

EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE *Coffea arabica* x *Coffea canephora* CON RESISTENCIA A *Hemileia vastatrix* Y *Ceratocystis colombiana*

Hernando Alfonso Cortina Guerrero*; Bertha Lucía Castro Caicedo*

CORTINA G., H.A.; CASTRO C., B.L. Evaluación de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* x *Coffea canephora* con resistencia a *Hemileia vastatrix* y *Ceratocystis colombiana*. *Revista Cenicafé* 66 (2): 17-29. 2015

La presente investigación se realizó con el objetivo de desarrollar genotipos de café que combinen la resistencia a dos enfermedades importantes de este cultivo en Colombia: la roya anaranjada causada por el hongo *Hemileia vastatrix* y la llaga macana o cáncer del tronco ocasionado por el complejo *Ceratocystis* spp. Se sembraron 16 progenies F₂ y F₃ de la hibridación entre *Coffea arabica* var. Caturra con accesiones de *C. canephora*, retrocruzadas con Caturra. Como testigo susceptible a roya se incluyó la variedad Caturra y como testigo resistente la var. Colombia; ambos testigos son susceptibles a *Ceratocystis* spp. Se estableció un experimento en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas) de Cenicafé, bajo un diseño en látice (5 x 5) con dos repeticiones, siendo la unidad experimental el surco de diez plantas. Se evaluó la infección por roya durante 5 años consecutivos, utilizando la escala de Eskes y Braghini, que va de 0 a 9. Para evaluar llaga macana, se inoculó el tallo de las plantas con un aislamiento del hongo *Ceratocystis colombiana* (CMW34925). Un año después de la inoculación se midió el grado de anillamiento o avance del patógeno en el tallo y la formación de tejidos de resistencia. También se midieron características agronómicas y la calidad de grano de las progenies. Ocho progenies fueron resistentes a los dos patógenos, pero sólo dos tenían buenas características agronómicas y de calidad de grano, considerándose promisorias para su uso comercial.

Palabras clave: Mejoramiento genético, café, especies, *Ceratocystis fimbriata* s.l., enfermedades.

EVALUATION OF INTERSPECIFIC HYBRIDS OF *Coffea arabica* x *Coffea canephora* RESISTANT TO *Hemileia vastatrix* AND *Ceratocystis colombiana*

This research was conducted to develop coffee genotypes that combine resistance to two important diseases of this crop in Colombia: leaf rust caused by the fungus *Hemileia vastatrix* and stem canker caused by the complex *Ceratocystis* spp. Sixteen F₂ and F₃ progenies derived from the hybridization between *Coffea arabica* var. Caturra with accessions of *C. canephora* backcrossed with Caturra were planted. Caturra variety was included as control susceptible to rust and Colombia variety as resistant control; both controls are susceptible to *Ceratocystis* spp. An experiment under a lattice design (5 x 5) with two repetitions was established at the Experimental Station Naranjal (Chinchiná, Caldas) Cenicafé, the experimental unit was ten plants. Rust infection was assessed for 5 consecutive years, using the Eskes and Braghini scale that ranges from 0-9. In order to evaluate stem canker, the stem of the plant was inoculated with an isolate of the fungus *Colombian Ceratocystis* (CMW34925). One year after the inoculation, the degree of banding or advance of the pathogen in the stem and formation of resistance tissue was measured. Agronomic characteristics and grain quality of the progeny were also measured. Eight progenies were resistant to the two pathogens, but only two showed good agronomic characteristics and grain quality, which made them promising for commercial use.

Keywords: Genetic improvement, coffee, species, *Ceratocystis fimbriata* sl, diseases.

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

La roya, ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, es la enfermedad del café más importante, debido a la reducción en la productividad, especialmente en las variedades de la especie *Coffea arabica* L. Aunado a ello, están los altos costos en el manejo de la enfermedad, los cuales incluyen principalmente el uso de fungicidas de síntesis química (40, 46). Entre las estrategias seguidas por los investigadores en la búsqueda de resistencia genética a esta enfermedad está el uso del Híbrido de Timor (HDT), resultante de la hibridación natural entre *C. arabica* y *C. canephora* Pierre: Froehner. Por más de 50 años este híbrido ha sido la principal fuente para el desarrollo de variedades resistentes al patógeno en varios países cafeteros (41). A partir del HDT/1343, en Colombia se han desarrollado las variedades Colombia (10), Tabi (34) y la Variedad Castillo® (4). Actualmente, estas variedades están establecidas en cerca del 60% del área cafetera Colombiana, mientras el área restante está plantada con las variedades susceptibles Típica y Caturra (24).

A pesar del éxito de las variedades resistentes a la roya obtenidas a partir del HDT, en años recientes se ha observado la pérdida paulatina de la resistencia en algunos países cafeteros (1, 46, 48). Dicha pérdida de resistencia es atribuida por algunos autores (46, 48) a la variabilidad del patógeno y al tiempo de permanencia del cultivo. Surge entonces la alternativa de recurrir directamente a cruces con la especie *C. canephora* o a otras especies diploides como *Coffea liberica* Hiern. Muchas accesiones de estas especies han mostrado resistencia a la roya, siendo promisorias en cuanto a la diversidad genética, de gran utilidad para incrementar la duración de resistencia a este patógeno (19, 32).

La estrategia de incorporar genes de resistencia a la roya al tetraploide *C. arabica*,

ha sido sugerida por varios investigadores (26, 28, 32, 39, 46). Con base en los trabajos pioneros de Orozco (36), la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé ha desarrollado genotipos promisorios a partir de *C. canephora*. La mayoría de dichos trabajos han estado encaminados al mejoramiento de características agronómicas, pero también en la resistencia a la roya u otros problemas fitosanitarios que aquejan al cultivo de café en Colombia (2, 3, 38).

Además de la roya del café, en Colombia existen otras enfermedades causadas por patógenos, que ocasionan reducción preocupante en la productividad de las plantas. Tal es el caso de la llaga macana o cáncer del tronco, ocasionada por especies del hongo *Ceratocystis*: *Ceratocystis colombiana* Van Wyk & Wingf. y *C. papillata* Van Wyk & Wingf. (47). Todas las variedades de café cultivadas en Colombia son susceptibles a estos patógenos, los cuales penetran en el sistema vascular de las plantas por medio de heridas frescas en el tallo o raíz. Las lesiones se desarrollan en plantas de cualquier edad, anillan el tallo disminuyendo la población de plantas productivas y generando pérdidas importantes (12).

Entre las medidas de manejo preventivo de llaga macana, el control químico aplicado especialmente durante la renovación por zoca ha sido la principal recomendación (11, 15). Sin embargo, la resistencia genética es la estrategia más deseable. Fernández (25) menciona por primera vez la resistencia en una línea de *C. arabica* var. Borbón. Con base en esta fuente, Castro y Cortina (13) desarrollaron genotipos comerciales resistentes a llaga macana, pero susceptibles a la roya. Dicha resistencia se caracteriza por el desarrollo inicial de lesiones en el tallo y la formación posterior de tejidos

lignificados o de cicatrización alrededor de la lesión, lo cual impide el anillamiento y la muerte de la planta (13, 25). De otra parte, la inmunidad a llaga macana es mencionada por algunos autores en las especies *C. canephora* y *C. liberica* (18, 27). Cortina y Castro (14), corroboraron dicha resistencia en varias accesiones de estas dos especies diploides ante la inoculación de *C. colombiana* y *C. papillata*. En Cenicafé (16) se han desarrollado genotipos con resistencia simultánea tanto a roya como a llaga macana a partir del cruzamiento *C. arabica* var. Caturra \times *C. canephora*.

Con base en la resistencia genética, tanto a roya como a llaga macana, observada en accesiones de las especies diploides de café, el objetivo del estudio fue evaluar la resistencia a estos dos patógenos en una población de progenies (F_2RC_1 y F_3RC_1) derivadas de la hibridación entre *C. canephora* y *C. arabica* cv. Caturra. Adicionalmente se incluyeron evaluaciones de las características agronómicas y de calidad del grano con el fin de obtener genotipos aceptables comercialmente por los caficultores de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Genotipos evaluados

A partir del cruzamiento entre *C. arabica* cv. Caturra (Ca) con accesiones de *C. canephora* (Can), retrocruzadas (RC) con Caturra, en el presente estudio se incluyeron cuatro progenies F_2 (F_2RC_1), y 12 progenies F_3 (F_3RC_1), (Tabla 1). Los progenitores Ca y Can se seleccionaron de la Colección Colombiana de Café, en Cenicafé (Manizales, Colombia). Los dos grupos de progenies habían sido seleccionadas por su resistencia a roya en anteriores generaciones (datos no publicados). Como testigos se incluyeron la variedad Caturra (susceptible a roya y

a llaga macana) y la variedad Colombia (resistente a roya, pero susceptible a llaga macana). Con estos materiales, durante el año 1998, se estableció un experimento en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná, Caldas (N 04°58'; O 75°39'), a 1.381 m, con un promedio de precipitación anual de 2.556 mm, 1.816 horas de brillo solar al año y promedios de humedad relativa de 78% y temperatura de 20,8°C (16). Las plantas de cada progenies de sembraron en un diseño en látice cuadrado (5x5), con dos repeticiones por progenie. La unidad experimental fue el surco de diez plantas, sembradas a distancia de 1,0 x 1,0 m entre plantas y 2,5 m entre surcos.

Evaluación de resistencia a roya

La incidencia de *H. vastatrix* se evaluó durante los años de 2000 a 2005, durante los picos de epidemia definida para la región, según el trabajo de Sierra *et al.* (45). Se utilizó la escala de evaluación de Eskes y Braghini (20). Esta escala visual considera toda la planta como unidad de observación, con calificación de 0 a 9, donde "0" es ausencia de lesiones esporuladas, "1" presencia de una hoja con lesiones esporuladas, "2 a 8" incremento gradual del número de hojas y ramas con lesiones esporuladas de roya, y "9" un valor de máxima incidencia. En cada evaluación se determinó el número de plantas con roya y, al final, se agruparon en tres categorías: plantas que nunca se infectaron (grado 0), plantas con bajo nivel de roya (grados 1 a 4), y plantas con alto nivel de roya (grados 5 a 9). Al final de todas las evaluaciones se consideraron los máximos valores de roya observados y la frecuencia de plantas con dichos valores, de acuerdo con el método de Alvarado y Cortina (2). Con los datos obtenidos se estableció una distribución de frecuencia para cada genotipo en cada

Tabla 1. Genealogía y códigos de las progenies incluidas en el estudio, derivadas del cruzamiento entre *Coffea arabica* var. Caturra (Ca) y accesiones de *C. canephora* (Can), retrocruzadas (RC) con Caturra (Ca).

Híbrido	Cruzamiento	Progenie/generación	
		F ₂ RC ₁	F ₃ RC ₁
4158	[Ca x Can L.147-EA.263] x Ca*	MEG 634-590	
4224	Ca x (Ca x Can BP.4-EA.224)-EE.073	MEG 623-04	
4228	Ca x (Ca x Can 1-EA.21)-EE.132	MEG 623-40	
4340	[(Ca x Can) - ED.1 a 160] x Ca*	MEG 615-17	
4241	Ca x (Ca x Can BP.358- EA.239)-ED.93	EY.012	MEG 639-727
4283	Ca x (Hybrid 4158 - EI.69)	EZ.183	MEG 636-877
4284	Ca x (Hybrid 4158 - EI.69)	EZ.189	MEG 636-816
4284	Ca x (Hybrid 4158 - EI.69)	EZ.189	MEG 636-815
4285	Ca x (Hybrid 4158 - EI.69)	EZ.251	MEG 636-946
4285	Ca x (Hybrid 4158 - EI.69)	EZ.251	MEG 636-834
4341	[(Ca x Can) - EE.1 - 200] x Ca*	FB.379	MEG 639-566
4341	[(Ca x Can) - EE.1 - 200] x Ca*	FB.379	MEG 639-884
4341	[(Ca x Can) - EE.1 - 200] x Ca*	FB.379	MEG 639-565
4341	[(Ca x Can) - EE.1 - 200] x Ca*	FB.379	MEG 639-561
4341	[(Cat x Can) - EE.1 - 200] x Ca*	FB.379	MEG 639-562
4343	[(Cat x Can) - EI.1 - 167] x Ca*	FB.1180	MEG 639-836

(*) Polinización libre.

evaluación, los resultados se expresaron en proporción (%) de plantas en cada grado. Finalmente, los datos se agruparon en las categorías de: “0”, “1 a 4” y más de “4”. Progenies con más del 70% de plantas que consistentemente estuvieron en grados 0 a 4 fueron seleccionadas como resistentes a roya.

Evaluación de resistencia a llaga macana

La evaluación de resistencia a llaga macana se realizó cuando las plantas tenían 7 años de edad. Para ello, se utilizó el aislamiento CMW34925, identificado dentro del grupo *C. colombiana*, de acuerdo con Van Wyk *et al.* (47). Para la preparación de inóculo se siguió el método descrito por Marín *et al.* (30). Se utilizaron gotas de 70 µL conteniendo 3,0 x 10⁴ ascosporas/mL, las cuales se depositaron en una herida en forma de U invertida, de 2,0 cm de diámetro, realizada en el tallo de las plantas, a la altura aproximada de

1,40 m del nivel del suelo. El inóculo se depositó debajo de la corteza, cubriendo la herida con algodón humedecido y se selló con cinta Parafilm®. Esta cámara húmeda se retiró 15 días después, comprobando visualmente la colonización del patógeno en el sitio de inoculación (25). Un año después de la inoculación se evaluó la enfermedad, midiendo en cada planta el área de la lesión característica del patógeno en el sitio de inoculación. Con el uso de un metro flexible, en cada tallo se tomaron tres medidas (en cm): circunferencia del tallo (CT), ancho de la lesión necrótica (ALN) y longitud de la lesión (LL). Así, se estimó la proporción (%) de tallo anillado (PTA) mediante la relación ALN/CT x 100. Se estimaron los promedios de PTA y LL y se sometieron a un ANAVA. En el caso de encontrar diferencias estadísticas se incluyó una Prueba de Tukey (p=0,05). El criterio utilizado para seleccionar progenies resistentes

a lliga macana fue aquel en el cual más del 80% de las plantas tuvieran una PTA menor o igual al 50% del tallo, complementado con las menores LL, en comparación con los valores de los testigos, según el criterio de Castro y Cortina (13).

Evaluación de características agronómicas y de calidad de grano

La evaluación de la altura de plantas, el diámetro de la copa y el número de pares de ramas se realizó en todas las plantas a la edad de 24 meses. Los registros de producción (kg/planta de café cereza) se calificaron desde 2001 a 2005. Los defectos de grano, tales como: vaneamiento (en café cereza), granos caracol y granos triángulo (en café pergamino seco- cps) se evaluaron durante dos picos de cosecha en los años 2001 y 2002, siguiendo los métodos de Castillo y Moreno (10). Igualmente, el tamaño de grano tipo “supremo”, definido como el porcentaje de granos de café pergamino seco retenidos en una malla de (17/64”), se evaluó durante las cosechas de 2001 y 2002, siguiendo el método de Castillo y Moreno (10). Todas las variables se sometieron a una ANAVA. Los datos de producción acumulada (kg/planta de café cereza) se transformaron a kilogramos de café pergamino seco por planta y por año, siguiendo el método de Montilla *et al.* (33). Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de Dunnett, comparando los datos de todas las progenies con los datos de la variedad Caturra. Los análisis estadísticos se realizaron con el uso del programa SAS (Statistical Software) (42). De acuerdo con el criterio de Castillo y Moreno (10), las progenies seleccionadas como promisorias fueron aquellas cuyos promedios de características agronómicas fueron iguales o mejores que los de la variedad Caturra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de resistencia a roya

Durante los años 2000 y 2001 se observó una baja incidencia de roya con incremento en el 2002, evidente en la variedad Caturra, con 30% de incidencia en grados <4 (según escala). Durante el año 2002, 12 de las progenies evaluadas, incluyendo la variedad Colombia, mostraron 100% de plantas con incidencia en grados de 0 a 4 (datos no presentados). En el 2003, los niveles de roya fueron superiores a los del 2002, con 75% de incidencia en el testigo Caturra, en grados >4. La mayor incidencia de roya se presentó en el 2004, con 95% en Caturra, en grados de 5 a 7, contrastando con las progenies en estudio y en la variedad Colombia, que tuvieron el 100% de plantas en grados < 4. La epidemia de roya decreció en el 2005, con 75% de incidencia en Caturra, en grados >4. Así, durante los 5 años de evaluación de roya se observaron diferencias claras entre las progenies en estudio y las variedades testigo Caturra y var. Colombia (Figura 1).

Mientras en Caturra la máxima incidencia de roya alcanzó el 95% de plantas, en grados 5 a 9, 12 progenies se mantuvieron con más del 70% de plantas en grados de 0 a 4, siendo por lo tanto consideradas resistentes. Entre estas últimas sobresalen las progenies ($F_3 RC_1$): MEG 639-562, MEG 639-836, MEG 639-884, MEG 639-565 y en ($F_2 RC_1$): MEG 623-40, como las más resistentes a roya, con 100% de plantas en grados <4. La variedad Colombia alcanzó una máxima incidencia del 85% de plantas en grados 0 a 4.

Las progenies seleccionadas con resistencia a roya mostraron niveles más altos de resistencia que las mencionadas por Prakash *et al.* (39)

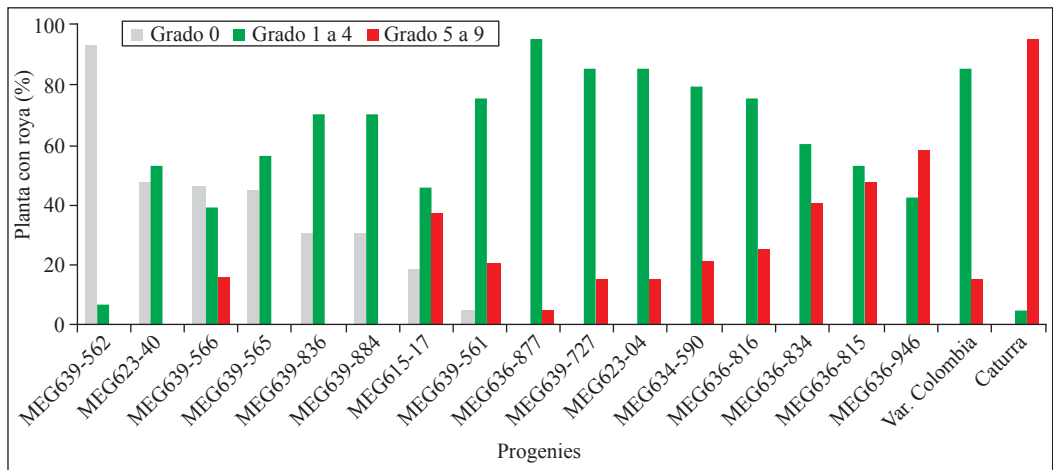


Figura 1. Distribución de frecuencia de incidencia de roya (%) en cada progenie, en 12 evaluaciones realizadas durante los años 2000 a 2005. Grados de incidencia de acuerdo a la escala de Eskes y Braghini (0 a 9). Barras en color gris claro corresponden a progenies no infectadas por roya (grado 0); barras en color verde, corresponden a progenies resistentes (grados 1 a 4). Barras en color rojo indican plantas susceptibles (grado >4).

en India, en híbridos de origen similar. De otra parte, los resultados del presente estudio sugieren que las accesiones de *C. canephora* utilizadas podrían tener diferentes combinaciones de genes de resistencia a roya (SH₅ a SH₉), comparadas con las derivadas del HDT/1343 (6), utilizadas en el desarrollo de las variedades Colombia, Tabi y la Variedad Castillo. Esta suposición ha sido confirmada por los estudios moleculares realizados por Lashermes *et al.* (28), quienes sugieren una alta diversidad genética en *C. canephora*. Además, consideran la posibilidad de que se reduzca todavía más la diversidad genética en las variedades derivadas del HDT, debido al uso de plantas provenientes de un solo híbrido interespecífico, el HDT/1343. También, confirman en su estudio de diversidad genética que otros híbridos interespecíficos de cruzamientos naturales entre *C. arabica* y *C. canephora* encontrados en Nueva Caledonia, los cuales debido a numerosos cruzamientos naturales, ofrecen la posibilidad de ser portadores de mayor diversidad de genes de resistencia a roya (29).

Los genotipos identificados con resistencia a roya en nuestro estudio se consideran de gran valor ya que, debido a la presencia de nuevas razas de roya, existe un alto riesgo de pérdida de resistencia en las variedades comerciales derivadas del HDT, como también en las derivadas del Icatú, considerados hasta el momento como las fuentes de resistencia más importantes (8, 21, 22, 23). Existen numerosas referencias sobre la pérdida de resistencia, como es el caso de la variedad Cauvery (Catimor) (48), ‘Palma I’ (Catimor x Catuai), ‘Palma II’ (Catimor x Catuai) y ‘Sabia 398’ (Catimor x Acaí), mencionadas por Matiello *et al.* (31). Otras como ‘IPR 107’ (‘Sarchimor’ x ‘Mundo Novo IAC 376-4’) también han mostrado susceptibilidad a roya (43, 44).

Otros autores han registrado diferentes niveles de resistencia parcial como la detectada en genotipos derivados de Sarchimor y Catuai en Brasil (43). Por otra parte, en siembras comerciales de la variedad Costa Rica 95 (Caturra x Híbrido de Timor 832/1),

durante los años 2012 a 2013, en la zona cafetera Colombiana mostraron altos niveles de roya (Cenicafé- datos no publicados). Por consiguiente, los resultados de este estudio son de gran utilidad puesto que proveen de información para disponer de nuevas fuentes de resistencia a roya, con las cuales se incrementaría el grupo de genes de resistencia presentes en las variedades de café comercialmente utilizadas en nuestro país, ampliando así la combinación de genes dentro de la población de los arbustos de café plantados. A futuro, esto ayudará a prevenir el ataque de nuevas razas del patógeno en las variedades cultivadas en Colombia.

Evaluación de resistencia a llaga macana

Las progenies en estudio mostraron variabilidad en cuanto a la resistencia/susceptibilidad a llaga macana. Estas diferencias fueron evidentes en las variables PTA y LL (Figuras 2 y 3), confirmadas por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Nueve progenies tuvieron valores de PTA significativamente menores que en

los testigos. Las progenies más susceptibles a la infección de *C. colombiana* fueron: MEG 636-815 y MEG 636-946. Mientras que los progenies resistentes fueron: MEG 639-565, MEG 634-590, MEG 623-40, MEG 639-562, MEG 639-566, MEG 615-17, MEG 639-884, MEG 639-561 y MEG 623-04. En esta última progenie, la lesión avanzó cubriendo menos de la mitad de la circunferencia perimetral del tallo, con la formación de tejidos lignificados o callo que cubrieron esta lesión. Las progenies MEG 639-565 y MEG 634-590 fueron las más resistentes, con las lesiones más pequeñas. Estas progenies sugieren tener una posible inmunidad, heredada del *C. canephora* como es mencionado por algunos autores (18, 27).

En las progenies susceptibles al igual que en los testigos no hubo formación de tejidos de resistencia y, por lo tanto, la lesión avanzó longitudinal y transversalmente anillando más del 50% de la circunferencia del tallo. A pesar que durante la evaluación final no se observó muerte de plantas, aquellas con

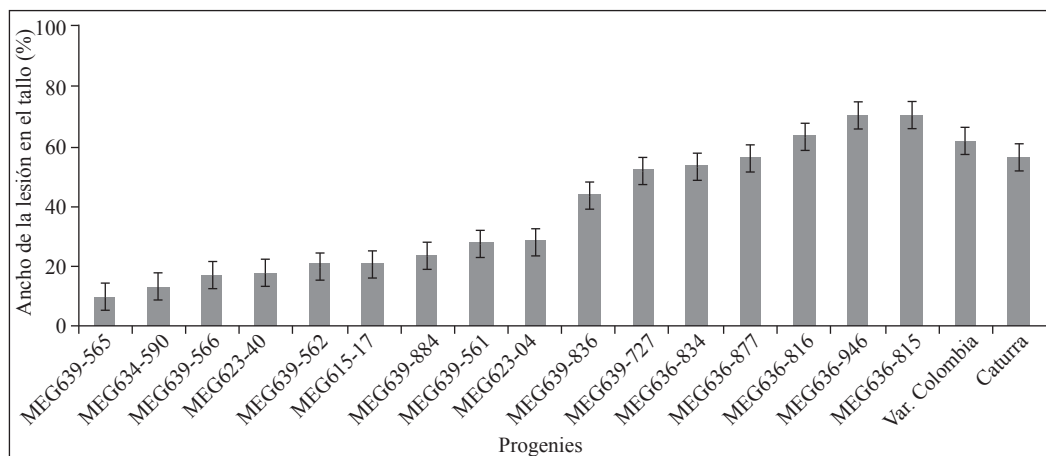


Figura 2. Respuesta de resistencia/susceptibilidad en las progenies evaluadas. Proporción del tallo afectado (PTA) por la lesión. Un año después de la inoculación con *Ceratocystis colombiana*, aislamiento CMW34925. Las barras, representa el error estándar ($F = 0,05$).

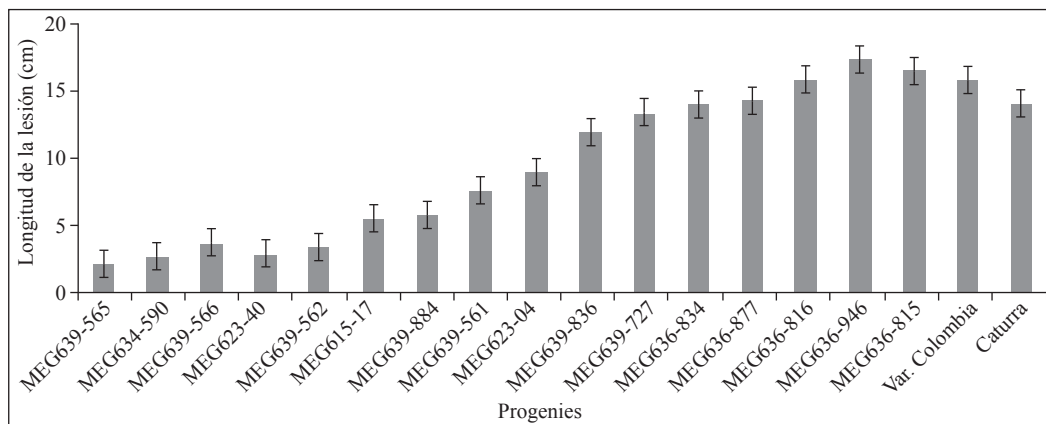


Figura 3. Respuesta de resistencia/susceptibilidad en las progenies evaluadas. Longitud de la lesión (LL), en cm. Un año después de la inoculación con *Ceratocystis colombiana*, aislamiento CMW34925. Las barras, representan el error estándar (F=0,05).

avance de la lesión en más del 50% de la circunferencia del tallo, serían anilladas completamente en un mayor período de tiempo, como lo observaron Castro y Cortina (13).

Evaluación de características agronómicas y de calidad del grano

En la Tabla 2 se presentan las características agronómicas de los genotipos estudiados. Se observaron diferencias estadísticas en la altura de las plantas, a los 2 años de edad. Las progenies MEG 634-590 y MEG 639-836 mostraron plantas de mayor altura que Caturra, mientras las progenies MEG 639-562 y MEG 639-565 tuvieron plantas de menor porte que los testigos. En cuanto al diámetro de copa, también se observaron diferencias significativas, siendo las progenies MEG 634-590, MEG 639-836 y MEG 639-884 de mayor diámetro que Caturra, y solo la progenie MEG 639-562 fue la de menor diámetro. También se notaron diferencias en cuanto al número de ramas, siendo las progenies MEG 639-561, MEG 639-562, MEG 639-565 y MEG 639-566 las de menor número de ramas/planta que los testigos.

En cuanto a las características de grano (Tabla 3), se observaron diferencias en el porcentaje de frutos vanos. Según la prueba de Dunnett ($p = 0,05$) cinco progenies tuvieron mayor proporción de frutos vanos que los testigos Caturra (4,5%) y Colombia (7,2%). Las demás progenies tuvieron menos del 10% de café cereza con dicho defecto, lo cual es aceptable comercialmente, según Alvarado y Cortina (2). Diferencias similares se observaron en los granos caracol; siete progenies mostraron mayor proporción de este defecto (promedio de 19%) en comparación con el valor en las variedades comerciales (12%) y que los testigos, con un promedio del 11%. También se notaron diferencias en los granos triángulo; a pesar de que dichos valores fueron aceptables (4%), se observaron diferencias con la variedad Caturra.

Es importante mencionar que los defectos de granos son de común ocurrencia en híbridos interespecíficos, así como en genotipos autoploiploides. Para algunos autores (7, 26), los defectos están relacionados con la esterilidad e irregularidades cromosómicas; sin

Tabla 2. Promedios de las características agronómicas de cada progenie, a los 24 meses de edad.

Progenie nr.	Altura de la planta (cm) (Prom. ± DE)	Diámetro de la copa (cm) (Prom. ± DE)	No. de pares de ramas (Prom. ± DE)
MEG 615-17	115,5 ± 14,9	105,0 ± 32,5	20,6 ± 5,1
MEG 623-04	118,3 ± 10,4	129,2 ± 18,4	24,2 ± 2,9
MEG 623-40	113,7 ± 10,2	110,2 ± 26,6	22,9 ± 3,1
MEG 634-590	137,7 ± 12,8*	150,5 ± 19,0*	21,7 ± 3,3
MEG 636-815	120,8 ± 11,0	126,5 ± 17,4	23,5 ± 2,3
MEG 636-816	127,8 ± 13,6	129,0 ± 19,0	26,5 ± 3,2
MEG 636-834	128,8 ± 12,4	135,5 ± 16,2	24,9 ± 2,7
MEG 636-877	120,8 ± 13,5	119,7 ± 19,0	23,7 ± 2,4
MEG 636-946	120,3 ± 35,0	120,0 ± 34,6	21,4 ± 4,3
MEG 639-561	120,5 ± 17,0	120,2 ± 24,9	19,0 ± 3,1*
MEG 639-562	84,7 ± 18,3 *	76,7 ± 28,7*	15,3 ± 7,5*
MEG 639-565	99,7 ± 22,1*	107,5 ± 22,5	18,4 ± 5,4*
MEG 639-566	106,5 ± 29,0	115,0 ± 21,7	19,0 ± 5,6*
MEG 639-727	125,0 ± 16,5	130,0 ± 34,3	22,0 ± 2,9
MEG 639-836	133,5 ± 10,8*	144,5 ± 17,6*	24,8 ± 2,5
MEG 639-884	120,0 ± 27,1	115,7 ± 20,8*	20,6 ± 5,0
Var. Caturra	116,3 ± 18,9	114,7 ± 27,8	23,2 ± 4,2
Var. Colombia	118,8 ± 14,5	127,2 ± 18,5	23,4 ± 3,0

*Diferencias estadísticas significativas; D.E.: Desviación estándar.

embargo, estas características son importantes, puesto que son determinantes en el proceso de tostión del café y ha sido un serio obstáculo de estos híbridos interespecíficos para su aceptación comercial (9). Infortunadamente, en este estudio, algunas progenies que mostraron resistencia tanto a roya como a llaga macana fueron excluidas por estos aspectos.

En cuanto al tamaño de grano (% supremo) las progenies estudiadas tuvieron un promedio de 50% mayor que los testigos (46%) (Tabla 3). En esta variable se observaron diferencias significativas entre las progenies. Cinco de ellas (MEG 636-834, MEG 636-946, MEG 639-561, MEG 639-566 y MEG 639-884) tuvieron granos de mayor tamaño (tipo supremo) que Caturra, mientras la progenie MEG 639-727 fue la de menor tamaño de grano. Este atributo de tamaño de grano se ha vuelto de importancia para

los caficultores de Colombia, ya que está relacionado con el procesamiento industrial del grano, siendo el tamaño grande de mayor aceptación en el mercado (4). Los resultados muestran predominancia de granos de menor tamaño que lo deseable. Esto concuerda con lo observado por Alvarado y Cortina (2) en progenies avanzadas (F_4RC_1) de este tipo de híbridos; sin embargo, también se observó menor tamaño de grano en los testigos Caturra y Colombia (43,8% y 45,4%, respectivamente), comparativamente con los valores de estas mismas variedades registrados en los trabajos de Castillo y Moreno (10). En este caso se registró un 63% en Caturra y 83% en var. Colombia. Entre las cinco progenies con mayor tamaño de grano (tipo supremo) que los testigos, solo dos de ellas (MEG 639-561, y MEG 639-884) tuvieron aceptable resistencia a roya y a llaga macana.

Tabla 3. Promedios de las características de grano y producción (kg.año⁻¹ de cps por planta).

Progenie nr.	Defectos de grano (%)			Tamaño de grano tipo supremo ^d (%) (Prom. ± DE)	Promedio de cosecha (kg) (Prom. ± DE)
	Frutos vanos ^a (Prom. ± DS)	Caracol ^b (Prom. ± DE)	Triángulo ^c (Prom. ± DE)		
MEG 615-17	13,6 ± 4,5*	26,4 ± 7,5*	3,6 ± 2,2	46,7 ± 12,3	2,4 ± 1,9
MEG 623-04	17,1 ± 7,6*	23,7 ± 5,1*	0,6 ± 0,4*	23,7 ± 9,3	2,1 ± 0,9
MEG 623-40	26,4 ± 9,8*	45,1 ± 11,0*	0,3 ± 0,3*	44,5 ± 15,3	2,1 ± 0,6
MEG 634-590	19,0 ± 5,9*	36,5 ± 11,6*	0,3 ± 0,4*	35,9 ± 16,4	3,3 ± 1,3
MEG 636-815	5,4 ± 1,5	12,1 ± 2,7	2,8 ± 1,5*	52,3 ± 9,7	3,2 ± 0,6
MEG 636-816	6,4 ± 1,6	13,4 ± 1,2	1,7 ± 0,6*	47,7 ± 5,5	3,8 ± 0,9*
MEG 636-834	22,4 ± 13,5*	10,9 ± 2,6	0,8 ± 0,5*	68,0 ± 4,6*	2,6 ± 0,7
MEG 636-877	8,0 ± 6,1	12,6 ± 3,4	1,8 ± 0,8*	48,8 ± 10,3	2,8 ± 0,7
MEG 636-946	7,3 ± 3,6	12,1 ± 4,4	1,4 ± 0,6*	58,5 ± 11,2*	2,7 ± 0,8
MEG 639-561	5,8 ± 1,9	12,3 ± 2,7	1,8 ± 1,1*	65,3 ± 4,3*	2,7 ± 0,7
MEG 639-562	3,5 ± 1,6	12,9 ± 4,5	7,5 ± 3,1*	41,6 ± 7,8	2,4 ± 0,7
MEG 639-565	7,9 ± 5,7	19,0 ± 5,9*	2,6 ± 1,4*	49,2 ± 8,2	2,8 ± 0,9
MEG 639-566	6,5 ± 2,5	16,1 ± 2,7*	6,1 ± 3,7*	66,3 ± 6,6*	2,4 ± 1,1
MEG 639-727	6,1 ± 2,5	7,9 ± 2,1	1,7 ± 0,5*	27,0 ± 12,2*	2,3 ± 0,7
MEG 639-836	7,6 ± 4,3	16,1 ± 4,9*	3,1 ± 1,4	51,8 ± 16,6	3,0 ± 0,8
MEG 639-884	6,7 ± 2,5	10,7 ± 3,1	3,0 ± 1,4*	67,2 ± 7,6*	2,5 ± 0,9
Var. Caturra	4,5 ± 1,9	10,3 ± 5,0	4,5 ± 1,7	43,8 ± 6,9	2,9 ± 0,8
Var. Colombia	7,2 ± 2,5	11,0 ± 2,8	0,6 ± 0,5*	45,4 ± 12,3	3,0 ± 0,9

^a Frutos vanos: Porcentaje promedio de 100 frutos maduros que flotan en agua. Tres muestras tomadas en dos picos de cosecha

^b Granos caracol: Porcentaje promedio de tres muestras de 400 granos de café pergamino seco tomadas en dos picos de cosecha.

^c Granos triángulo: Porcentaje promedio de tres muestras de 400 granos de café pergamino seco tomadas en dos picos de cosecha

^d Tamaño Supremo: Porcentaje promedio de tres muestras de 100 g de café verde retenido en una malla de 17/64 pulgadas.

*Diferencias estadísticas (0,05), de acuerdo con la Prueba de Dunnet, con relación a la var. Caturra.

En cuanto a la producción se observaron diferencias estadísticas entre las progenies (Tabla 3.). La progenie MEG 636-816 fue más productiva que Caturra, mientras que las demás progenies mostraron igual productividad que los testigos. Esta última característica posiblemente está relacionada con el retrocruzamiento hecho con Caturra, lo cual permitió recuperar la buena productividad de esta variedad. No obstante, Owuor y Van der Vossen (37), sugieren hacer dos retrocruces para recuperar dicho atributo de fertilidad; en este experimento solo fue necesario un retrocruce para lograr un aceptable comportamiento similar al de Caturra.

En conclusión, las progenies MEG 639-561 y MEG 639-884 se seleccionaron como promisorias para futuros trabajos; éstas combinan la doble resistencia a roya y a llaga macana, además de poseer aceptables atributos agronómicos y de calidad de grano. Es de anotar que algunos híbridos interespecíficos han demostrado resistencia a patógenos diferentes a *H. vastatrix*, como por ejemplo a *Cercospora coffeicola* (38), a los nematodos *Meloidogyne exigua* (5) o a CBD (“coffee berry disease”), causada por *Colletotrichum kahawae* J.M. Waller & Bridge (35). Recientemente, Castro *et al.* (2016), obtuvieron genotipos con doble

resistencia a los patógenos estudiados en el presente trabajo, además de mostrar aceptables características agronómicas y de calidad de grano. A futuro, podrían evaluarse las características organolépticas y de calidad de taza en los genotipos seleccionados con el fin de complementar la información para que sea de utilidad práctica a los caficultores de Colombia.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., G. Evolution of *Hemileia vastatrix* virulence in Colombia. p. 99-115. En: ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E.M.; VARZEA, V.M. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.
- ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A. Comportamiento agronómico de progenies de híbridos triploides de *Coffea arabica* var Caturra X (Caturra x *Coffea canephora*). Cenicafé 48(2):73-91. 1997.
- ALVARADO A., G.; SOLÓRZANO, B.L. Caracterización de la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. en genotipos de café en Colombia. Cenicafé 52(1):5-19. 2001.
- ALVARADO A., G.; POSADA, H.E.; CORTINA G., H.A. La variedad Castillo: Una variedad de café *Coffea arabica* L. con elevada productividad y amplia resistencia a enfermedades. Fitotecnia colombiana 8(1):1-21. 2008.
- BERTRAND, B.; ANTHONY, F.; LASHERMES, P. Breeding for resistance to *Meloidogyne exigua* of *Coffea arabica* by introgression of resistance genes of *Coffea canephora*. Plant pathology 50:637-643. 2001.
- BETTENCOURT, A.J.; NORONHAW, M.; LÓPEZ, J. Factor genético que condiciona a resistencia do clone 1343/269 "Híbrido de Timor" a *Hemileia vastatrix* Berk et Br. Broteria genética 1(76):53-58. 1980.
- CARVALHO, A.; MONACO, L.C. The breeding of Arabica coffee. p. 198-216. En: FEWERDA, F.P.; WIT, F. Outlines of perennial crop breeding in the tropics. Wageningen : Landbouwhogeschool, 1969. 198 p.
- CARVALHO, A.; MONACO, L.C.; VANDER V., H.A.M. Café Icatu como fonte do resistencia ao *Colletotrichum coffeanum*. Ciencia e cultura 27(7):241-242. 1976.
- CARVALHO, A.; COSTA, W.M.; FAZUOLI, L.C. Auto-incompatibilidade, produtividade, ocorrências de sementes do tipo moca e mudas anormais no café Icatu. Bragantia 42(14):157-169. 1983.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Manizales : Cenicafé, 1988. 169 p.
- 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):137-153. 1992.
- CASTRO C., B.L.; DUQUE O., H.; MONTOYA R., E.C. Pérdidas económicas ocasionadas por la llaga macana del café. Cenicafé 54(1):63-76. 2003.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Hals Hunt. en progenies F₃ de café Bourbon resistente x Caturra. Cenicafé 60(2):115-125. 2009.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis colombiana* y *Ceratocystis papillata* en genotipos de café. Cenicafé 63(2):36-43. 2012.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A.; ROUX, J.; WINGFIELD, J.M. New coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes derived from *Coffea canephora* exhibiting high levels of resistance to leaf rust and *Ceratocystis* canker. Tropical plant pathology 38(6):485-494. 2013.
- CENICAFE. Anuario meteorológico. Manizales : Cenicafé, 2008. 558 p.
- ECHANDI, E.; FERNANDEZ, C.E. Relation between chlorogenic acid contents and resistance to coffee canker incited by *Ceratocystis fimbriata*. Phytopathology 52(1):544-546. 1961.
- ESKES, A.B. Phenotypic expression of resistance to coffee leaf rust and its possible relationship with durability. p.305-331. En: ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E.M.; VARZEA, V.M. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.
- ESKES, A.B.; 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.
- ESKES, A.B.; CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. Euphytica 32(2):625-637. 1983.

21. ESKES, A.B.; COSTA, W.M. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population. *Euphytica* 32(2):649-657. 1983.
22. ESKES, A.B.; HOOGSTRATEN, J.G.J.; TOMAB, M.; CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance coffee leaf rust in some Icatu coffee offspring and derivatives of híbrido de Timor. *Euphytica* 47(1):11-19. 1990.
23. FNC. Sistema de información cafetera: SICA. [En línea]. Bogotá : FNC, (s.f.). Disponible en internet: Consultado en Febrero de 2014.
24. FERNÁNDEZ, B.O. Patogenicidad de *Ceratocystis fimbriata* y posible resistencia en café var. Borbón. *Cenicafé* 15(1):3-17. 1964.
25. HERRERA P., J.C.; COMBES, M.C.; CORTINA G., H.A.; ALVARADO A., G.; LASHERMES, P. Gene introgression into *Coffea arabica* by way of triploid hybrids (*C. arabica* x *C. canephora*). *Heredity* 89:488-494. 2002.
26. IZQUIERDO, J.E. Comportamiento de genotipos de cafetos ante *Ceratocystis fimbriata*. *Ciencia y técnica en la agricultura; café y cacao* 10(1):53-59. 1988.
27. LASHERMES, P.; ANDRZEJEWSKI, S.B.; BERTRAND, B.; COMBES, M.C.; DUSSE, S.; GRAZIOSI, G.; TROUSLOT, P.; ANTHONY, F. Molecular analysis of introgressive breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). *Theoretical and applied genetics* 100:139-146. 2000.
28. MAHE, L.; VARZEA V., M.P.; LE PIERRES, D.; COMBES, M.C.; LASHERMES, P. A new source of resistance against coffee leaf rust from new-Caledonian natural interspecific hybrids between *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Plant breeding* 126(6):638-641. 2007.
29. MARIN M., M.; CASTRO C., B.L.; GAITAN B., A.L.; PREISIG, O.; WINGFIELD, B.D.; WINGFIELD, M.J. Relationships of *Ceratocystis fimbriata* isolates from colombian coffee-growing regions based no molecular data and pathogenicity. *Journal of phytopathology* 151(7/8):395-405. 2003.
30. MATIELLO, J.B.; ALMEIDA, S.R.; CARVALHO, C.H.S. Resistant cultivars to coffee leaf rust. p. 443-450. En: ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E.M.; VARZEA, V.M.P. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.
31. MONACO L., C.; CARVALHO, A. Resistência a *Hemileia vastatrix* no melhoramento do cafeeiro. *Ciência e cultura* 27(10):1070-1081. 1975.
32. MONTILLA, J.; ARCILA P., J.; ARISTIZABAL, M.; MONTÓYAR, E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENA G., G. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Manizales : Cenicafé*, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 370).
33. MORENO R., L.G. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafé* 53(2):132-143. 2002.
34. OMONDI, C.O.; AYIECHO, P.O.; MWANG'OMBE, A.W.; HINDORF, H. Resistance of *Coffea arabica* cv. Ruiru 11 tested with different isolates of *Colletotrichum kahawae* the causal agent of coffee berry disease. *Euphytica* 121(1):19-24. 2001.
35. OROZCO F., J. Utilización del híbrido triploide de *C. arabica* x *C. canephora* en cruzamientos interespecificos. *Cenicafé* 27(4):143-157. 1976.
36. OWUOR, J.B.; VAN DER V., A.H.M. Interspecific hybridization between *Coffea arabica* L. and tetraploid *C. canephora* P. ex Fr. I. fertility in F₁ hybrids and back crosses to *C. arabica*. *Euphytica* 30(3):816-866. 1981.
37. PATRICIO, F.R.A.; BRAGHINI, M.T.; FAZUOLI, L.C. Resistencia de plantas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e híbridos interespecificos a cercosporiose. *Bragantia* 69(4):883-890. 2010.
38. PRAKASH, N.S.; GANESH, D.; BATH, S.S. Population dynamics of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) and recent advances in rust research in India. p. 411-442. En: ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E.M.; VARZEA, V.M. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.
39. RIVILLAS O., C.A.; SERNA, C.A.; CRISTANCHO A., M.A.; GAITAN B., A.L. La roya del cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos de control. *Manizales : Cenicafé*, 2011. 54 p. (Boletín Técnico No. 35).
40. RODRÍGUEZ, C.J.; VARZEA, P.V.M.; SILVA, M.C.; GUERRA G., L.; ROCHETA, M.; MÁRQUES, D.V. Recent advances on coffee leaf rust. p. 179-193. En: Proceedings of the international scientific symposium on coffee, 2000.
41. SAS. Statistical software: SAS/STAT users's guide Version 9.2. *North Carolina : SAS Institute : Cary*, 2010.

42. SERA, G.H.; SERA, T.; FONSECA, I.C.B.; ITO, D.S. Resistência à ferrugem anaranjada em cultivares de café. *Coffee science* 5(1):59-66. 2010.
43. SERA, G.H.; SERA, T.; FONSECA, I.C.B.; ITO, D.S.; DEL GROSÍ, L.; SHIGUEOKA, L.H.; KANAYAMA, F.S. Seleção para a resistência à ferrugem em progênies das cultivares de café IPR 99 e IPR 107. *Bragantia* 69(3):547-554. 2010.
44. SIERRAS, C.A.; RIVILLASO, C.A.; GÓMEZ G., L.; LEGUIZAMON C., J.E. Épocas de control químico de la roya del café en Colombia para 1991: Zonas con cosecha importante en ambos semestres del año. *Manizales : Cenicafé*, 1991. 5 p. (Avances Técnicos No. 156)
45. VANDER V., A.M. State of the art of developing durable resistance to biotrophic pathogens in crop plants, such as coffee leaf rust. p. 1-30. En: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VÁRZEA, V.M. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.
46. VAN W., M.; WINGFIELD, B.D.; MARIN, M.M.; WINGFIELD, M.J.J. New *Ceratocystis* species infecting coffee, cacao, citrus and native trees in Colombia. *Fungal diversity* 40:103-117. 2010.
47. VARZEA, V.M.; MÁRQUES, D.V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vc coffee durable resistance. p. 53-74. En: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VÁRZEA, V.M. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : UFV, 2005.