.192 and A.293 whereas heterogeneous groups were from A.206 and H.3005. Progeny AN.620 was susceptible and B.1276 was highly resistant. It was established that incomplete resistance is clearly related to the foliage balance, which was estimated by the relationship between foliage gained by new growth and that lost by defoliation. Initiation of the epidemic was retarded by 4 or 5 months and increase was much slower in resistant material than in susceptible material. From these observations, the nature of genetic resistance is discussed.

Keywords: Genetic improvement, *Hemileia vastatrix*, *Coffea arabica*, Timor Hybrid, Caturra variety, Colombia variety, coffee leaf rust, genetic resistance.

* Investigador Principal II e Investigador Científico II, respectivamente. Mejoramiento Genético. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

En la región cafetera central de Colombia ocurren dos epidemias de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Ber., asociadas a dos ciclos de crecimiento vegetativo (1). Estas ocurren sobre las porciones de las ramas que soportan los frutos correspondientes a la cosecha principal del segundo semestre y a la del primer semestre, llamada travesía, del año siguiente. Estas dos cosechas son características en la región.

Al identificar en las plantas estudiadas el follaje asociado a ambas cosechas, se pudo medir directamente sobre las ramas productivas el progreso de la enfermedad y determinar, por este medio, su resistencia o susceptibilidad. En este caso se trata de resistencia incompleta, definida como aquella que no suprime por completo la reproducción del patógeno, sino que la limita en algún grado. Tal procedimiento enriquece el método tradicional utilizado para medir el grado de resistencia en genotipos de café, consistente en estimar, en determinados momentos de la epidemia, el tipo de reacción a la enfermedad o el grado de ataque que muestran las plantas estudiadas.

Eskes (5), en 1989 publicó una amplia y minuciosa recopilación sobre la resistencia a la roya, con énfasis en la resistencia incompleta, incluyendo los aspectos metodológicos de la medida de la misma. Desde ese año no han aparecido nuevas contribuciones que modifiquen en forma sustancial el conocimiento básico consignado por este autor.

El procedimiento experimental desarrollado por Eskes *et al.* (6) se puede resumir en dos aspectos: detección de plantas aparentemente resistentes con bajos niveles de infección en el campo y estudio de tales plantas, de sus progenies y de sus cruzamientos, en ensayos de laboratorio, invernadero y almacigo. Para la estimación del grado de resistencia se utilizan escalas de valoración de la enfermedad, con un intervalo de 0 a 9: las denominadas I y II,

estiman visualmente la incidencia sobre árboles o ramas en condiciones de campo; la escala III se usa para establecer la frecuencia estimada de lesiones sobre hojas individuales, en ensayos de invernadero o almacigo; y la escala IV, se utiliza en el laboratorio, para calificar la identificación tipológica y el grado de esporulación de la lesión, sobre discos de hojas (8).

En el laboratorio se estudia, además, los componentes conocidos de la resistencia incompleta: frecuencia de infección, período de latencia, duración de la esporulación y período infectivo. También se registran otras variables relacionadas con estos componentes como la densidad y frecuencia de lesiones (esporuladas o no), y el período de retención de la hoja después de la esporulación. Se calculan además las correlaciones entre las diferentes variables medidas y entre éstas y la resistencia detectada en el campo, y con la producción de las plantas estudiadas.

Por medio de esta metodología se ha explorado un vasto germoplasma, en ciertas ocasiones con resultado negativo: ni en variedades comerciales de *C. arabica* o sus progenies; ni en selecciones del África Oriental con los genes de resistencia específica SH1 y SH2; ni en algunas introducciones de Etiopía entre las recolectadas por la FAO en 1964, se ha detectado evidencia concluyente sobre la existencia de resistencia incompleta. Incluso, en estos últimos materiales, las correlaciones entre los componentes de la resistencia incompleta medidos en invernadero con el nivel de infección de campo, fueron bajos y no significativos, lo que sugiere que la variación de estos componentes no está asociada con el nivel de infección medido en el campo (6).

Por otra parte, se ha detectado resistencia incompleta (o reacciones intermedias) conferida por genes de resistencia específica en plantas con el gen SH4 en forma heterocigota, y en

portadores del gen SH3 cuando se inoculan con diferentes aislamientos de *H. vastatrix* (3).

Eskes (5) detectó una fuente notable de resistencia incompleta en la variedad Kouillou de *C. canephora*. La misma fue estudiada por Cadena (2) en el Brasil, quien comparó plantas de esta variedad, con plantas de la variedad Mundo Novo de *C. arabica* (susceptible) y encontró que la defoliación asociada con la susceptibilidad es el aspecto principal que diferencia los dos genotipos.

La resistencia de mayor interés es la derivada del Híbrido de Timor (H. de T.) y del híbrido del IAC, CH 2460, a partir de los cuales se han desarrollado variedades comerciales (3, 4, 6, 7). Ambos materiales se originaron en cruza- mientos de *C. arabica* x *C. canephora*: el Híbrido de Timor, es un cruzamiento espontá- neo cuya progenie tiene 44 cromosomas y el híbrido CH 2460 corresponde a un cruzamiento artificial cuyo progenitor de *C. canephora* sufrió una duplicación de sus cromosomas. El H. de T. ha sido cruzado con numerosos culti- vares de *C. arabica*, especialmente de porte bajo, y las progenies de tales cruzamientos han sido reiteradamente seleccionadas hasta gene- raciones avanzadas. El híbrido CH 2460 ha sido seleccionado a partir de retrocruzas (RC1, RC2, RC3) a la variedad Mundo Novo. Las selecciones hechas en las progenies de estos retrocruzamientos reciben el nombre de varie- dad Icatú (3, 9).

Al estudiar, tanto los materiales derivados del H. de T. como de Icatú en trabajos de laboratorio, invernadero y almacigo, emplean- do la metodología antes aludida (sobre plantas de corta edad), se ha encontrado una amplia variación en resistencia incompleta, desde altos niveles hasta completa susceptibilidad, pa- sando por reacciones intermedias. Algunas plan- tas con este tipo de reacción, al ser autofecundadas o retrocruzarlas con una varie- dad susceptible, segregan individuos con dife-

rente tipo de reacción que son clasificados con la escala de tipo IV. Las plantas con reacciones de tipo intermedio (moderadamente resisten- tes: MR, y moderadamente susceptibles: MS) se consideran como heterocigotas por los genes de resistencia segregantes. La conclusión de estas pruebas es que tanto en la variedad Icatú como en los derivados del H. de T. "al menos parte de la resistencia incompleta está basada únicamente en uno o pocos genes, que pueden no conferir resistencia durable" (5).

En esta investigación se buscó determinar la resistencia incompleta en café, directamente en el campo mediante variables cuantitativas. Para ello se empleó una metodología que permitiera separar dos ciclos epidemiológicos observados en el año, en los cuales las variables empleadas fueron clara y fácilmente medidas.

MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron 23 progenies de las genera- ciones F4, F5 y F6, provenientes de cuatro cruzamientos; tres de ellos tenían como proge- nitor el Híbrido de Timor (H. de T. de la introducción CIFIC 1343), (Tabla 1).

El cruzamiento H.2094 tuvo como fuente de resistencia a la roya, la introducción **F.502**, selección del café **Kent** obtenida en Tanzania y portadora del gen de resistencia SH2. De este cruzamiento, la planta F3 AN.620 es un segregante susceptible a la raza II de *H. vastatrix* (genotipo de virulencia v5).

En las Tablas presentadas en este trabajo las progenies se agrupan por su genealogía. Del híbrido H.3001 hay 17 progenies F5, proceden- tes de diferentes plantas F3: 6 provienen del árbol A.192; 6 de A.293; 3 de A.222 y 2 de A.206 y una progenie F4, derivada de la planta A.293. Del híbrido H.3005 se originaron 3 progenies F4 y de cada híbrido, H.3004 y H.2094 una sola progenie. (Tabla 3).

TABLA 1. Cruzamientos utilizados para evaluar la resistencia incompleta a la roya del cafeto. Cenicafé, Chinchiná, Caldas.

Híbrido	Cruzamiento
H.3001	Caturra amarillo-CV1. X H.T.-I.572-CV2
H.3004	Caturra amarillo-L.572 X H.T.*
H.3005	Caturra rojo - L.420 X H.T.*
H.2094	H.71** - M.1599 X F.502 - A.2550

* Mezcla de polen de varios árboles, de la colección de variedades.

** H.71 = Caturra rojo - Merc.1198 x Mundo Novo - CV.1.

Se emplearon como testigos resistente (con resistencia completa y específica) y testigo susceptible las variedades Colombia y Caturra, respectivamente.

Procedimiento de campo. Los materiales analizados se sembraron en un experimento de bloques divididos con dos factores en franjas (12). Cada genotipo ocupa una parcela de 20 plantas. La mitad de la misma (subparcela), se localiza en una franja con control químico contra la roya; la otra mitad en una franja sin control. Para este trabajo sólo se utilizaron las franjas sin control químico.

De las 30 plantas estudiadas en tres repeticiones se tomaron al azar 12 para el estudio de incidencia y defoliación. Los árboles debían tener intacta la zona productiva y presentar un buen vigor vegetativo.

Como las ramas productivas tienen un sector que soporta frutos en desarrollo, en el primer semestre y que responden por la cosecha del segundo semestre y un sector con flores en proceso de diferenciación que posteriormente se convierten en los frutos responsables de la

cosecha del primer semestre del año siguiente y, finalmente, una porción en crecimiento vegetativo (1), en el muestreo esto se tuvo en cuenta. Por tanto, en cada planta seleccionada se marcaron cinco pares de ramas opuestas (en total 10 ramas), y en cada rama se señalaron cinco nudos en la parte de la rama con frutos en desarrollo.

En los cinco pares de ramas se midió el progreso de la enfermedad, el porcentaje de defoliación, y se estableció el balance de follaje, es decir la pérdida o ganancia de hojas a través del tiempo de la epidemia.

El experimento se sembró en 1988 y los datos se tomaron en 1991, en condiciones de epidemia severa de roya. Las lecturas se hicieron en las fechas 12 de abril, 12 de junio, 16 de agosto y 17 de octubre de 1991. La duración del experimento en el campo fue de 7 años.

Registros de campo. Se consideraron los siguientes:

Número de nudos, número de hojas y defoliación. Debido a que cada nudo genera dos hojas opuestas, para cada rama se registró el número de nudos (NN), el número potencial de hojas (2 NN) y el número de hojas presentes al momento de cada lectura (NHP). El número de hojas caídas (NHC) se dedujo y se estimó el porcentaje de defoliación.

$$NHC = 2NN - NHP$$

$$\% \text{ Defoliación} = \frac{NHC}{2NN} \times 100.$$

Incidencia de la roya. El porcentaje de hojas afectadas por la enfermedad (incidencia) se calculó mediante la relación entre el número de hojas afectadas (NHA) y el número de hojas presentes (NHP) al momento de cada lectura.

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{NHA}}{\text{NHP}} \times 100$$

Balance de follaje (B.F). Se calculó mediante la relación entre el follaje presente al momento de cada lectura, con referencia a la cantidad de follaje inicialmente observado en abril (100%).

$$\text{B.F. Junio} = \frac{\text{NHP Total en junio}}{\text{NHP Total en Abril}} \times 100$$

$$\text{B.F. Octubre} = \frac{\text{NHP Total en octubre}}{\text{NHP Total en abril}} \times 100$$

Los totales de las 10 ramas estudiadas caracterizaron cada árbol (unidad experimental). Para cada fecha se realizaron los respectivos análisis de varianza.

Los genotipos se separaron en 9 grupos de acuerdo con su genealogía: derivados de A.192, A.293, A.222, A.206, H.3004, H.3005 y H.2094, y variedades Caturra y Colombia. Las sumas de cuadrados correspondientes a progenies dentro de grupos de genotipos se partieron en porciones correspondientes a cada grupo (Tabla 2). Los grupos con una progenie, como H.3004, H.2094, Caturra y Colombia, no tienen variación "dentro".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 3, 4, 5 y 6 se revelan claramente las marcadas diferencias entre genotipos resistentes y susceptibles a la roya. Las progenies derivadas de las plantas F3, A.192 y A.293, son ejemplos típicos de elevada resistencia, mientras los derivados de A.222 lo son de susceptibilidad.

La variedad Colombia no fue afectada por la roya. La defoliación observada en ella ocurre

debido a otros factores como la edad de la hoja y al efecto mecánico de la recolección de la cosecha que se realiza a partir de agosto. Se observa que en las progenies resistentes la defoliación fue similar a la de esta variedad.

En la Figura 1, se aprecian nítidamente las diferencias de comportamiento entre los materiales resistentes y susceptibles cuando se midieron las variables defoliación e incidencia de la enfermedad. Se grafican los datos correspondientes a la parte de la rama en fructificación y en diferenciación floral (en abril), la cual fue afectada con marcado retardo.

Porción de la rama en fructificación. Incidencia. La epidemia que se desarrolla en la porción de la rama que tiene frutos en

TABLA 2. Grupos de genotipos según la genealogía, y partición de sumas de cuadrados. Cenicafé, Chinchina, Caldas.

FUENTE DE VARIACION	G.L
Total (Arboles)	299
- Genotipos	24
- Arboles en genotipos	275
Genotipos	24
Grupos de genotipos	8
Progenies en grupos de genotipos	16
Progenies en grupos de genotipos	16
Progenies en A.192	5
Progenies en A.293	6
Progenies en A.206	1
Progenies en A.222	2
Progenies en H.3005	2

TABLA 3. Incidencia de roya (%), en el sector de la rama en fructificación, medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*.

Híbrido	Genealogía			Fechas				
	F3	F4	F5	Abril	Junio	Agosto	Octubre	
H.3001	A.192	Pr.64	BI.51	3,0	6,8	19,5	27,1	
			BI.53	1,7	6,4	31,6	55,8	
			BI.54	1,9	8,8	19,8	36,6	
			BI.56	1,0	3,1	12,5	20,2	
			BI.60	2,3	3,5	16,9	24,0	
			BI.625	3,4	4,1	8,3	9,7	
			Promedio	2,2	5,4	18,1	28,9	
	A.293	Lb.490	BI.71	1,2	3,7	13,6	17,1	
			BI.73	1,5	1,8	12,0	9,3	
			BI.74	0,3	3,4	11,3	20,9	
			BI.76	1,4	6,2	19,6	29,4	
			BI.78	3,0	5,2	26,1	35,6	
					Promedio	2,1	6,1	18,9
		Nr.157	Nr.160	BH.1226	3,7	7,2	20,1	32,6
					3,4	15,5	29,8	33,1
			Promedio	2,1	6,1	18,9	25,1	
A.222		Cn.169	BI.68	69,8	87,8	98,2		
	BI.69		51,6	61,9	69,5	44,4		
	BI.499		56,8	67,2	48,4			
				Promedio	59,4	72,3	73,0	44,4
A.206	Rs.409 Rs.428	BI.107	16,1	21,8	33,5	14,3		
		BI.120	0,5	4,6	15,7	18,3		
				Promedio	8,3	13,2	24,2	16,5
H.3004	B.1276		0,0	3,4	2,7	0,0		
H.3005	B.1026		34,3	49,0	54,7	60,7		
	B.1104		48,3	76,8	70,0	66,7		
	B.1105		1,9	7,2	3,9	1,9		
			Promedio	22,2	44,3	42,1	29,4	
H.2094	AN.620		33,4	47,8	69,9	37,1		
TESTIGOS:	Caturra (susceptible)		59,9	62,9	44,6			
	Variedad Colombia (resistente)		0,1	0,0	0,0	0,0		

TABLA 4. Porcentaje de defoliación en el sector de la rama en fructificación, medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*.

Híbrido	Genealogía			Fechas			
	F3	F4	F5	Abril	Junio	Agosto	Octubre
H.3001	A.192	Pr.64	BI.51	4,0	13,3	40,8	71,2
			BI.53	4,1	11,7	41,9	70,1
			BI.54	3,9	12,7	45,1	72,9
			BI.56	4,2	13,0	46,6	74,6
			BI.60	2,6	9,9	35,6	69,5
			BI.625	4,4	11,9	35,2	62,9
			Promedio	3,9	12,1	40,9	70,2
	A.293	Lb.490	BI.71	8,7	19,9	66,3	93,9
			BI.73	8,0	19,4	52,6	81,9
			BI.74	16,5	36,3	63,1	86,4
BI.76			7,6	21,5	60,0	89,0	
BI.78			17,2	42,5	74,2	95,8	
	Nr.157 Nr.160	BH.1226	18,8	41,5	70,7	90,8	
13,5			23,8	59,7	90,4		
		Promedio	12,9	29,3	63,8	89,7	
A.222	Cn.169	BI.68	62,3	82,1	98,8	100,0	
		BI.69	51,0	69,6	89,5	95,6	
		BI.499	60,3	77,6	90,4	91,3	
		Promedio	57,9	76,4	92,9	95,9	
A.206	Rs.409 Rs.428	BI.107	23,9	49,5	80,1	93,5	
		BI.120	6,3	14,7	50,7	89,9	
		Promedio	15,1	32,1	65,4	91,6	
H.3004	B.1276		15,6	28,1	48,5	69,4	
H.3005	B.1026 B.1104 B.1105		48,8	69,5	90,1	95,9	
			32,6	54,3	85,6	95,4	
			4,6	10,2	30,2	63,1	
		Promedio	28,7	44,7	68,6	84,5	
H.2094	AN.620		40,4	60,7	91,3	98,8	
TESTIGOS:	Caturra (susceptible)		62,4	84,4	97,9	99,7	
	Variedad Colombia (resistente)		8,1	15,4	39,4	72,6	

TABLA 5. Incidencia de roya (%), en el sector de la rama en diferenciación floral, medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*.

Híbrido	Genealogía			Fechas				
	F3	F4	F5	Abril	Junio	Agosto	Octubre	
H.3001	A.192	Pr.64	BI.51	0,0	0,8	3,6	6,3	
			BI.53	0,0	1,0	6,9	14,2	
			BI.54	0,1	0,4	4,1	8,0	
			BI.56	0,1	0,5	3,4	5,7	
			BI.60	0,4	0,3	2,8	7,4	
			BI.625	0,2	0,2	1,3	4,8	
			Promedio	0,1	0,5	3,7	7,7	
	A.293	Lb.490	BI.71	0,0	0,6	3,0	6,7	
			BI.73	0,0	0,4	2,2	8,2	
			BI.74	0,0	0,4	3,4	8,4	
			BI.76	0,1	0,8	3,5	4,8	
			BI.78	0,0	0,2	4,2	6,9	
					Promedio	0,0	0,4	3,0
		Nr.157 Nr.160	BH.1226		0,3	0,3	3,4	7,8
				0,7	2,0	6,3	11,4	
				Promedio	0,2	0,7	3,7	7,7
	A.222	Cn.169	BI.68	12,8	19,6	54,9	65,0	
			BI.69	8,3	18,6	51,2	54,7	
			BI.499	10,7	11,4	37,2	58,5	
Promedio			10,6	16,5	47,7	59,4		
A.206	Rs.409 Rs.428	BI.107	3,6	4,6	12,2	19,0		
		BI.120	0,1	0,7	2,0	10,2		
		Promedio	1,9	2,6	7,1	14,6		
H.3004	B.1276		0,0	0,3	0,7	1,1		
H.3005	B.1026 B.1104 B.1105		5,1	7,6	27,5	40,5		
			7,3	16,3	45,2	47,1		
			0,2	1,3	3,0	7,8		
		Promedio	4,2	8,4	25,3	31,8		
H.2094	AN.620		4,3	12,0	40,2	44,3		
TESTIGOS:	Caturra (susceptible)		11,2	11,5	28,6	42,2		
	Variedad Colombia (resistente)		0,0	0,0	0,0	0,0		

TABLA 6. Porcentaje de defoliación en el sector de la rama en diferenciación floral, medida sobre progenies resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*.

Híbrido	Genealogía			Fechas			
	F3	F4	F5	Abril	Junio	Agosto	Octubre
H.3001	A.192	Pr.64	BI.51	0,5	1,5	4,9	26,5
			BI.53	0,8	1,6	4,7	22,5
			BI.54	0,6	1,8	5,7	24,4
			BI.56	0,2	1,4	5,8	19,1
			BI.60	0,4	1,7	4,8	24,1
			BI.625	0,7	1,2	4,0	15,6
			Promedio	0,5	1,6	5,0	22,0
A.293	Lb.490	BI.71	1,8	3,7	23,5	59,4	
		BI.73	1,4	3,4	10,5	34,7	
		BI.74	1,8	5,9	10,9	36,4	
		BI.76	1,3	3,5	11,5	40,3	
		BI.78	3,0	8,6	18,0	46,7	
Nr.157	Nr.160	BH.1226	2,8	8,1	15,9	41,5	
			3,0	4,5	16,9	53,5	
Promedio			2,2	5,4	15,3	44,6	
A.222	Cn.169	BI.68	12,2	25,5	49,7	78,8	
		BI.69	7,5	16,0	43,4	77,1	
		BI.499	10,2	19,6	35,2	65,9	
Promedio			10,0	20,4	42,8	73,9	
A.206	Rs.409	BI.107	5,5	14,1	25,6	48,8	
		BI.120	0,6	3,0	14,2	43,5	
Promedio			3,0	8,5	19,9	46,2	
H.3004	B.1276			1,3	2,7	9,7	26,9
H.3005	B.1026			3,7	8,9	27,1	62,8
		B.1104		2,7	10,3	26,6	58,3
		B.1105		0,9	2,1	8,2	29,9
Promedio			2,4	7,1	20,6	50,3	
H.2094	AN.620			5,4	10,7	29,8	66,7
TESTIGOS:	Caturra(susceptible)			11,1	20,5	36,3	62,6
	Variedad Colombia(resistente)			1,5	5,4	10,3	25,5

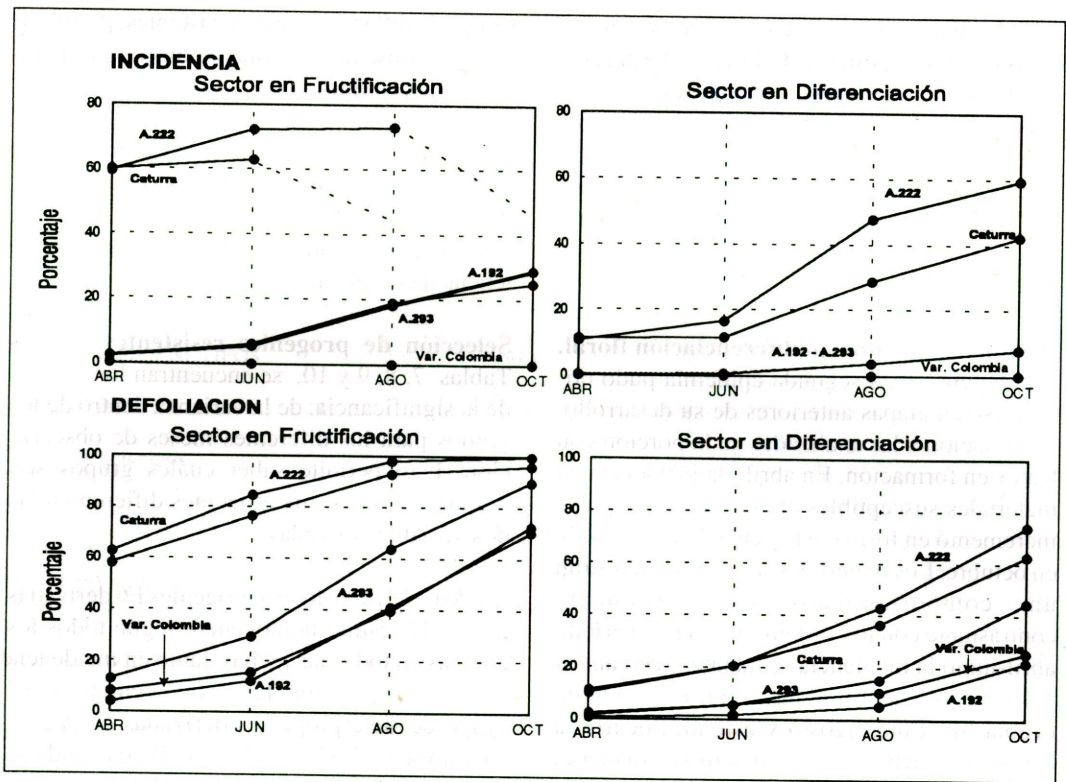


Figura 1. Incidencia de la enfermedad y defoliación consiguiente, en progenies resistentes y susceptibles a la roya. Como referencia variedad Caturra (susceptible) y Colombia (con resistencia completa).

formación en abril se inició con mucha anterioridad, probablemente alrededor de agosto, y alcanzó su mayor incidencia en junio, cuando los frutos estaban en la etapa de crecimiento acelerado, tal como lo explican Alvarado y Castillo (1). En la Tabla 3 y la Figura 1 se observa que en los materiales susceptibles, la incidencia ya había alcanzado un 60% en abril al iniciarse las observaciones. En el período junio-agosto esta variable comenzó a declinar, debido a que la defoliación superaba el 80%, lo que impidió medir correctamente la incidencia, de esta fecha en adelante.

En contraste, en los materiales con resistencia, la enfermedad se desarrolló con notable retraso: tenía valores muy bajos (2 a 6%) en el período de abril-junio, y sólo alcanzó valores

cercanos a 30% en octubre, cuando los frutos ya habían iniciado su etapa de maduración y la defoliación era del 70%.

Defoliación. Se observa en la Figura 1 y en la Tabla 4, que a principios de abril, cuando se iniciaron las observaciones, la defoliación en los materiales resistentes era muy baja (4 a 13%), mientras que en los materiales susceptibles alcanzaba un 60%. Al final de la observación, en octubre, los materiales susceptibles tenían una defoliación casi completa (98%) mientras que en los resistentes fluctuaba entre 70 y 90%.

La diferencia entre materiales resistentes y susceptibles es evidente, y se debe a que la enfermedad se desarrolla con un marcado retra-

so en los materiales resistentes (cerca de cuatro a seis meses). En éstos la defoliación tardía está asociada a la senescencia de la hoja y a los daños mecánicos debidos a la recolección, fenómenos que ocurren a partir de agosto. Lo anterior se comprueba claramente en la variedad Colombia que no fue atacada por la roya y que sufrió una defoliación tardía como la descrita.

Porción de la rama en diferenciación floral.

Incidencia. Esta segunda epidemia pudo observarse en etapas anteriores de su desarrollo, con relación a las analizadas en la porción con frutos en formación. En abril, la incidencia en materiales susceptibles era de 11% y luego se incrementó en forma exponencial hasta el 60% en octubre. Los materiales resistentes muestran un comportamiento extremadamente contrastante con los susceptibles: en el período abril-junio la incidencia se mantuvo cercana al 1% y luego se aumentó hasta el 8%, en octubre (Tabla 5). Entre agosto y este mes ocurre la antesis y los frutos que se desarrollan maduran 8 meses después.

Defoliación. La defoliación está interrelacionada con la incidencia. En los materiales susceptibles tenía un 10% en abril y se incrementó en forma exponencial hasta cerca de 75% en octubre (Tabla 6). Los materiales resistentes siguieron curvas similares pero con un retraso muy notable, que gráficamente puede estimarse en 4 meses. En abril el porcentaje de defoliación era del 2% y luego se incrementó lentamente hasta llegar a un valor entre 22 y 45%, en octubre. En esta fecha se suspendió la observación. Sin embargo, se esperaba que en los meses siguientes, hasta abril-mayo cuando ocurriría la cosecha del primer semestre, que la defoliación alcanzara el 100%, presentando un patrón similar al discutido para la región en fructificación.

Nuevamente se observó que la Variedad Colombia sufrió una defoliación creciente, si-

milar a la de las progenies resistentes, pero muy lenta y retrasada en comparación con los materiales susceptibles.

Estos valores insinúan que las diferencias en defoliación con la variedad Colombia pueden emplearse como una variable útil para estimar la resistencia de materiales con resistencia incompleta.

Selección de progenies resistentes. En las Tablas 7, 8, 9 y 10, se encuentran los valores de la significancia, de la varianza dentro de los grupos para los diferentes meses de observación. Esto permite saber cuáles grupos son homogéneos o si sus progenies difieren en las dos variables medidas.

Así, el grupo de seis progenies F6 derivadas de A.192 resultó homogéneo, según todos los análisis en todas las fechas, tanto en incidencia como en defoliación. Lo mismo ocurrió con el grupo de siete progenies derivadas de A.293, cuando se midió la incidencia. Pero cuando se analizó la defoliación se detectó heterogeneidad en junio (parte en fructificación) y agosto-octubre (parte en diferenciación floral), tablas 8 y 10. Al comprobar los datos de estas progenies en las fechas mencionadas, se observa que los mayores valores de defoliación se presentaron cada vez en diferentes progenies, sin ninguna consistencia en el tiempo, y estos mayores valores se encuentran muy alejados de los correspondientes a materiales susceptibles. No se justifica, en consecuencia, separar progenies dentro de este grupo.

Las tres progenies susceptibles derivadas de la planta F3 A.222 aparecen heterogéneas en los análisis. Sin embargo, los índices de susceptibilidad son tan altos que su discriminación carece de valor práctico.

La separación de progenies resistentes y susceptibles en otros grupos no ofrece dificultades; las dos progenies F6 derivadas de la

TABLA 7. Análisis de varianza de la variable incidencia de roya, medida en la porción de la rama en fructificación.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Meses de observación			
		ABRIL	JUNIO	AGOSTO 1/	OCTUBRE 1/
TOTAL (ARBOLES)	299	665,1	1.002,3		
GENOTIPOS	24	6451,9**	9.528,0**		
ARBOLES EN GENOTIPOS	275	160,4	258,3		
GENOTIPOS	24	6.451,4**	9.528,0**		
Grupos de genotipos	8	17.173,1**	23.900,7**		
Progenies en grupos de genotipos	16	1.085,0**	2.341,7**		
PROGENIES EN GRUPOS DE GENOTIPOS	16	1.085,0**	2.341,7**		
Prog. en A.192	5	9,4 n.s.	60,7 n.s.		
Prog. en A.293	6	19,5 n.s.	241,9 n.s.		
Prog. en A.206	1	1.452,3**	1.775,4**		
Prog. en A.222	2	1.051,0**	2.238,1**		
Prog. en H.3005	2	6.821,0**	14.730,5**		

1/ En agosto y octubre la incidencia no pudo determinarse debido a una alta defoliación.

** Significativo (P = 0,01)

n.s. No significativo

planta F3 A.206 son claramente disímiles tanto en defoliación como en incidencia (BI.107 susceptible y B.120 resistente). En forma similar las progenies F4 derivadas del cruzamiento H.3005 se separan en dos susceptibles (B.1104 y B.1026) y una resistente (B.1105).

Efecto de la roya sobre el desarrollo vegetativo de la planta.

El porcentaje de hojas afectadas por la roya (incidencia de la enfermedad) es un índice adecuado del desarrollo del patógeno en la planta. La defoliación es un efecto de ese desarrollo; existe una clara relación entre estas

variables, de modo que cuando la roya afecta aproximadamente el 60% de las hojas, la incidencia alcanza un período de estabilización antes de declinar. Durante ese lapso, es posible que la severidad se incremente coincidiendo con la caída de las hojas. En las gráficas presentadas en este trabajo se observa nítidamente que incidencia y defoliación progresan simultáneamente en las dos epidemias que se midieron en los dos sectores de las ramas (Figuras 1 y 2).

Las diferencias entre genotipos resistentes y susceptibles son muy notables; en los mate-

TABLA 8. Análisis de varianza de la variable defoliación, medida en la porción de la rama en fructificación.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Meses de observación			
		ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE
TOTAL (ARBOLES)	299	537,6	834,5	746,1	297,1
GENOTIPOS	24	5.094,5**	7.797,9**	5.830,2**	1.653,6**
ARBOLES EN GENOTIPOS	275	139,8	226,8	302,4	166,4
GENOTIPOS	24	5.094,5**	7.797,9**	5.830,2**	1.653,6**
Grupos de genotipos	8	13.233,5**	18.529,1**	12.775,5**	3.573,1**
Progenies en grupos de genotipos	16	1.025,0**	2.432,4**	2.375,5**	693,8**
PROGENIES EN GRUPOS DE GENOTIPOS	16	1.025,0**	2.432,4**	2.375,5**	693,8**
Prog. en A.192	5	5,2 n.s.	18,0 n.s.	269,0 n.s.	194,4 n.s.
Prog. en A.293	6	272,1 n.s.	1.295,7**	637,5 n.s.	257,2 n.s.
Prog. en A.206	1	1.860,2**	7.272,4**	5.178,0**	75,0 n.s.
Prog. en A.222	2	431,8 n.s.	481,8 n.s.	313,0 n.s.	85,5 n.s.
Prog. en H.3005	2	6.008,7**	11.408,9**	13.373,0**	4.170,0**

** Significativo (P=0,01)

n.s. No significativo

riales susceptibles, el progreso de la enfermedad es muy rápido y coincide con el desarrollo de los frutos, y con la emisión y nuevo crecimiento de las ramas sobre las cuales se producirá otra cosecha, 18 meses más tarde. En abril y junio el porcentaje de hojas afectadas pasaba del 60% en el sector en fructificación (Figura 1). Contrastando con lo anterior, en los materiales resistentes la enfermedad inició su desarrollo con más de 4 meses de retraso, lo cual significa que crecimiento y desarrollo de frutos y ramas ocurren en ausencia de la enfermedad o con niveles muy bajos de incidencia y defoliación. El porcentaje de hojas afectadas

sólo llegó al 2% en abril, y en junio estaba cerca del 6%.

El efecto de la defoliación en el desarrollo vegetativo puede apreciarse al examinar el balance de follaje. Los datos individuales para cada progenie aparecen en la Tabla 11, y en la Figura 3 se presentan los promedios para varios tipos de tratamientos. Como la observación en octubre está muy influida por la senescencia de la hoja y por los efectos mecánicos de la recolección de la cosecha, se hace referencia a los datos de junio y agosto que parecen los más adecuados para apreciar el balance de follaje.

TABLA 9. Análisis de varianza de la variable incidencia de roya, medida en la porción de la rama en diferenciación floral.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Meses de observación			
		ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE
TOTAL (ARBOLES)	299	23,4	53.2	429.3	564.9
GENOTIPOS	24	206,6**	495.0**	3.854.5**	4.992.2**
ARBOLES EN GENOTIPOS	275	7,5	14.8	130.4	178.5
GENOTIPOS	24	206,6**	495.0**	3.854.5**	4.992.2**
Grupos de genotipos	8	556,1**	1.240.2**	9.823.0**	13.388.2**
Progenies en grupos de genotipos	16	31,8**	122.4**	870.1**	794.2**
PROGENIES EN GRUPOS DE GENOTIPOS	16	31,8**	122,4**	870,1**	794,2**
Prog. en A.192	5	0,2 n.s.	0,9 n.s.	41,1 n.s.	137,3 n.s.
Prog. en A.293	6	0,7 n.s.	4,4 n.s.	19,5 n.s.	48,5 n.s.
Prog. en A.206	1	71,6**	91,7**	628,6 n.s.	4.624,0 n.s.
Prog. en A.222	2	59,7**	240,0**	1.044,0**	322,7 n.s.
Prog. en H.3005	2	156,2**	677,5**	5.442,0**	5.311,0**

* Significativo (P=0,05)

** Significativo (P=0,01)

n.s. No significativo

Los materiales resistentes (A.192, A.293 y la var. Colombia) mostraron en junio un aumento promedio cercano al 20% del follaje inicial en abril y tal aumento llegó a 140% en agosto. Estos incrementos corresponden a los períodos de crecimiento acelerado que normalmente ocurren durante los meses de marzo-abril en el primer semestre.

Por el contrario, en los materiales susceptibles la defoliación fue superior al nuevo crecimiento, por lo cual el balance de follaje fue menor que el inicial después de abril, aun en períodos de acelerado crecimiento vegetativo. Las progenies susceptibles derivadas de A.222,

mostraron los menores balances de follaje (95% en junio y 71% en agosto). La variedad Caturra y otras progenies susceptibles diferentes de A.222, pasaron de 105% a 96% (Figura 3).

Características y consecuencias de la resistencia. La resistencia incompleta discutida en este trabajo tiene dos características principales: una prolongada dilación en el inicio de la epidemia y una reducida tasa de progreso de la enfermedad. Esta última característica es evidente en las dos epidemias observadas. El retraso en el inicio de la epidemia puede apreciarse claramente en la porción de la rama que estaba en diferenciación floral al inicio de las

TABLA 10. Análisis de varianza de la variable defoliación, medida en la porción de la rama en diferenciación floral.

FUENTE DE VARIACION	G.L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Meses de observación			
		ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE
TOTAL (ARBOLES)	299	19,8	68,2	232,2	53,3
GENOTIPOS	24	146,8**	561,7**	2.038,8**	4.266,4**
ARBOLES EN GENOTIPOS	275	8,7	25,1	74,7	209,7
GENOTIPOS	24	146,8**	561,7**	2.038,8**	4.266,4**
Grupos de genotipos	8	394,1**	1.423,1**	5.305,0**	10.808,9**
Progenies en grupos de genotipos	16	23,1**	131,0**	405,8**	995,1**
PROGENIES EN GRUPOS DE GENOTIPOS	16	23,1**	131,0**	405,8**	995,1**
Prog. en A.192	5	0,5 n.s.	0,5 n.s.	5,3 n.s.	192,8 n.s.
Prog. en A.293	6	6,4 n.s.	58,5 n.s.	267,0**	994,3**
Prog. en A.206	1	140,6**	728,1**	769,8**	168,0 n.s.
Prog. en A.222	2	68,9**	276,7**	642,0**	587,5 n.s.
Prog. en H.3005	2	25,2 n.s.	230,7**	1.405,5**	3.824,5**

** Significativo (P=0,01)

n.s. No significativo

observaciones (en abril), y que gráficamente se estima en cuatro meses.

La dilación en el progreso de la enfermedad hace que, mientras en los materiales susceptibles la incidencia de la enfermedad, en abril-junio, ya haya alcanzado sus máximos valores (más de 60%) y comience a declinar por efecto de la defoliación (cerca de 90%), en los materiales resistentes, sólo pasó de cero a 19%, en un proceso con baja tasa de incremento (Figura 1).

La consecuencia de esto es que los frutos que se encuentran en pleno desarrollo entre

junio y agosto estén soportados por ramas gravemente defoliadas (80 a 90%), en los materiales susceptibles, mientras los resistentes conservan una proporción elevada de sus hojas en las ramas con frutos. Este fenómeno permite a los materiales resistentes no solo mantener sus frutos, sino emitir un vigoroso crecimiento vegetativo sobre el cual se desarrollarán las cosechas subsiguientes.

Al examinar la segunda cosecha se nota que en la porción de la rama en diferenciación floral en abril, el progreso de la enfermedad en octubre corresponde aproximadamente al detecta-

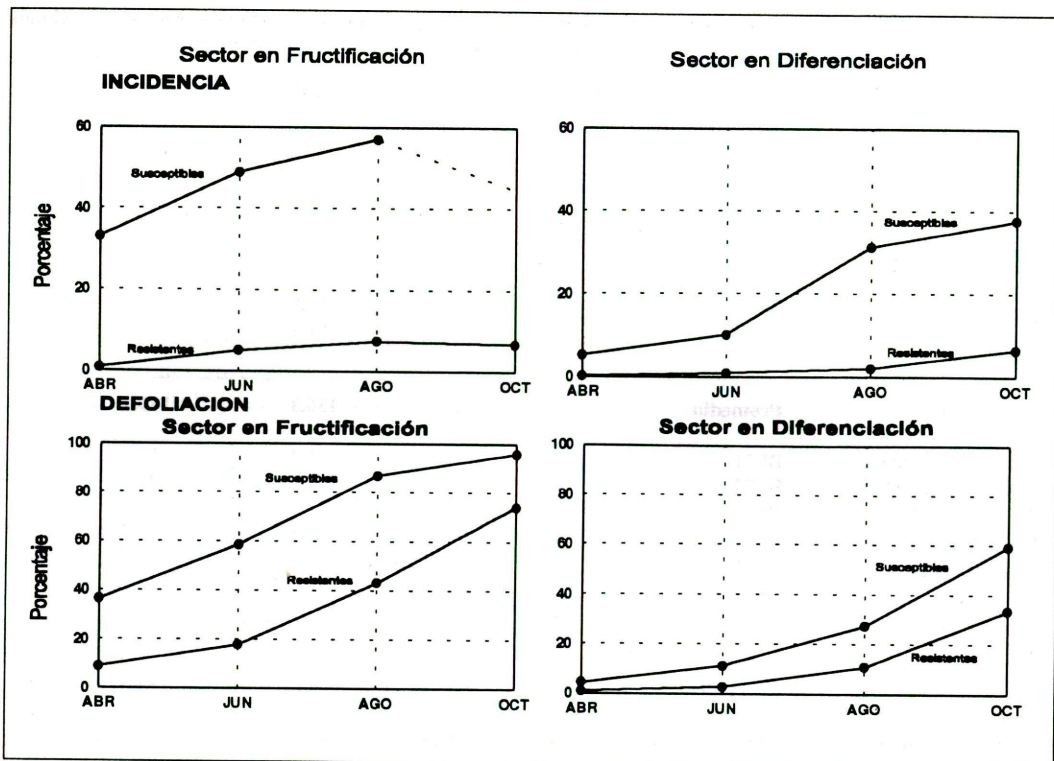


Figura 2. Incidencia de la roya y defoliación consiguiente, en progenies separadas dentro de dos grupos heterogéneos por resistencia. Datos registrados en dos porciones de la rama: en fructificación y en diferenciación floral al iniciar las observaciones, en Abril. Progenies resistentes: BI. 120; B. 1105; B. 1276. Progenies susceptibles: BI. 107; B. 1104; B. 1026; AN. 620.

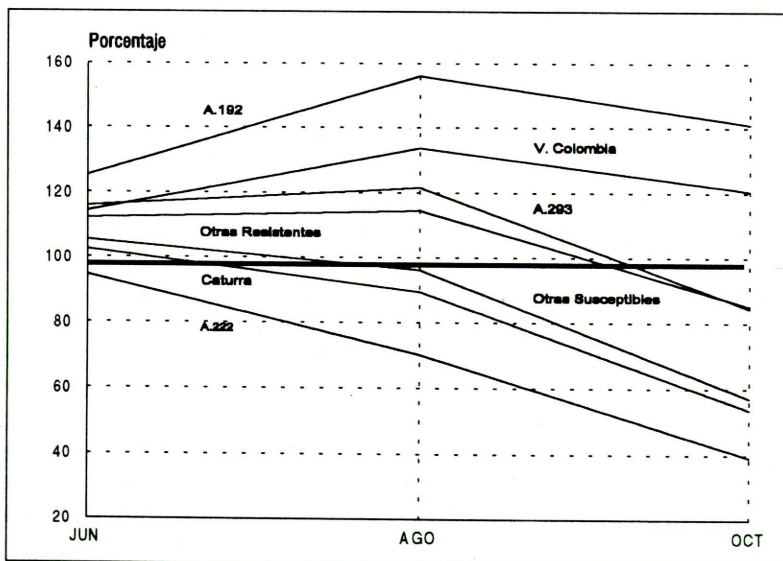


Figura 3. Balance de follaje (hojas emitidas menos defoliación) con relación a la cantidad de follaje en abril (100%), para caracterizar materiales resistentes y susceptibles a la roya.

TABLA 11. Balance de follaje en materiales resistentes y susceptibles a *H. vastatrix*, medido en tres observaciones en 1991. Los datos se expresan como porcentaje del follaje presente en abril (100%).

Genotipo	Progenie	Fechas		
		Junio	Agosto	Octubre
Progenies resistentes derivadas de A.192	BI.51	121,2	149,8	126,5
	BI.53	130,4	163,6	147,0
	BI.54	127,2	159,0	143,5
	BI.56	126,3	156,7	147,0
	BI.60	123,4	150,6	132,1
	BI.625	123,1	157,1	150,3
	Promedio	125,3	156,1	141,1
Progenies resistentes derivadas de A.293	BI.71	110,7	96,4	52,8
	BI.73	115,9	127,3	98,2
	BI.74	117,8	129,0	97,4
	BI.76	117,3	124,8	89,4
	BI.78	114,6	118,5	78,8
	BH.1226	120,4	142,2	110,1
	Nr.160	115,3	114,0	64,8
	Promedio	116,0	121,7	84,5
Progenies susceptibles derivadas de A.222	BI.68	90,6	63,0	25,2
	BI.69	95,7	66,7	24,6
	BI.499	97,4	82,1	42,9
	Promedio	94,5	70,6	39,1
Otras progenies resistentes	BI.120	108,1	106,7	72,4
	BI.1105	115,8	120,1	93,1
H.3004	B.1276	112,6	116,8	102,0
	Promedio	112,2	114,3	89,1
Otras progenies susceptibles	BI.107	106,0	106,0	75,8
	B.1104	107,2	99,3	62,6
	B.1026	101,2	86,1	45,4
	AN.620	107,0	93,0	44,8
	Promedio	105,4	96,1	57,2
Testigos:				
var. Colombia (resistente)		114,3	133,7	120,7
var. Caturra (susceptible)		102,4	89,4	53,6

do en abril, para la porción de la rama en fructificación, cuando los parámetros defoliación e incidencia estaban cercanos a 60% (materiales susceptibles).

Durante los tres meses precedentes a octubre, en la parte en diferenciación floral, las ramas habían florecido y emitido crecimiento vegetativo. En los tres meses subsiguientes (noviembre, diciembre, enero) los frutos debieron crecer en condiciones de severa defoliación, en los materiales susceptibles, y con relativa abundancia de follaje en los resistentes. Normalmente, estos frutos llegan a la maduración entre marzo y mayo.

Defoliación en materiales resistentes y susceptibles.

Las progenies derivadas de la planta F3 A.192 tuvieron una defoliación similar a la ocurrida en la variedad Colombia, que no fue afectada por la roya. Es bien sabido que el café se defolia fuertemente en un período comprendido aproximadamente entre la floración y la maduración de frutos, por efecto de la edad de la hoja o por otras causas ambientales. En el período de recolección de la cosecha se incrementa por efectos mecánicos de este proceso. Las diferencias en defoliación entre la variedad Colombia y los materiales susceptibles (Caturra y derivados de A.222), son atribuibles al efecto de la roya y fueron muy notables en los meses de abril, junio y agosto: 52, 65 y 53 puntos porcentuales.

Las progenies derivadas de la planta F3 A.293, ligeramente más susceptible que las derivadas de A.192, mostraron diferencias bajas con la variedad Colombia en las mismas fechas: 4,8; 13,9 y 24,4 puntos porcentuales.

Naturaleza de la resistencia. Los materiales derivados de *C. arabica* cv. Caturra x Híbrido de Timor, generalmente poseen resistencia específica asociada a reacciones de hipersensibilidad (13), que impide la esporulación del patógeno. Sin embargo, algunos materiales no

presentan tal resistencia, quizá porque se generaron por segregación de dichos genes o por la presencia de razas patogénicas específicas a ellos. Estas plantas presentan lesiones bien definidas con esporulación fácilmente detectable. A este tipo de material pertenecen las progenies estudiadas en este trabajo. No obstante presentar lesiones bien esporuladas, la resistencia que poseen se caracteriza por una marcada dilación en el inicio de la epidemia (mayor de cuatro meses) y por muy lento progreso de la enfermedad, con relación a los materiales susceptibles. Parece una hipótesis razonable sugerir que esta resistencia es inespecífica (horizontal en el sentido de Vanderplank). No obstante se ha sugerido que una vez vencidos los genes de resistencia específica por las razas patogénicas complementarias, queda un remanente de resistencia incompleta, debido a los mismos genes ya vencidos (10, 14).

Los materiales analizados en la presente investigación poseen resistencia caracterizada por una marcada dilación en el inicio de la epidemia y baja tasa de progreso de la enfermedad. Puede suponerse que una baja frecuencia de infección y un prolongado período de latencia sean responsables de estas características (13). Vanderplank (14) cita trabajos de Stakman y Christensen (11) en que variedades con resistencia inespecífica sembradas lado a lado con variedades susceptibles, todas inoculadas uniformemente con razas patogénicas, mostraron una menor frecuencia de infección. La relación del número de pústulas de variedades resistente a susceptible (R:S), varió entre 1:5 y 1:20. Valiéndose de curvas de crecimiento se muestra el efecto equivalente de disminuir el inóculo inicial o la tasa de infección, sobre el progreso de la epidemia. El mismo investigador calcula el efecto de reducir el inóculo inicial sobre la magnitud de la enfermedad al final de una epidemia de 90 días, concluyendo que el efecto es enorme: Si se reduce el inóculo inicial a la décima parte, la cantidad de enfermedad después de 90 días se reducirá a 1/710 millones.

Una resistencia de este tipo puede estar operando en el caso de la resistencia incompleta a la roya del café. Se ha observado además que el período de latencia es muy prolongado en los materiales derivados del Híbrido de Timor, con resistencia incompleta.

LITERATURA CONSULTADA

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. CADENA G., G. Expresión de resistencia horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix*) en la variedad Conilón (*Coffea canephora*). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia-Instituto Colombiano Agropecuario, 1978. 198 p. (Tesis: Magister Science).
3. CARVALHO, A.; ESKES, A.B.; FAZUOLI, L.C., Breeding for rust resistance in Brazil. In: KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. *Coffee Rust: Epidemiology, resistance, and management*. Boca Ratón, Florida, CRC Press, 1989. p. 295-307.
4. CASTILLO Z., J.; MORENO R., G. La variedad Colombia: selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Chinchiná, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-Cenicafé. 1988. 174 p.
5. ESKES, A.B. Resistance. In: KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. *Coffee Rust: Epidemiology, resistance, and management*. Boca Ratón, Florida, CRC Press, 1989. p. 171-291.
6. ESKES, A.B.; CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. *Euphytica* 32: 625-634. 1983.
7. ESKES, A.B.; HOOGSTRATEN, J.G.J.; TOMA-BRAGHINI, M.; CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Híbrido de Timor. *Euphytica* 47: 11-19. 1990.
8. ESKES, A.B.; M. TOMA-BRAGHINI, M. Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). *Boletín Fitosanitario FAO* 29 (3/4): 56-66. 1981.
9. MONACO, L.C. Consequences of the introduction of coffee leaf rust into Brazil. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 287: 57-71. 1977.
10. RILEY, R. Genetic changes in hosts and the significance of disease. *Annals of Applied Biology* 75:128-132. 1973.
11. STAKMAN, E.C.; CHRISTENSEN, J.J. The problem of breeding resistant varieties. In: HORSFALL, J. G.; DIMOND, A.C. eds. *Plant Pathology*. Vol. 3. New York, Academic Press, 1960. p. 567-627.
12. STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2 ed. Bogotá, Mc.Graw-Hill Latinoamericana, 1985. 622 p.
13. VANDERPLANK, J.E. *Disease Resistance in Plants*. New York, Academic Press. 1968. 206 p.
14. VANDERPLANK, J.E. *Disease Resistance in Plants*. 2 ed. New York, Academic Press. 1984. 194 p.