

EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A *Ceratocystis fimbriata* Ell Halst. Hunt. EN PROGENIES F₅ DE CAFÉ BORBÓN RESISTENTE X CATURRA

Bertha Lucía Castro-Caicedo*; Hernando Alfonso Cortina-Guerrero*

CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. en progenies F₅ de café Borbón resistente X Caturra. Cenicafé 60 (2): 115-125. 2009.

Para obtener una variedad de café resistente a llaga macana causada por *Ceratocystis fimbriata* (C.f.), se cruzó una línea de *Coffea arabica* var. Borbón resistente a C.f. (Brm), con la variedad Caturra susceptible. El objetivo fue evaluar la resistencia de progenies F5 de este cruzamiento para seleccionar aquellas altamente resistentes, con buenos atributos agronómicos y calidad de grano. Se utilizó el aislamiento CF117P de C.f. altamente virulento. Se hizo una evaluación en almácigo y dos evaluaciones en el campo. En almácigo se inocularon plantas de nueve meses, de 13 progenies y como testigos Caturra y Brm, en un diseño completamente aleatorio, con 30 repeticiones y la planta como unidad experimental. Un año después se evaluaron: supervivencia de plantas y largo y ancho de la lesión. En plantas adultas se evaluaron 15 progenies, en dos experimentos, en un diseño completamente aleatorio, diez plantas por unidad experimental y cinco repeticiones por progenie, con los mismos testigos. Las plantas se inocularon a los 15 meses en el primer experimento (PE) y 20 meses en el segundo (SE). En el PE, 13 meses después de la inoculación se evaluó la supervivencia, largo y ancho de la lesión. Cuarenta y ocho meses después de la inoculación, se calificó la supervivencia en los dos experimentos. En almácigo, sobrevivieron entre 81% y 93% de las progenies de Brm. En el campo la resistencia coincidió en un 90% con los resultados de almácigo. Se seleccionaron ocho progenies de buena producción y calidad, y altamente resistentes, con más del 80% de supervivencia, menores longitud y ancho de la lesión. El 99% de las plantas de Caturra murieron.

Palabras clave: *Coffea arabica*, resistencia genética, llaga macana.

ABSTRACT

To obtain a coffee variety resistant to canker disease caused by *Ceratocystis fimbriata* (Cf), a line of *Coffea arabica* var. Borbón resistant to "macana-canker" (Brm) was crossed with susceptible Caturra variety. The aim of this study was to evaluate progenies F5 to select highly resistant progeny with good agronomic and quality attributes of grain. A virulent isolation CF117P Cf was inoculated into the stems of nine-month-plants grown in plastic bags of 13 progenies, Caturra and Brm as controls, in fully randomized, one plant as the experimental unit and 30 replicates. A year later the survival plants, length and width of necrotic area (cm) on the stem of these plants were measured. In adult plants in field 15 progenies were evaluated in two assays, in fully randomized, 10 plants per experimental unit and 5 replicates per each progeny, including the same test controls. The plants were inoculated at 15 months old in the first assay and 20 months in the second assay. In the first one, the evaluation was made 13 months later by recording survival, length and width of the lesion. Forty-eight months after inoculation the survival of plants in both experiments were assessed. In seedlings, all progenies and Brm survived between 81% to 93%, and 96% in Brm. In field experiments, the resistance response coincided in 90% with seedlings results. Eight highly resistant progenies, performing high yield and cup quality, were selected with $\geq 80\%$ survival, shorter length and width lesions at the inoculation site. Ninety-nine percent of the Caturra plants died.

Keyword: *Coffea arabica*, genetic resistance, macana canker disease.

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

La “llaga macana”, “cáncer del tronco” o “macana”, es una enfermedad ocasionada por el hongo *Ceratocystis fimbriata*, habitante del suelo, cuyo ingreso en la planta ocurre exclusivamente por heridas en el tallo o en la raíz, la infección es lenta y compromete el sistema vascular, que taponan los haces del floema y causa la muerte de la planta en cualquier estado de desarrollo (3, 21). La enfermedad fue reportada por primera vez en 1932, y Castro *et al.* (18) estimaron que un 13,5% de plantas perdidas causa una disminución en la producción de 17,6 @/ha/año (18).

Todas las variedades de café cultivadas en Colombia son susceptibles al patógeno. Las principales recomendaciones para impedir el ataque de *C. fimbriata* son evitar las heridas en cualquier parte de la planta y cuando ocurren, prevenir la infección mediante la aplicación de productos químicos protectores como tiabendazol, benomyl y carbendazim (13). Esta recomendación se hace principalmente durante la renovación por medio del zoqueo, que preferiblemente debe hacerse durante la época seca. La herida ocasionada durante esta práctica aumenta el riesgo de infección, especialmente durante los primeros 30 días después del corte, cuando los tejidos están frescos (14), y se corre el riesgo de que el fungicida se pierda por la lluvia (20).

Existen diferentes labores en el cultivo del café como descope, poda de ramas bajas y desyerbas con machete o guadaña, que causan heridas difíciles de proteger (15). Se ha determinado que la mayor incidencia de la enfermedad en la zona cafetera colombiana ocurre en zonas con pendientes superiores al 70%, en donde las heridas en la base de las plantas por el continuo pisoteo por los operarios al buscar apoyo, son causa del incremento de la enfermedad, llegando hasta el 50% de incidencia en dichos lotes,

mientras que en aquellos lotes de topografía ondulada o plana, después del zoqueo ocurre entre un 10% a 15% (15).

Entre las alternativas de manejo de la llaga macana está el uso de variedades resistentes, aprovechando la resistencia presente en especies como *Coffea canephora*, *C. liberica* y *C. kapakata* (16, 22), y en una línea de la variedad Borbón de *C. arabica* (Brm) (4, 21). En estas plantas el patógeno inicia la infección, pero debido a la formación por parte de la planta de tejidos suberizados que rodean la lesión, ésta cicatriza completamente

A partir de la línea de Brm, y gracias a los trabajos realizados en la Disciplina de Fitopatología de Cenicafé, entre los años 1950 a 1964, y en posteriores investigaciones de la Disciplina de Mejoramiento Genético, se obtuvieron resultados concluyentes que resaltan las bondades de dicha selección, sugiriendo que este material “se constituye en un recurso agrónomicamente valioso que puede ser utilizado en la medida en que el problema de llaga macana sea de importancia económica” (6, 7, 8, 10).

Es importante mencionar que los trabajos en la búsqueda de resistencia genética a patógenos vasculares en plantas perennes, son relativamente pocos. Entre las limitantes más frecuentes está la expresión y la certeza de la resistencia en un tiempo que sobrepasa los cinco años, como lo mencionan Townsend y Douglass (27). En inoculaciones hechas en olmos americanos con *Ophiostoma ulmi*, Clerivet *et al.* (19) mencionan que son muy pocas las reacciones específicas de defensa de las plantas a patógenos causantes de cánceres, como el causado por *C. fimbriata* f. sp. *platani*, en plantas jóvenes de tres meses de edad, pero sí se manifiestan en plantas adultas. De otra parte, el método

de la evaluación de la resistencia puede ir desde la mortalidad de las plantas (28), hasta el contenido de savia de madera sana o producción de resina, como lo mencionan Baier *et al.* (2), también es importante la colonización del hongo en los tejidos del floema (longitud y ancho), como una medida ya sea de virulencia del patógeno o de resistencia de la planta (23).

Dado que en Colombia las variedades de porte alto fueron remplazadas por las variedades de porte bajo, como son Caturra y Colombia, la posibilidad de usar directamente la línea de Brm es muy poca, pero es una fuente de resistencia valiosa para obtener una variedad de porte bajo con resistencia a *C. fimbriata*.

Con este propósito Castillo (9), cruzó la variedad Brm con la variedad Caturra. Las plantas F1 fueron inoculados con el hongo y mediante la calificación de área de lesión y formación de tejidos de cicatrización, se seleccionaron aquellos resistentes y homocigotos para el porte bajo, hasta la F4 (11). El objetivo del trabajo fue evaluar 13 progenies F5 de porte bajo y resistentes a la llaga macana para la selección de las líneas más destacadas para obtener una variedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos de evaluación, uno en almácigo y dos en el campo.

Localización: La evaluación del almácigo se realizó en La Granja de Cenicafé, ubicada a dos kilómetros del área urbana de Chinchiná (Caldas), a 05°00' de latitud Norte, 75°36' de longitud Oeste y una altitud de 1.310 m, con un promedio de temperatura de 21,0°C. Los experimentos de campo se realizaron en la Estación Central de Naranjal, de Cenicafé

(Chinchiná), ubicada a 4°59' de latitud Norte y 75°36' longitud Oeste, con una altitud de 1.400 m, precipitación anual de 2.560 mm y un promedio de temperatura de 20,7°C.

Progenies evaluadas: En el almácigo se evaluaron 13 progenies F5, del cruzamiento entre Borbón resistente a macana, preseleccionadas por Castillo y Castro (11): DF 801, DF 805, DF 808, DF 811, DF 817, DF 826, DF 829, DF 835, DF 838, DF 841, DF 850, DF 859 y DF 862. En el campo se evaluaron las mismas progenies con excepción de DF 817 y DF 829, y en su reemplazo se incluyeron las progenies DF 790, DF 802, DF 823 y DF 868.

En los experimentos de almácigo y campo, el testigo susceptible fue la variedad Caturra y el resistente la variedad Borbón.

Inoculación: Como inóculo se utilizó el aislamiento CF117P de *C. fimbriata*, altamente patogénico, de acuerdo con la selección realizada entre 30 aislamientos, obtenidos de plantas de café o de muestras de suelo de varias regiones del país (17). Se siguió el método de propuesto por Castro (12), que incluye la inoculación con una suspensión de $2,5 \times 10^4$ ascosporas/mL de agua, depositando 30 μ L en las plantas en almácigo y 50 μ L en las plantas en el campo, de la suspensión del patógeno debajo de la corteza, para lo cual se hizo una herida en el tallo de 0,5 cm de largo a 5,0 cm del suelo en el almácigo y a 10 cm en las plantas adultas. La herida se cubrió con algodón húmedo y papel parafilm, durante 8 días, al cabo de los cuales se comprobó la colonización del patógeno, por la presencia de estructuras carbonosas, correspondientes a las macroconidias del hongo (3, 21).

Evaluación de resistencia en el almácigo: Para evaluar la resistencia en el almácigo se utilizó un diseño completamente al azar

con 30 repeticiones. La unidad experimental fue la planta, sembrada en bolsas plásticas de 5 kg de capacidad, y se dispusieron en un lote a plena exposición solar.

A partir de los 45 días después de la inoculación, quincenalmente se registraron las plantas muertas y se verificó el anillamiento causado por el patógeno. Un año después se hizo la calificación definitiva evaluando la supervivencia de las plantas y midiendo en el punto de inoculación la longitud y ancho (cm) de la lesión (8). Con estas variables se realizó el análisis de varianza bajo el diseño experimental y cuando hubo diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de Duncan (5%).

Evaluación de resistencia en plantas adultas: Se establecieron dos experimentos independientes. En el primero se evaluó la resistencia y en el segundo se corroboraron los resultados. En ambos experimentos se utilizaron lotes de topografía plana-ondulada, bajo un diseño experimental completamente aleatorio, con un surco de diez plantas como unidad experimental y cinco repeticiones por progenie. La distancia de siembra fue de 1,0 m entre plantas y 1,5 m entre surcos. Las plantas tuvieron un manejo agronómico de acuerdo con las recomendaciones de Cenicafé, incluido el control de la roya (26).

En el primer experimento la inoculación se realizó 15 meses después de siembra y a partir de los seis meses después de la inoculación y hasta los 13 meses, mensualmente se registraron las plantas muertas y se verificó la presencia de la lesión. A los 13 meses se midió la longitud de la lesión (cm), se estimó la proporción de la circunferencia del tallo afectada por *C. fimbriata* (25%, 50%, 75% ó 100%), y se observó la formación de

tejidos de resistencia (8, 11). Finalmente, a los 48 meses se corroboró la supervivencia de las plantas.

En el segundo experimento, las plantas se inocularon 20 meses después de la siembra y la supervivencia se evaluó 36 meses después de la inoculación. Se realizaron análisis de varianza, de acuerdo con el diseño experimental para el porcentaje de supervivencia, para el ancho y para el largo de la lesión. Cuando se presentaron diferencias significativas entre progenies se aplicó la prueba de Duncan al 5%.

Evaluación agronómica en plantas adultas: En el primer experimento se registraron la altura de las plantas a los dos y tres años de edad, la producción de café cereza por parcela, en las dos cosechas principales, y las características de fruto y de grano en muestras tomadas en tres pases de cosecha (5). Los frutos vanos se clasificaron por flotación, en muestras de 100 frutos maduros, y los defectos de los granos caracol y triángulo, se evaluaron en muestras de 400 granos de café pergamino (24). Para el tamaño de grano se tomaron muestras de 100 g de café almendra, con 10% de humedad, y se pasaron por una zaranda con orificios circulares de 17/64 pulgadas, para obtener la proporción en peso, de café retenido en dicha zaranda (café supremo), según el método propuesto por Moreno y Castillo (24).

Selección de progenies resistentes: Se seleccionaron progenies con alta productividad y buena calidad o cuyo porcentaje de supervivencia al patógeno fuera igual o mayor al 80%, en los dos experimentos de campo, y que además tuvieran un ancho de la lesión igual o menor a la mitad (50%) de la circunferencia del tallo, medida en el primer experimento de campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resistencia a *C. fimbriata* en plantas de almácigo

Doce meses después de la inoculación la supervivencia de las 13 progenies evaluadas y de la variedad Brm estuvo entre el 81% y el 100% (Tabla 1). La lesión del patógeno avanzó unos pocos centímetros y rápidamente se detuvo ante la formación de tejidos suberizados, que en la mayoría de los casos rodearon completamente la lesión, impidiendo el anillamiento del tallo. Todas las plantas de las progenies DF 826- DF 829- DF 835 y DF 841 sobrevivieron. El análisis de varianza mostró diferencias con las demás progenies, en las variables longitud y ancho de la lesión. La variedad Brm mostró un 96,6% de supervivencia mientras que en Caturra la lesión rodeó completamente el tallo, causando la muerte de todas las plantas.

Resistencia a *C. fimbriata* en plantas adultas

Primer experimento. Seis meses después de la inoculación del patógeno, algunas plantas de Caturra mostraron amarillamiento y progresivamente se marchitaron. Un año después, la mayoría de las plantas murieron, en contraste, las plantas de las progenies de Brm eran normales y vigorosas.

En la Tabla 2 se observa el porcentaje de supervivencia, la proporción del tallo afectado y la longitud de la lesión, con los respectivos coeficientes de variación para las progenies y los testigos, a los 13 meses de la inoculación. El análisis de varianza mostró diferencias ($p < 0,05$) en las tres variables. La prueba de Duncan al 5% separó a Caturra de las progenies y del Brm. Se observaron tejidos suberizados en el borde de la lesión

Tabla 1. Supervivencia de progenies y ancho y longitud de la lesión en el tallo causado por *C. fimbriata*, un año después de la inoculación del patógeno*, en progenies F5 de Brm x Caturra. Plantas de almácigo.

Material	Plantas sobrevivientes (%)	Ancho de lesión		Longitud de lesión	
		cm	C.V.	cm	C.V.
DF 826	100,0	1,7 fgh	49,5	2,5f	46,0
DF 829	100,0	1,5h	43,5	2,3fg	43,0
DF 835	100,0	1,6gh	34,0	2,5f	41,4
DF 841	100,0	1,7efgh	36,2	2,6f	43,2
DF 817	98,0	1,4h	37,5	2,4fg	69,3
DF 838	98,0	1,7fgh	32,7	2,8ef	42,3
DF 801	90,0	1,5h	35,7	3,2def3	73,3
DF 805	88,0	1,4h	43,3	3,7cde	100,0
DF 811	93,0	1,9ef	37,0	3,9bcd	53,5
DF 808	88,0	2,2cd	37,0	4,5cb	45,5
DF 850	81,2	1,8efg	35,7	4,2bcd	79,3
DF 862	92,0	2,6b	36,0	4,7b	53,0
DF 859	90,0	2,5cb	23,3	4,7b	45,4
Brm	96,6	1,5gh	54,0	1,5g	29,5
Caturra	0	3,0as	25,9	8,8a	21,7

*Promedios con letras no comunes presentan diferencias estadísticas según prueba de Duncan al 5%.

* La inoculación se hizo a los 9 meses de edad.



Figura 1. Formación de tejidos de cicatrización que impidieron el avance de *C. fimbriata* en Brm y progenies resistentes (a), en comparación con en anillamiento completo del tallo en la variedad Caturra susceptible (b).

en todas las progenies y en Brm (Figura 1a), mientras que no se observó en Caturra (Figura 1b). El tejido de cicatrización tuvo forma y disposición irregular y hubo casos en

los que no impidió el avance del patógeno, debido a que en algunas plantas la lesión avanzó debajo de dichos tejidos.

El avance longitudinal de la lesión fue mayor que el transversal, tal como varios autores lo han mencionado (4, 8, 11, 16, 17). Sin embargo, el avance alrededor del tallo fue menos variable dentro de las progenies, lo que indica la posibilidad de seleccionar a los 13 meses, aquellas plantas con menor avance de la lesión alrededor del tallo.

En 12 progenies sobrevivieron más del 80% de las plantas, en ellas la longitud de la lesión fue en promedio de 10,4 cm y su avance alrededor del tallo fue menor a la mitad de su circunferencia (Tabla 2), y se clasificaron como altamente resistentes. Se observaron tres progenies (DF 805, DF 850

Tabla 2. Supervivencia, proporción y longitud de la lesión causada por *C. fimbriata*, 13 meses después de la inoculación. Primer experimento.

Material	Proporción de plantas sobrevivientes		Avance de la lesión alrededor del tallo		Longitud de la lesión	
	%	C.V.	%	C.V.	cm	C.V.
DF 808	98 a	4,5	40g	45,0	10,0cde	37,5
DF 823	94 a	9,5	40g	56,0	11,7c	30,5
DF 835	94 a	14,2	40g	58,3	11,2cd	38,8
DF 838	94 a	5,8	45fg	45,3	11,7c	42,6
DF 826	94 a	9,5	50efg	47,2	11,4cd	36,8
DF 841	94 a	6,0	40g	54,3	10,7cd	43,0
DF 801	92 a	4,8	40g	53,4	8,7e	41,3
DF 802	92 a	11,9	50efg	50,4	11,2cd	41,7
DF 859	92 a	4,8	50dfg	44,3	10,7cd	37,2
DF 811	90 a	7,8	45fg	55,0	9,5 cde	40,0
DF 868	90 a	8,7	45fg	55,8	11,0cd	42,3
DF 862	87 ab	14,1	45fg	54,6	9,5de	41,8
DF 805	74 bc	24,5	61cd	45,5	11,5cd	45,0
DF 850	72 c	28,4	65cb	41,3	11,3cd	43,8
DF 790	53 d	15,7	70b	39,8	13,9b	37,3
Brm	73 bc	21,9	60cde	51,1	10,5 cde	39,2
Caturra	22 e	73,0	90 a	19,7	17,7a	33,7

Letras no comunes implican diferencias estadísticas entre promedios, según prueba de Duncan al 5%.

y DF 790) con supervivencia entre 53% y 74%, en las cuales la lesión alrededor del tallo abarcó más de la mitad de su circunferencia, con tejidos de cicatrización que lo detuvieron y evitaron la muerte de las plantas, también son resistentes al patógeno. En este grupo se ubicó la variedad Brm, con un 72,8% de plantas sobrevivientes, con avance de la lesión del 60% alrededor del tallo, similar a la registrada por Castillo en esta misma línea (6), mientras que la longitud de la lesión fue estadísticamente igual a la de las progenies. Al considerar que la variedad Brm es la fuente de resistencia, se esperaba mayor o igual resistencia que las progenies

altamente resistentes, sin embargo, la respuesta puede deberse a la desuniformidad de la madurez de los tejidos del tallo (6), que impidieron que la resistencia se expresara acentuadamente, como la observaron Castaño (4) y Fernández (21).

En contraste, la variedad Caturra presentó el 78% de plantas muertas, debido al anillamiento del tallo por la lesión (Tabla 2), y en las plantas sobrevivientes no se observaron tejidos de cicatrización. A los 48 meses de la inoculación ninguna planta de la variedad Caturra sobrevivió al ataque del patógeno, mientras que en algunas progenies y en Brm se incrementó la

Tabla 3. Supervivencia a *C. fimbriata* de las progenies F5 de Caturra x Brm en los dos experimentos en plantas adultas en la Estación Central Naranjal.

Progenies	Proporción de plantas sobrevivientes			
	Primera fase ¹		Segunda fase ²	
	%	C.V.	%	C.V.
DF 808	90 a	8,0	87 a	15,8
DF 859	86 a	13,0	87 a	15,8
DF 835	84 ab	16,0	91 a	14,3
DF 801	82 ab	13,3	88 a	19,4
DF 838	82 ab	15,0	80 ab	21,6
DF 862	81 ab	18,1	85 ab	18,3
DF 823	78 ab	22,7	83 ab	34,6
DF 811	78 ab	23,0	60 abcd	26,6
DF 841	78 ab	19,0	87 a	16,0
DF 802	78 ab	2,5	66 abcd	33,5
DF 868	69 abc	25,0	49 cde	12,3
DF 826	66 abc	58,0	69 abc	27,8
DF 805	59 bcd	40,0	50 cde	40,8
DF 850	46 cd	40,0	43 de	43,8
DF 790	40 d	18,0	40 e	22,8
Brm	50 cd	45,4	87 a	25,0
Caturra	0	0	3 f	223,6

Letras distintas implican diferencias estadísticas entre promedios, según Prueba de Duncan al 5%.

¹ 48 meses después de la inoculación

² 36 meses después de la inoculación

mortalidad (Tabla 3), lo cual pudo ser causado por la laceración de los tejidos, durante la primera fase del experimento, la cual propició la reinfección o por el avance normal de la infección del patógeno en el tallo, que es lenta como lo mencionan varios autores (4, 11, 21).

Como resultado de este experimento se encontró que las progenies DF 808, DF 859, DF 835, DF 801, DF 838 DF 862, DF 823, DF 811, DF 841 y DF 802, con más del 75% de plantas que se recuperaron, tuvieron una resistencia suficientemente alta para ser usada comercialmente.

Tabla 4. Promedios de altura de plantas y de producción de las progenies con resistencia a llaga macana.

Progenie	Altura a los 36 meses (m)		Kilogramos de café cereza/parcela ¹				
	Promedio	C.V.	Primer año		Segundo año		Promedio de los dos años
			kg	C.V.	kg	C.V.	kg
DF 801	1,4 b	5,2	24,2 def	9,0	21,0de	28,0	22,6
DF 838	1,5 b	9,9	30,8 bcdef	27,2	24,3abcde	42,8	27,6
DF 808	1,5 b	11,5	35,8 abc	19,6	32,0abc	16,8	33,9
DF 859	1,5 b	9,1	44,0 a	11,4	28,0abcd	13,0	36,0
DF 823	1,5 b	9,2	29,1 bcdef	7,2	34,7a	20,5	31,9
DF 835	1,4 b	9,0	33,6 bcd	23,2	28,3abcd	39,1	31,0
DF 841	1,4 b	7,9	30,1 bcdef	23,3	26,8abcde	21,1	28,5
DF 862	1,5 b	13,3	32,8 bcde	19,9	21,3cde	39,8	27,1
Brm	2,0 a	10,8	29,8	35,9	21,5cde	39,4	25,7
Caturra	1,4 b	10,1	27,6 bcdef	21,6	7,4 f	65,8	17,5

¹ Parcelas de 10 plantas. Letras no comunes implican diferencias estadísticas entre promedios, según prueba de Duncan al 5%.

Tabla 5. Características de grano de las progenies de porte bajo resistentes a llaga macana.

Progenie	Frutos vanos		Granos caracol		Granos triángulos		Tamaño de grano (café supremo)	
	%	C.V.	%	C.V.	%	C.V.	%	C.V.
DF 801	7 c	51,4	7 cde	27,6	3 bcd	41,7	46 bcd	29,9
DF 838	8 c	35,7	8 cde	18,0	5 a	34,7	49 bcd	28,0
DF 808	13 a	23,5	7 cde	40,5	3 cd	40,7	41 cd	16,3
DF 859	7 c	35,7	10 ab	38,2	3 bcd	32,2	39 cd	19,7
DF 823	8 cb	22,5	10 ab	23,3	3 bcd	30,1	50 cd	13,0
DF 835	8 c	35,7	6 de	30,1	4 b	58,2	44 cd	14,6
DF 841	10 b	13,4	8 abc	40,6	3 d	39,3	40 cd	11,9
DF 862	7 c	43,3	7 cde	25,2	3 bcd	45,3	41 bc	15,9
Brm	7 c	64,5	7 cde	43,2	3 bcd	49,7	48 cd	22,0
Caturra	5 d	64,7	8 bcd	9,19	4 bc	41,0	61 a	21,0

Letras no comunes implican diferencias estadísticas entre promedios, según Prueba de Duncan al 5%.

*Evaluación de tres pases de cosecha principal.

Segundo experimento. Ocho progenies presentaron supervivencia igual o mayor al 80% (Tabla 3). La variedad Brm tuvo 86%, un valor cercano al registrado por Castillo y Quiceno (8), en plantas adultas, después de dos años de inoculación; mientras que en Caturra sólo el 3% de las plantas sobrevivió. En ocho (DF 808, DF 823, DF 841, DF 835, DF 801, DF 838, DF 862, DF 859) de las 12 progenies seleccionadas en el experimento anterior, se corroboró la resistencia.

En esta etapa de crecimiento y desarrollo de las plantas, los tejidos de las progenies resistentes mostraron diferencias en el avance de la cicatrización. Mientras en unas plantas la herida estaba próxima a cerrar completamente, en otras era más amplia. Esto indica diferencia en la velocidad de formación de tejidos suberizados, característica de la resistencia de plantas perennes, como lo afirman Townsend y Douglass (27) y Vigouroux *et al.* (28).

El 90% de las progenies que mostraron alta resistencia en el almácigo, también mostraron dicha característica en los dos experimentos en plantas adultas, lo cual abre la posibilidad de evaluar la resistencia tempranamente y en un mayor número de progenies. Las progenies de alta resistencia tanto en el almácigo como en el campo fueron: DF 801, DF 808, DF 811, DF 835, DF 838, DF 841, DF 859, DF 862

Características agronómicas de las progenies seleccionadas

Las progenies evaluadas son homocigotas para el gen Caturra (Ct, Ct) y a los 36 meses su altura estuvo entre 1,4 y 1,5 m, estadísticamente igual a la de esta variedad ($p>0,05$) y menor que la variedad Borbón, que es de porte alto, y que superó los 2,0 m a la misma edad (Tabla 4).

La producción por parcela, tomada a partir de los 18 meses, durante 2 años, se presenta en la Tabla 4. En el primer año, la producción de las progenies varió desde 44 kg de café cereza por parcela (equivalente a 469 @/ha de café pergamino seco) en la DF 859 hasta 24,2 kg de café cereza por parcela (258 @/ha de café pergamino seco). La variedad Caturra con 27,6 kg/parcela de café cereza (284 @/ha de café pergamino seco), estuvo entre estos extremos. En el segundo año, fue notable la reducción de la producción debido a las plantas muertas por la enfermedad, con grandes diferencias.

La frecuencia de frutos vanos (Tabla 5), que son consecuencia de las fallas en el desarrollo del endospermo, fue menor del 8%, que es el límite aceptado comercialmente (25), con excepción de la progenie DF 808, con 13%.

La frecuencia de granos caracol, cuya formación se debe a la falta de desarrollo de una de las dos semillas y los granos triangulares, que se encuentran en frutos con tres o más semillas que toman forma de cascos de naranja, con dos caras planas y una convexa, se encontraron en proporciones similares a las variedades comerciales, <12% y <3%, respectivamente (25).

Como se observa en la Tabla 5, el tamaño de grano de las progenies y de Caturra, medido como proporción de café supremo (café retenido en una zaranda circular de 17/64") fue de medio a bajo. Su tamaño fue menor que los promedios registrados por Castillo (6) en la variedad Brm (58%) y en la variedades Caturra (69%) y Colombia (83%), según Moreno y Alvarado (25). Estos tamaños de grano similares en las progenies resistentes son un defecto ante el auge de las variedades de café de grano grande, cuyo porcentaje de café supremo es mayor del 70% (1).

En estos experimentos se observó claramente la reacción de resistencia, característica de patógenos vasculares del tipo *Ceratocystis*, en los cuales se involucran aspectos histológicos y bioquímicos, y en donde los tejidos afectados forman acumulaciones de tilosas, geles, lignina y suberina, que impiden el desarrollo del patógeno (27, 28), y la posible relación con la producción de ácidos flavonoides y compuestos fenólicos (29). Se pudo corroborar la resistencia de la línea de Borbón resistente a macana, lo que demuestra que éste es un genotipo valioso, que puede ser explotado para la generación de variedades comerciales de porte bajo, alta productividad y resistencia a la roya del café.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la Doctora Esther Cecilia Montoya de Biometría, del Doctor Celso Arboleda (q.e.p.d.), al Programa de Experimentación de Cenicafé, y a los auxiliares de la Disciplina de Fitopatología, Carlos Zuluaga Escobar y Carlos A. González

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. CASTILLO 2005: Nueva variedad de café con resistencia a la Roya. Chinchiná: Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
2. BAIER P.; FUHRER E.; KIRISITS T.; ROSNER S. Defense reactions of Norway spruce against bark beetles and the associated fungus *Ceratocystis polonica* in secondary pure and mixed species stands. Forest Ecology and Management <http://www.ingentaconnect.com/content/els/03781127>. 159 (1): 73-86. 2002.
3. CASTAÑO A., J.J. Patogenia y epifitología en el estudio de la llaga macana del café. Cenicafé 4(39):17-24. 1953.
4. CASTAÑO A., J.J. Observación de resistencia a *Ceratocystis fimbriata* en una planta de la Variedad Borbón en Cenicafé. In: Informe anual de actividades. Chinchiná: Cenicafé, 1959.
5. CASTILLO Z., J. Observaciones sobre tamaño de grano y granos anormales en variedades comerciales de café. Cenicafé 10(9):397-418. 1959.
6. CASTILLO Z., J. Algunas características morfológicas de una selección resistente a llaga macana. Cenicafé 16:31-41. 1965.
7. CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Comparación de líneas de *Coffea arabica* L. por su resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. Cenicafé 21(3):95-104. 1970.
8. CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Evaluación de la resistencia al *Ceratocystis fimbriata* en una selección de café de la variedad Borbón. In: VIII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. Bogotá: Resúmenes, 1970. p. 102.
9. CASTILLO Z., J. Cruzamiento de plantas de variedad Borbón resistente a llaga macana (BRM) con Caturra. In: Informe anual de actividades. Chinchiná: Cenicafé, 1970.
10. CASTILLO Z., J. Producción de una selección resistente a llaga macana (*Ceratocystis fimbriata* Ell Halst. Hunt.) con relación a las variedades Típica y Borbón. Cenicafé 33(2):53-66. 1982.
11. CASTILLO Z., J.; CASTRO C., B.L. Resistencia a *Ceratocystis fimbriata* en progenies F3 de Borbón resistente x Caturra. Chinchiná: Cenicafé, 1999. 15 p.
12. CASTRO C., B.L. Aspectos metodológicos para preparar inóculo de *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. Fitopatología Colombiana 17(1-2):56-61. 1994.
13. CASTRO C., B.L.; MONTOYA R., E.C. Evaluación de fungicidas para el control de *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. en café. Cenicafé 45(4):131-153. 1994.
14. CASTRO C., B.L.; MONTOYA R., E.C. El zoqueo de los cafetales y su relación con la infección por llaga macana. Chinchiná: Cenicafé, 1997. 8 p. (Avances Técnicos No. 240).
15. CASTRO C., B.L.; CHAVES, C.B. Evaluación del daño económico ocasionado por la Macana del café *Ceratocystis fimbriata* (Ellis, Halst) Hunt. In: XX CONGRESO Nacional de Fitopatología y Ciencias Afines. Manizales: ASCOLFI, 1999. p. 65.

16. CASTRO C., B.L. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis fimbriata* en plantas en 11 introducciones de *Coffea canephora*. In: Informe anual de actividades. Chinchiná: Cenicafé, 2000.
17. CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Patogenicidad de aislamientos de *Ceratocystis fimbriata* en tres variedades de café. In: Memorias del IV Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Palmira: ASCOLFI, 2000.
18. CASTRO C., B.L.; DUQUE O., H.; MONTOYA R., E.C. Pérdidas económicas ocasionadas por la Llagamacana del café. *Cenicafé* 54(1):63-76. 2003
19. CLERIVET A.; HADRAMI I. EL; BELANGER R.; NICOLE, M. Resistance of the plane tree (*Platanus* spp.-*Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani*) to canker stain: Defence reactions and prospects for improvement. *Cahiers de Agriculture*. 12(1):43-50. 2003.
20. ENRÍQUEZ, E.M.G. Persistencia de fungicidas en el control de la Llagamacana del café (*Ceratocystis fimbriata*). Manizales: Universidad de Nariño. Facultad de Agronomía, 2002. 83 p. (Tesis: Ingeniero agronomo).
21. FERNÁNDEZ B., O Patogenicidad de *Ceratocystis fimbriata* y posible resistencia en café variedad Borbón. *Cenicafé* 15(1):3-17. 1964.
22. IZQUIERDO B., J.E. Comportamiento de genotipos de cafetos ante *Ceratocystis fimbriata*. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Café y Cacao* 10(1):53-59. 1988.
23. KROKENE, P.; SOLHEIM, H.; CHRISTIANSEN, E. Induction of disease resistance in Norway spruce (*Picea abies*) by necrotizing fungi. *Plant Pathology* 50(2):230-233. 2001.
24. MORENO L., G.; CASTILLO Z., J. Reducción del tamaño de la muestra en la medida del grano de café. *Cenicafé* 29(2):46-55. 1978.
25. MORENO L., G.; ALVARADO A., G. La Variedad Colombia, veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la Ruya del café. Chinchiná: Cenicafé, 2000. 32 p. (Boletín Técnico No. 22)
26. RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.A.; GIL V., L.F. Recomendaciones para el manejo de la ruya en Colombia. Chinchiná: Federación Nacional de Cafeteros: Cenicafé, 1999. 37 p.
27. TOWNSEND A., M.; DOUGLASS L., W. Variation among American elm clones in long-term dieback, growth, and survival following *Ophiostoma* inoculation. *Journal of Environmental Horticulture*. 19(2):100-103. 2001.
28. VIGOUROUX, A.; CHALVON, V.; BOUDON, J.P.; LEMAIRE J., M.; OLIVIER, R.; DAURADE M., H.; LEMATTRE, M. Canker stain of the plane tree: Last advances in genetic improvement for resistance. *Acta Horticulturae* 496:99-101. 1999.
29. ZULUAGA V., J.; VALENCIA A., J.; GONZALES. Contribución al estudio de la naturaleza de la resistencia del café a *C. fimbriata* (Ell. Halst.) Hunt. *Cenicafé* 22(2):43-68. 1971.