

EVALUACIÓN DE PROGENIES F4RC1 DE (CATURRA x *Coffea canephora*) x CATURRA

Hernando Alfonso Cortina Guerrero*

CORTINA G., H. A. Evaluación de Progenies F4RC1 de (Caturra x *Coffea canephora*) x Caturra. Revista Cenicafé 70(1):44-64. 2019

Para obtener líneas resistentes a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) se evaluaron 45 progenies F4RC1 de (Caturra X *C. canephora*) x Caturra. Como testigos susceptibles a la roya se utilizaron las variedades Caturra y San Bernardo, y como resistente la variedad Castillo®. Se evaluó la roya, la altura de planta, la frecuencia de frutos vanos y de granos caracol, el tamaño del grano y la producción durante cuatro años. De las progenies, 38 fueron resistentes a la roya (moda y mediana igual a 0). La altura de las progenies fue estadísticamente igual a la variedad Castillo®. El análisis de varianza para frutos vanos fue altamente significativo, pero solo una progenie tuvo más vanos que la variedad Castillo®. El análisis de varianza y la prueba de Dunnett para granos caracol mostró diferencias y 18 progenies con más caracoles que la variedad Castillo®. Estas progenies no han recuperado totalmente la fertilidad. Se registraron 25 progenies con tamaño de grano significativamente igual a Castillo®. Los análisis de varianza para la producción por año y para el promedio de los cuatro, fueron altamente significativos, pero no se encontraron progenies diferentes de la variedad Castillo®. En conclusión, se ha ampliado la base genética de *C. arabica*, especialmente la resistencia a la roya, y se han seleccionado siete progenies resistentes, con promedios de 153 cm de altura a los 24 meses, frutos vanos de 5,1%, granos caracol 11,2%, 72% de café supremo y producción anual de 2,5 kg/planta de café pergamino seco. Estas darán lugar a líneas para evaluación en ensayos regionales.

Palabras clave: Introgresión, hibridación interespecífica, robustas, resistencia a roya, retrocruzamiento.

EVALUATION OF F4RC1 PROGENIES OF (CATURRA x *Coffea canephora*) x Caturra

In order to obtain lines resistant to coffee rust (*Hemileia vastatrix*), 45 F4RC1 progenies (Caturra X *C. canephora*) x Caturra were evaluated. Caturra and San Bernardo varieties were used as susceptible control and Castillo® variety was used as resistant control. Rust resistance, plant height, frequency of empty beans and peaberries, bean size, and production were evaluated for four years. Thirty-eight progenies were resistant to rust (mode and median equals 0). The height of the progenies was statistically equal to that of Castillo® variety. The analysis of variance for empty beans was highly significant, but only one progeny had higher percentage than Castillo® variety. The analysis of variance and the Dunnett test for peaberries showed differences and 18 progenies had higher peaberries than the Castillo® variety. Such progenies have not fully recovered fertility. Twenty-five progenies showed grain size significantly equal to Castillo® variety. The analyses of variance for the production per year and for the average of the four years were highly significant, but there were no differences in the progenies compared to Castillo® variety. In conclusion, the genetic base of *C. arabica*, especially the resistance to rust, has been increased and there are 7 selected resistant progenies, which have an average height of 153 cm at 24 months, empty beans of 5,1%, peaberries of 11.2%, bean size of 72% of supreme coffee and yearly production of 2.5 kg/plant of parchment coffee, which originate lines for evaluation in regional trials.

Keywords: Introgression, interspecific hybridization, robust, resistance to rust, back cross.

*Investigador Sénior. Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

De las 103 especies del género *Coffea* (Davis *et al.*, 2006), solamente se cultivan dos: *Coffea canephora* Pierre, que es una especie diploide ($2n=2x=24$), autoincompatible, variable y productiva, que produce los cafés amargos (robustas y conilón); y *Coffea arabica* L., que es autógama y única especie tetraploide ($2n=4X=48$), que produce los cafés suaves.

En Colombia 542.743 cafeteros, cultivan 911.238 hectáreas de café, todas de la especie arábica (IGAC y Federación de Cafeteros de Colombia, 2017), con una producción de 13,6 millones de sacos para el 2018 (Federación Nacional de Cafeteros, 2019).

La roya del cafeto, causada por *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, es la principal enfermedad del cafeto, defolia las plantas y afecta la producción y la calidad de la cosecha (Castillo y Moreno, 1987; Eskes, 1989). En Colombia, las pérdidas pueden llegar al 30% de la producción (Gaitán *et al.*, 2013). La presencia de una película de agua para la germinación de las esporas, las lluvias nocturnas (Gómez, 1984), las temperaturas entre 16 y 28°C y el bajo brillo solar (Rivillas *et al.*, 2011; Gaitán *et al.*, 2013), características comunes de la zona cafetera colombiana, favorecen la enfermedad.

En los países cultivadores de café de América, predominan variedades susceptibles a esta enfermedad derivadas por selección, mutación o cruzamiento, de las variedades Típica y Borbón. Sobre estas variedades, ocurren con frecuencia epidemias con grandes pérdidas económicas. Por el contrario, en Colombia las variedades resistentes se siembran desde la liberación en 1983 de la variedad Colombia (Castillo y Moreno, 1988), con la cual se inició la sustitución paulatina de la variedad Caturra, predominante, y de la variedad Típica. A la variedad Colombia le siguieron las variedades Tabi (Moreno, 2002) y Castillo® (Alvarado *et*

al., 2005). Sin embargo, hasta el 2006, el área con estas variedades solo alcanzaba el 29%, pero en los años siguientes la sustitución se aceleró, alcanzando en el 2016 el 74% del área cafetera (IGAC y Federación de Cafeteros de Colombia, 2017), esto impulsado por la epidemia de roya de los años 2008 al 2011 (Cristancho *et al.*, 2012) que, junto con La Niña, redujeron dramáticamente la producción.

Todas estas variedades, además de la variedad Cenicafe 1 (Flórez *et al.*, 2016), fueron seleccionadas a partir del cruzamiento entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor (HT) CIFC 1343, una introducción del antiguo Centro Internacional de las Royas del Café (CIFC), en Portugal. El HT es una población resistente a la roya, encontrada en la isla de Timor, descendiente de un cruzamiento natural entre *C. arabica* y *C. canephora*. En otros países cafeteros de América también se han desarrollado variedades resistentes a esta enfermedad, la mayoría a partir de cruzamientos de las variedades Caturra o Villa Sarchí (mutantes de porte bajo de la variedad Borbón) con las introducciones del HT CIFC 832/1 o CIFC 832/2.

La resistencia a la roya en Colombia, y en introducciones de origen similar en los países de América, representa un gran riesgo de epidemia, especialmente con el aumento en el área sembrada con variedades resistentes a la roya. Por lo que buscar fuentes de resistencia en los robustas o en otras especies, es una alternativa. En esa dirección, Mahe *et al.* (2007) en Nueva Caledonia, evaluaron 14 híbridos naturales entre *C. arabica* y *C. canephora* con una muestra representativa de las razas de roya del CIFC, y encontraron que ocho eran resistentes a todas; y en Brasil, incorporaron genes de *C. canephora*, en la variedad Icatú de *C. arabica*, a través del cruzamiento entre la variedad Borbón y una selección duplicada de *C. canephora* robusta ($2n=4x=44$). Las F1, fueron

retrocruzadas a la variedad Mundo Novo (Típica x Borbón) de *C. arabica*. Entre las progenies de este cruzamiento se hicieron selecciones y nuevos retrocruzamientos, obteniéndose líneas de alto rendimiento, resistentes a la roya y a los nematodos (Carvalho *et al.*, 1983). Posteriormente, del cruzamiento de Icatú con Catuai, liberaron la variedad Catucai, de porte bajo y resistente a la roya (Matiello *et al.*, 2005).

Por su parte, en Cenicafé se desarrolla un proyecto de mejoramiento de café por hibridación interespecífica, para incorporar características agronómicas, especialmente de resistencia a la roya, en las variedades cultivadas de *C. arabica* (Cenicafé, 2016, 2017 y 2018). Para este proyecto, se han utilizado las introducciones de *C. canephora* de la Colección Colombiana de Café, que fueron evaluadas y seleccionadas en el país por sus características agronómicas, y por su resistencia a la roya en el CIFC, donde fueron clasificadas en el grupo fisiológico A, resistente a las razas de roya identificadas en este centro (Rodríguez, Bettencourt y Rijo, 1975). Además, Castro y Cortina (2012), encontraron que estas selecciones eran resistentes a la llaga macana o cáncer del tronco (*Ceratocystis colombiana* Van Wyk & Wingf y *Ceratocystis papillata* Van Wyk & Wingf.), una enfermedad vascular de importancia en Colombia, a la que son susceptibles las variedades comerciales.

El cruzamiento se hizo tomando como madre una variedad comercial de *C. arabica*, generalmente Caturra, la cual es de porte bajo y productiva, de alta calidad en taza, pero susceptible a la roya; y como padre, una selección de *C. canephora*. Los híbridos (F1) de este cruzamiento (3X), que son casi estériles, se retrocruzaron a la variedad Caturra, obteniéndose las plantas F1RC1, y por autofecundación y selección, las F2RC1, F3RC1 y F4RC1 (Orozco, 1989).

Este método fue utilizado en la década de 1930 en Indonesia, para obtener líneas productivas adaptadas a zonas bajas (Eskes, 1989). En Brasil obtuvieron plantas RC1 resistentes a la roya, provenientes de *C. canephora* conilón (Eskes Braghini y Levy, 1987). En India a partir del cruzamiento entre Robusta (S.274) y la variedad Kent, se obtuvo la selección S.2828 (Sln.6), una F3RC2 liberada en 1970 (Srinivasan *et al.*, 2000), de buen rendimiento y calidad en taza similar a arábica (Prakash *et al.*, 2005).

Alvarado y Cortina (1997) evaluaron 65 progenies F4RC1 obtenidas por Orozco, descendientes de la introducción Robusta Centro CV5. Las plantas F4RC1 seleccionadas, son mantenidas en el banco de germoplasma, donde conservan su resistencia. También han sido cruzadas con germoplasma etíope para desarrollar variedades (Cenicafé, 2016 y 2017).

Dentro del mismo proyecto se han obtenido nuevas progenies a partir de otros progenitores de *C. canephora*. En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de las nuevas progenies F4RC1, con el objetivo de seleccionar los mejores y llevarlos a pruebas regionales para su liberación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Progenies. Se sembraron 45 progenies F4RC1. Los progenitores F3RC1, fueron seleccionados en el experimento Meg0652 y las F2RC1 en el experimento MEG0639. Estas F2 descienden de cinco progenies F1RC1, seleccionadas en diferentes experimentos provenientes de cruzamientos de Caturra con selecciones de varias introducciones *C. canephora*. En algunas progenies se conocen las selecciones utilizadas: BP 359 Can I. 93 (17 progenies), BP358 Can I. 239 y BP.46 can I.131 (siete progenies). Pero en otras, la semilla F1RC1 fue

recolectada masalmente sobre las plantas F1 de varios cruzamientos. Si bien la polinización fue libre, por las plantas F1 rodeadas de plantas de Caturra, el progenitor masculino muy probablemente es esta variedad. Las introducciones BP (*Besoekisch Proefstation*), son del programa de mejoramiento de Indonesia y fueron seleccionadas por su resistencia a la roya (Tabla 1).

Las progenies F1RC1, F2RC1 y F3RC1 fueron evaluadas por características agronómicas y por resistencia a la roya. Adicionalmente, en la generación F3RC1, las progenies fueron evaluadas por resistencia a la llaga macana (Cortina y Castro, 2015).

Los progenitores F3RC1 seleccionados tuvieron resistencia a la roya, con calificaciones máximas entre 0 y 2; producción promedio anual de 4,4 kg/planta de café pergamino seco (c.p.s.), altura alrededor de 154 cm a los 25 meses, tamaño promedio de grano de 66,0% de café supremo y baja frecuencia de frutos vanos, con promedio de 7,6% (Tabla 2).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos repeticiones y 48 genotipos (45 progenies y tres variedades), la unidad experimental fue un surco de 12 plantas, de las cuales diez fueron efectivas. Como testigos susceptibles a la roya (*H. vastatrix*), se sembraron las variedades Caturra y San Bernardo, y como resistente la variedad Castillo®.

El experimento se sembró en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, en la vereda La Quiebra (Chinchiná, Caldas), con ubicación N 04°58' y O 75°39', a 1.381 m de altitud, con un promedio de precipitación anual de 2.556 mm, 1.816 horas de brillo solar al año, humedad relativa de 78% y temperatura de 20,8°C.

Manejo agronómico. Las semillas se dispusieron para su germinación en septiembre de 2008, posteriormente las chapolas se llevaron a bolsas (17cm x 25cm) en diciembre del mismo año, y los colinos en el campo, en agosto del 2009. En el almáxico se sembraron 51

Tabla 1. Genealogía de las progenies F4RC1 de (Cat x *C. canephora*) x Caturra.

Retrocruzamiento	F1	F2	F3
Cat CV.2 (Cat CV.4 x BP.358-Canl.239)-ED.93	EY.012	MEG639.722	MEG652.114
Cat CV.2 (Cat CV.4 x BP.358-Canl.239)-ED.93	EY.012	MEG639.722	MEG652.116
Cat CV.2 (Cat CV.4 x BP.358-Canl.239)-ED.93	EY.012	MEG639.722	MEG652.119
Cat CV.2 (Cat CV.4 x BP.358-Canl.239)-ED.93	EY.012	MEG639.722	MEG652.325
Cat CV.2 (Cat CV.4 x BP.358-Canl.239)-ED.93	EY.012	MEG639.722	MEG652.328
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.601	MEG652.152
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.601	MEG652.160
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.601	MEG652.414
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.601	MEG652.418
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.222
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.223
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.224
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.230

Continúa...

...continuación.

Retrocruzamiento	F1	F2	F3
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.336
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.337
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.602	MEG652.340
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.46
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.49
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.492
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.495
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.496
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.041	MEG639.605	MEG652.499
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.475	MEG652.28
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.475	MEG652.441
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.475	MEG652.442
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.475	MEG652.444
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.818	MEG652.101
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.818	MEG652.110
[(Cat CV.4 x BP.46-Canl.131)-ED.117] x Cat***	FE.026	MEG639.818	MEG652.423
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.704	MEG652.317
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.704	MEG652.320
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.704	MEG652.171
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.704	MEG652.176
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.704	MEG652.178
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.708	MEG652.92
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.708	MEG652.93
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.708	MEG652.94
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.708	MEG652.97
[(Cat x Can*)-EF**] x Cat***	FB.799	MEG639.708	MEG652.99
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.133
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.135
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.136
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.140
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.483
[(Cat x Can*)-EI**.] x Cat***	FB.1180	MEG639.410	MEG652.488

* = Varios progenitores de *C. canephora*

** = Varias plantas F1, sobre los cuales se recogió masalmente la semilla F1RC1

***= Progenitor masculino, posiblemente a la variedad Caturra

progenies, pero se eliminaron seis por segregación en el porte, también fueron eliminadas las plantas anormales y las que no correspondían a las características de la progenie.

La distancia de siembra fue de 1,4 x 1,0 m (7.142 plantas/ha) y un tallo por sitio. En el primer año se reemplazaron las plantas muertas y las que se encontraban en mal estado. Debido a la acidez del suelo (pH = 4,6), se encaló al momento de la siembra con 100 g de cal dolomítica por planta en el hoyo; esta aplicación se repitió al primero y al segundo año de sembrados las plantas. La fertilización se hizo con urea o DAP, aplicados cada 4 meses hasta los 18 meses, y en la etapa productiva se hicieron aplicaciones trimestrales de nitrógeno, fósforo y potasio, siguiendo las recomendaciones de Cenicafé, en el aplicativo Siascafé¹. Las arvenses fueron controladas oportunamente, especialmente en el plato de la planta, los primeros años. Se controló la hormiga arriera con clorpirifos y el manejo de la broca se hizo con recolecciones oportunas e insecticida. No se controló roya, ni mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*). En agosto de 2011, se inició la recolección, la cual se hizo periódicamente, llevando registros hasta diciembre de 2016.

Evaluación agronómica

Se evaluaron:

Altura de la planta. Este carácter es determinante de la densidad de siembra y de los ciclos de renovación del cultivo. Se midió a los 24 meses de sembradas las plantas en el campo, tomando la longitud desde la base del tallo hasta el ápice.

Características de fruto y grano. Las anomalías de los frutos y granos de café

se reflejan en mermas de la producción y de la calidad del producto (Castillo y Moreno, 1988). Los muestreos para determinar la frecuencia de estas características, se realizaron en los pases de la cosecha principal, durante los años de 2011 al 2014. Se midió la frecuencia de frutos vanos, como la proporción de frutos maduros y sanos que flotan de una muestra de 100 frutos. Para los granos caracol se contaron los granos redondeados en una muestra de 400 y se determinó el porcentaje.

El tamaño del grano determina la aceptación comercial y el precio del café. Una de las medidas del tamaño de grano es el porcentaje de café supremo, que es la proporción en peso de café verde retenido por una zaranda de orificios circulares de 17/64 de pulgada (Castillo y Moreno, 1988). Esta característica se evaluó en una muestra de 100 g.

Producción. Una de las limitaciones en el mejoramiento por hibridación interespecífica es la esterilidad de las líneas, que como consecuencias son de menor producción. Se determinó el peso de la producción de café cereza por planta por pase (frutos cosechados por pase de recolección) durante cuatro años, de agosto de 2011 a junio de 2015, entre 15 y 16 pases por año.

Resistencia a la roya. La transferencia de la resistencia de *C. canephora*, es un carácter del mayor interés. Según Eskes (1989), para determinar la resistencia a la roya en programas de mejoramiento, el uso de escalas es aconsejable, porque permite evaluar rápidamente sin perder mucha precisión. Se utilizó la Escala I de Eskes y Braghini (1981) que mide el número de ramas por planta, con lesiones de roya esporuladas, y va de 0 a 9 en forma ascendente. Se hicieron seis mediciones, de agosto de 2011 a mayo del 2015.

¹ www.cenicafe.org/servicios.

Tabla 2. Características de los progenitores F3RC1 de (Caturra x *C. canephora*) x Caturra.

Progenitor	Producción kg/planta/ año*	Frutos vanos (%)	Granos caracol (%)	Tamaño de grano (porcentaje de café supremo)	Altura a los 25 meses (cm)	Roya**
Meg0652.114	5,4	6,0	10,5	78,1	175	4
Meg0652.116	4,2	4,7	13,0	62,5	160	2
Meg0652.119	4,0	4,0	7,8	74,7	155	4
Meg0652.325	2,8	5,4	7,9	73,1	140	1
Meg0652.328	5,2	3,3	7,1	77,0	150	3
Meg0652. 46	3,2	10,8	16,5	66,4	145	2
Meg0652. 49	3,0	9,4	18,4	63,6	150	1
Meg0652.152	5,4	9,6	16,5	63,3	155	2
Meg0652.160	3,5	10,0	11,7	64,0	150	1
Meg0652.222	3,7	10,3	17,3	59,1	160	1
Meg0652.223	2,9	9,3	17,5	51,6	155	0
Meg0652.224	4,1	12,2	28,8	45,9	170	0
Meg0652.230	2,5	7,6	17,3	69,1	140	2
Meg0652.336	2,8	14,7	15,2	68,6	175	0
Meg0652.337	3,9	7,8	13,6	59,1	175	0
Meg0652.340	5,8	15,8	33,5	58,7	170	1
Meg0652.414	3,9	8,5	12,5	68,8	170	1
Meg0652.418	3,9	8,0	16,1	53,3	185	1
Meg0652.492	4,3	7,2	15,9	58,8	170	1
Meg0652.495	3,5	13,5	16,9	81,7	175	0
Meg0652.496	4,3	17,5	25,0	73,7	160	1
Meg0652.499	3,1	8,5	17,5	78,2	175	1
Meg0652.28	2,8	5,8	11,0	65,2	130	1
Meg0652.101	2,6	9,9	17,4	27,7	125	0
Meg0652.110	3,4	10,5	31,4	68,5	125	2
Meg0652.423	2,2	7,6	21,0	63,8	135	3
Meg0652.441	3,0	9,3	11,6	75,5	165	1
Meg0652.442	3,4	14,0	14,6	56,4	175	0
Meg0652.444	4,1	5,0	22,3	71,5	165	1
Meg0652.92	4,4	3,8	11,2	59,9	140	0
Meg0652.93	2,4	4,3	8,3	55,1	120	0

Continúa...

...continuación.

Progenitor	Producción kg/planta/ año*	Frutos vanos (%)	Granos caracol (%)	Tamaño de grano (porcentaje de café supremo)	Altura a los 25 meses (cm)	Roya**
Meg0652.94	2,3	5,7	8,6	58,4	110	1
Meg0652.97	3,6	8,7	8,0	75,2	140	1
Meg0652.99	2,4	7,6	9,1	36,6	140	0
Meg0652.171	5,1	3,8	8,8	59,2	150	2
Meg0652.176	3,9	2,8	10,3	83,7	145	1
Meg0652.178	3,4	3,3	11,7	75,5	160	3
Meg0652.317	3,4	2,1	11,1	80,2	155	3
Meg0652.320	2,6	6,8	13,2	69,5	145	2
Meg0652.133	4,1	5,0	8,4	77,1	150	1
Meg0652.135	2,4	1,0	5,3	71,5	140	0
Meg0652.136	1,9	4,7	9,9	83,1	145	0
Meg0652.140	4,5	6,7	9,1	73,7	160	1
Meg0652.483	3,7	4,6	10,0	73,3	180	1
Meg0652.488	3,2	4,8	9,4	75,0	160	2

* Café pergamino seco

** Máxima calificación de seis evaluaciones. Escala I de Eskes y Braghini.

Análisis de la información

Se revisó la información para las diferentes características de cada planta y su consistencia. Se descartaron las plantas con problemas de desarrollo y las muertas. Para el análisis de la altura de la planta se descartaron las plantas descopadas y las sembradas.

Para la producción por planta se sumaron las producciones de cada pase durante un año, tomando como periodo de corte el mes de junio, que es el de menor producción en la zona, y llevándolo a café pergamino seco (c.p.s.), relación 5:1. Con la producción anual por planta y la producción media por año, lo mismo que para el crecimiento y las características de grano, se hizo análisis de varianza para un diseño completamente al azar, utilizando el

procedimiento GLM del programa estadístico SAS V 9.4, y cuando las diferencias fueron estadísticamente significativas ($F > 1,62$) se realizó prueba de Dunnett_{0,05}, con la variedad Castillo® como testigo. Para la roya se hicieron distribuciones de frecuencia por progenie, para cada una de las evaluaciones y para la calificación máxima por planta. Para la selección se consideraron aquellas progenies cuyas calificaciones máximas no superaran el grado tres en la escala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Roya. Durante las evaluaciones la variedad Caturra tuvo una alta infección, con moda y mediana para las calificaciones máximas de 7 (Tabla 3), un grado propio de genotipos susceptibles (Moreno y Alvarado, 2000). Esto

muestra que durante el experimento hubo condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad.

En contraste, más del 75% de las plantas de las progenies no tuvieron roya en ninguna evaluación, y aunque en todas se observó la enfermedad, su incidencia en la mayoría de ellas, es decir, la frecuencia de plantas de la progenie en las que alguna vez se observó roya, fue inferior al 50,0%. La calificación máxima para el 80,0% de las plantas fue menor o igual a 2. La progenie menos resistente fue la MEG0652.423, en la cual todas las plantas tuvieron roya, y la mediana y la moda para la calificación máxima de roya fue 3. Hubo progenies muy resistentes, como las MEG0652.136, MEG0652.222 y MEG0652.28, en las que solo una o dos plantas mostraron roya, con calificación máxima de 1 (Tabla 3). Esto indica que estas progenies mantienen la resistencia de sus padres (Tabla 2) y, a su vez, de los progenitores diploide.

Los resultados también muestran el progreso de la selección para resistencia a la roya. En el experimento MEG0652, donde fueron seleccionados los progenitores F3RC1,

predominaron las plantas resistentes, aunque con presencia de roya y calificaciones máximas entre 1 y 4 (Cortina y Castro, 2015). En esta generación desarrollada a partir de estos progenitores con alta resistencia (Tabla 2), permanecieron sanas la mayoría de las plantas. Por su parte, en la variedad Castillo® solo tres de las 20 plantas, no mostraron roya, la moda fue 2 y la mediana 1, mostrando la vigencia de su resistencia. Aunque su incidencia sea marcadamente mayor a la de la mayoría de las progenies que tienen moda y mediana de cero (Tabla 3).

Alvarado y Cortina (1997) en los experimentos de evaluación en la misma generación, reportan que en el CIFC, 40 progenies segregaban plantas del grupo fisiológico A. Sin embargo, en el campo, la proporción de plantas sin roya y de progenies resistentes fue, en general, menor. Se clasificaron como resistentes a aquellas progenies con más del 75,0% de plantas con calificaciones máximas menores de 5, después de seis o más evaluaciones, durante de tres a cinco años; y usando la misma escala I de Eskes y Braghini (1981) clasificaron como resistentes a 48 de las 65 progenies. Solo una, la FK 205, nunca mostró roya.

Tabla 3. Calificación máxima de roya de las progenies F4RC1* de (Caturra x *C. canephora*) x Caturra.

Progenies	Número de plantas en cada grado de la escala I de Eskes y Braghini									Total	Moda	Mediana
	0	1	2	3	4	5	6	7	8			
MEG0652.337	19	1								20	0	0
MEG0652.483	19	1								20	0	0
MEG0652.136	18	2								20	0	0
MEG0652.336	18	1								19	0	0
MEG0652.93	17	3								20	0	0
MEG0652.28	17	2								19	0	0
MEG0652.97	17	2		1						20	0	0
MEG0652.222	17	1								18	0	0
MEG0652.340	16	1	1	1						19	0	0

Continúa...

...continuación.

Progenies	Número de plantas en cada grado de la escala I de Eskes y Braghini									Total	Moda	Mediana
	0	1	2	3	4	5	6	7	8			
MEG0652.488	16	1	1							18	0	0
MEG0652.94	16	1								17	0	0
MEG0652.133	15	4								19	0	0
MEG0652.135	15	4		1						20	0	0
MEG0652.176	15	3	2							20	0	0
MEG0652.328	15	3		1	1					20	0	0
MEG0652.223	15	2	1	1		1				20	0	0
MEG0652.140	15	1	1							17	0	0
MEG0652.224	15	1				2	2			20	0	0
MEG0652.49	14	5		1						20	0	0
MEG0652.495	14	2	3	1						20	0	0
MEG0652.171	14	2	2		1					19	0	0
MEG0652.442	13	2	1							16	0	0
MEG0652.114	12	5	1	1		1				20	0	0
MEG0652.160	12	4	1	3						20	0	0
MEG0652.414	11	4			1		1	2	1	20	0	0
MEG0652.320	11	3	3	3						20	0	0
MEG0652.116	11	3	1	2				2		19	0	0
MEG0652.441	11	2	3		1					17	0	0
MEG0652.99	11	2	1							14	0	0
MEG0652.92	10	7	1	1			1			20	0	0
MEG0652.119	10	6	3							19	0	0
MEG0652.499	10	5	3			2				20	0	0
MEG0652.444	10	2	6	2						20	0	0
MEG0652.46	10	2	1	1	2	1				17	0	0
MEG0652.325	10	2		3		1	2	2		20	0	0
MEG0652.152	9	3	3				1	2	1	19	0	1
MEG0652.230	9		2	1	1	3				16	0	0
MEG0652.492	8	5	1	2			2	2		20	0	1
MEG0652.496	8	3	1	2		3	1		1	20	0	1
MEG0652.110	8	2	5	1	1		3			20	0	2
MEG0652.178	7	6	4	2		1				20	0	1
MEG0652.101	4	5	5	2	2	1				20	1	2
MEG0652.418	4	5	4	2	2	1		1	1	20	1	2
V. Castillo®	3	6	5	5	1					20	1	2
MEG0652.317	2	3	8	4	2	1				20	2	2
San Bernardo		2	6	4	5					20	2	3
MEG0652.423		1	5	6		1	1	3	2	20	3	3
V. Caturra						2	5	5	5	20	7	7

* Máximo de 6 evaluaciones desde agosto de 2011 a mayo de 2015.

En Brasil, Matiello, Almeida y Carvalho (2005) reportan ataques de roya en poblaciones de Icatú, con infecciones que llegan al 50%, aunque algunas líneas como la IAC2944-859-190, son resistentes. A pesar de que todas las líneas de la variedad Catucaí, un cruce natural de Icatú, son atacadas en mayor o menor grado por la roya, muchas de ellas son resistentes, al no mostrar una pérdida acentuada de hojas. Mientras que, en India, Sreenivasan *et al.* (1993), encontraron de 85,0% a 100,0% de plantas resistentes, en progenies de híbridos entre *C. arabica* x *C. canephora* duplicado; y que la selección SIn 2828, ha mostrado en el campo, alta tolerancia a la roya.

En su mayoría, las progenies evaluadas en este experimento heredan la resistencia de las accesiones de *C. canephora*, BP 48, BP 358 y BP 359, mientras que la resistencia a la roya, de todas las variedades liberadas en Colombia, derivan su resistencia del HT C1FC 1343 (Castillo y Moreno, 1988; Moreno, 2002; Alvarado *et al.*, 2005; Flórez *et al.*, 2016). Esta diferencia en los progenitores es de la mayor importancia, y si bien, no se tiene la certeza de que son otros genes, ya que en el HT, la resistencia también proviene de *C. canephora*, el origen de las introducciones y la diferencia en la distribución de la reacción a roya permite inferir, como ya lo habían sugerido Cortina y Castro (2015), que en las progenies resistentes se encuentran genes o combinaciones de genes diferentes a los de las líneas derivadas del HT 1343 (SH5 a SH9), componentes de las variedades Colombia, Tabí, Castillo y Cenicafé 1, que en Colombia comienzan a ser atacadas (Moreno y Alvarado, 2000); o a los de la variedad Costa Rica 95, seleccionada del cruzamiento de Caturra x HT 832/1 (Aguilar, 1995), que también han registrado fuertes ataques en Colombia (Cortina *et al.*, 2012); y además difieren de

los *C. canephora* Centro CV5 (Alvarado y Cortina, 1997).

Estas nuevas combinaciones de genes de resistencia son de gran valor para enfrentar las nuevas razas de roya y respaldan la afirmación de Eskes y Kushalappa (1989), de que los híbridos de *C. arabica* con especies diploides, son la principal fuente para la obtención de variedades de café con resistencia a la roya.

Crecimiento

Altura de planta. La altura promedio y la desviación estándar de las progenies $151 \pm 12,9$ cm (Tabla 4), fue similar a la de las variedades Castillo® ($151 \pm 10,2$ cm) y Caturra ($153 \pm 7,7$ cm). No se observó segregación por porte alto (ct ct) El análisis de varianza fue altamente significativo entre progenies ($p < 0,001$), pero según la prueba de Dunnett_{0,05}, solo la progenie MEG0652.418 fue más alta que la variedad Castillo®.

Como se espera, las progenies en esta generación fueron más homogéneas que las evaluadas en la generación anterior, donde algunas progenies fueron significativamente más altas o bajas que el testigo (Cortina y Castro, 2015). Aunque los *C. canephora* robusta son de mayor porte que la variedad Caturra, la dominancia de este gen -Ct, Ct- (Krug y Carvalho 1951), el segundo cruzamiento y la selección, llevaron rápidamente a homogenizar las progenies para el porte, de modo que tanto los progenitores como las progenies fueron de porte bajo, si bien en ambas generaciones se observó variación. Esto coincide con lo indicado por Alvarado y Cortina (1997) que, aunque no presentan la altura de las progenies evaluadas, dicen que su altura y morfología son similares a los de la variedad Caturra.

Tabla 4. Altura promedio y desviación estándar (D.E.) a los 24 meses, de las progenies F4RC1 de (Cat x *C.canephora*) x Cat.

Progenies	Promedio (cm)	D.E. (cm)	
San Bernardo	115,8	16,8	IC
MEG0652.46	138,3	11,4	-
MEG0652.101	139,2	10,4	-
MEG0652.97	141,0	9,9	-
MEG0652.94	142,1	8,4	-
MEG0652.99	142,5	10,1	-
MEG0652.336	143,9	6,3	-
MEG0652.423	144,8	8,5	-
MEG0652.492	145,8	8,2	-
MEG0652.325	146,8	11,0	-
MEG0652.140	146,9	12,0	-
MEG0652.317	147,5	7,7	-
MEG0652.176	148,3	11,5	-
MEG0652.92	148,5	11,5	-
MEG0652.496	148,8	12,3	-
MEG0652.488	150,5	5,2	-
MEG0652.110	151,0	12,7	-
MEG0652.230	151,1	8,4	-
MEG0652.135	151,3	9,2	-
MEG0652.444	152,0	8,9	-
MEG0652.222	152,8	8,0	-
MEG0652.495	153,0	9,4	-
MEG0652.441	153,7	10,1	-
MEG0652.337	154,0	9,7	-
MEG0652.483	154,3	12,1	-
MEG0652.136	154,5	10,9	-
MEG0652.49	154,5	7,2	-
MEG0652.320	154,8	10,6	-
MEG0652.171	155,3	7,5	-

Continúa...

...continuación.

Progenies	Promedio (cm)	D.E. (cm)	
MEG0652.160	155,3	10,5	-
MEG0652.133	155,5	8,1	-
MEG0652.93	155,8	7,7	-
MEG0652.442	156,3	9,6	-
MEG0652.499	158,2	6,9	-
MEG0652.178	158,9	7,6	-
MEG0652.414	159,3	10,4	-
MEG0652.119	159,5	6,0	-
MEG0652.116	159,7	11,6	-
MEG0652.28	162,5	6,8	-
MEG0652.114	163,2	9,9	-
MEG0652.224	163,7	9,4	-
MEG0652.223	164,5	5,4	-
MEG0652.328	164,8	6,8	-
MEG0652.340	164,8	7,2	-
MEG0652.152	165,5	7,6	-
MEG0652.418	165,8	15,7	SC
V. Castillo	151,0	10,2	-
V. Caturra	152,8	7,7	-
Promedio	152,6	12,9	

IC= Más baja que la variedad Castillo® según Dunnett_{0,05}

SC= Más alta que la variedad Castillo® según Dunnett_{0,05}

Granulometría

Frutos vanos. Los frutos vanos son producidos por el aborto tardío del óvulo fertilizado, que detiene el crecimiento del endospermo, pero no de la cavidad locular. Los frutos tienen apariencia normal, pero pueden contener una o ambas cavidades vacías (Castillo y Moreno, 1988). El promedio de frutos vanos del experimento fue de 7,8% (Tabla 5), similar al de los progenitores,

ligeramente menor que el de la variedad Castillo® (8,1%) y un poco mayor que el de la variedad Caturra (5,7%). El análisis de varianza fue altamente significativo ($p < 0,0001$), y la prueba de Dunnett_{0,05}, mostró diferencias significativas entre la progenie MEG0652.496 y la variedad Castillo®. Al igual que en la generación anterior, la mayoría de las progenies tuvieron frecuencia de frutos vanos similares a las de los testigos (Cortina y Castro, 2015).

De acuerdo con Castillo y Moreno (1988), estos frutos vanos son frecuentes en híbridos interespecíficos y en autopoliploides, sin embargo, la baja frecuencia observada en este experimento, muestra que la gran mayoría de las progenies han superado los problemas de esterilidad asociadas a los híbridos interespecíficos.

Al respecto Alvarado y Cortina (1997) afirman que la esterilidad del híbrido triploide disminuye rápidamente con el retrocruzamiento y con cada generación de autofecundación, debido tanto a la selección natural en poblaciones en segregación, gamética o cigótica, como a la selección artificial; recuperándose rápidamente la fertilidad, la autocompatibilidad y la morfología de la variedad Caturra.

Respaldan esta afirmación Herrera *et al.* (2002), quienes determinaron por citometría de flujo, el contenido relativo de ADN de seis progenies F1RC1 (diez plantas/progenie) de Caturra X (Caturra x *C. canephora*), encontrando que este varió alrededor del

progenitor recurrente, la media de todas las plantas no fue significativamente diferente ($p=0,398$) del estimado para *C. arabica*, y las progenies fueron estadísticamente iguales ($p>0,05$) a arábica, excepto una. Además, al estudiar la segregación en las F1RC1, usando 12 microsatélites, encontraron una selección severa, en contra de la introgresión de material genético de *C. canephora* en *C. arabica* por la vía de los triploides.

Alvarado y Cortina (1997) también encontraron baja frecuencia de frutos vanos entre sus progenies, de 2,0% a 9,8%, con una alta proporción de progenies con porcentajes menores del 5%; además, reportan baja frecuencia en plantas seleccionadas de híbridos interespecíficos obtenidos por esta vía y conservadas en el banco de germoplasma de café de Cenicafé. Por otra parte, Fazuoli *et al.* (1983), en plantas F2RC2 de Icatú, tuvieron porcentajes de frutos vanos de alrededor del 15%, siendo este porcentaje uno de los mayores inconvenientes en algunas poblaciones de Icatú.

Tabla 5. Características de fruto y grano de las progenies F4RC1 de (Caturra x *C. canephora*) x Caturra.

Progenie	Frutos vanos (%)		Granos caracol (%)		Café supremo (%)	
MEG0652.136	8,3	-	12,0	-	78,5	-
V. Castillo®	8,1	-	9,1	-	77,9	-
MEG0652.135	4,6	-	10,7	-	77,0	-
MEG0652.133	4,2	-	9,8	-	75,6	-
MEG0652.317	6,3	-	13,2	-	75,4	-
MEG0652.114	6,9	-	12,1	-	74,3	-
San Bernardo	5,5	-	11,3	-	73,5	-
MEG0652.499	7,4	-	18,1	SC	72,7	-
MEG0652.483	5,3	-	11,6	-	71,6	-
MEG0652.488	5,0	-	11,5	-	70,5	-
MEG0652.140	5,1	-	12,5	-	70,4	-
MEG0652.178	5,4	-	15,0	-	68,9	-
MEG0652.176	6,4	-	15,0	-	68,2	-

Continúa...

...continuación.

Progenie	Frutos vanos (%)		Granos caracol (%)		Café supremo (%)	
MEG0652.325	5,9	-	9,6	-	65,3	-
MEG0652.495	9,8	-	16,7	SC	64,8	-
MEG0652.49	8,4	-	16,6	SC	64,1	-
MEG0652.97	6,7	-	12,2	-	63,1	-
MEG0652.93	4,7	-	10,0	-	63,0	-
MEG0652.119	5,9	-	10,1	-	62,6	-
MEG0652.336	8,3	-	9,8	-	62,4	-
MEG0652.230	8,4	-	16,8	-	61,8	-
MEG0652.441	7,1	-	13,0	-	61,5	-
MEG0652.46	9,6	-	13,3	-	61,2	-
MEG0652.442	8,7	-	15,8	-	61,0	-
MEG0652.328	10,3	-	19,2	SC	60,0	IC
MEG0652.28	8,1	-	15,9	SC	59,9	IC
MEG0652.171	6,8	-	16,6	SC	57,6	IC
MEG0652.92	6,4	-	11,9	-	57,2	IC
MEG0652.222	8,9	-	22,5	SC	57,0	IC
MEG0652.152	7,2	-	15,8	-	55,7	IC
MEG0652.110	16,0	-	23,4	SC	55,4	-
MEG0652.496	17,4	SC	25,0	SC	55,2	IC
MEG0652.337	15,8	-	13,8	-	54,8	IC
MEG0652.444	6,6	-	20,5	SC	54,3	IC
MEG0652.320	7,8	-	18,8	SC	53,4	IC
MEG0652.423	7,8	-	20,5	SC	53,0	IC
MEG0652.94	5,4	-	11,0	-	51,7	IC
MEG0652.116	5,5	-	11,3	-	50,0	IC
MEG0652.223	8,1	-	22,5	SC	49,6	IC
MEG0652.414	7,3	-	15,3	-	49,7	IC
MEG0652.160	10,2	-	12,4	-	46,4	IC
MEG0652.492	8,2	-	19,5	SC	46,3	IC
MEG0652.418	6,3	-	17,4	SC	45,5	IC
MEG0652.99	7,8	-	12,7	-	45,2	IC
V. Caturra	5,7	-	8,6	-	45,2	IC
MEG0652.340	13,2	-	26,2	SC	43,6	IC
MEG0652.101	12,3	-	18,5	SC	43,5	IC
MEG0652.224	12,7	-	22,1	SC	27,5	IC
Promedio	7,8		15,2		60,3	

IC= Más baja que la variedad Castillo® según Dunnett_{0,05}

SC= Más alta que la variedad Castillo® según Dunnett_{0,05}

Granos caracol. Los granos caracoles se producen cuando uno de los óvulos aborta tempranamente, con atrofia de la cavidad locular. Como resultado, la semilla del otro lóculo se desarrolla tomando la forma redondeada del fruto (Castillo y Moreno 1988). El promedio de granos caracol del experimento fue de 15,2% (Tabla 5) similar al de los progenitores y mayor que el de las variedades Castillo® (9,1%) y Caturra (8,6%), que fueron las de menor frecuencia registraron para esta clase de granos. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre progenies ($p < 0,0001$), y con la prueba de Dunnett_{0,05}, se encontró que 18 progenies eran superiores a la variedad Castillo®.

Alvarenga, Begazo, Cardoso y De Paula (1995) encontraron en progenies de Icatú, de generaciones avanzadas, frecuencias de frutos vanos inferiores al 5,0%, mientras que los granos caracol estaban entre 10,0% y 20,0%, como en este experimento. Mientras que Alvarado y Cortina (1997), encontraron una frecuencia de granos caracol entre 6,7% y 16,8%, con un promedio de 9,4%, inferior al registrado en este experimento, donde la mayoría de las progenies están dentro de los límites comerciales.

Basados en la frecuencia de frutos vanos y granos caracol, Alvarado y Cortina (1997) consideraron que en 20 de las 67 progenies F4RC1 derivadas del *C. canephora* centro Cv1, la gametogénesis y la fecundación era normal. En este experimento, en el que se evalúan progenies descendientes de varias introducciones de *C. canephora*, todavía hay algunas de baja fertilidad que se reflejan en la mayor proporción de granos caracol.

Tamaño de grano. El porcentaje de café supremo del experimento fue de 60,0%, similar al de los progenitores (66,0%), inferior al de

la variedad Castillo® (78,0%) y superior al de la variedad Caturra (45,0%). El tamaño de grano de estas progenies está más cerca de las variedades de *C. arabica*, que el de *C. canephora* (Tabla 5). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre progenies ($p < 0,0001$), y con la prueba de Dunnett_{0,05}, se encontró que 25 progenies eran estadísticamente iguales al testigo.

En las F3RC1 estudiadas por Cortina y Castro (2015), el tamaño de grano fue menor al 50,0% de supremo, y pese a que eventualmente las condiciones ambientales pudieran explicar en parte esas diferencias, se observa un progreso notable en este carácter.

Las progenies F4RC1, provenientes del *C. canephora* centro CV1, tuvieron gran variación en el tamaño de grano, que fluctuó entre 31,3% que es un grano muy pequeño, y 87,0% similar a las variedades de grano grande, pero el promedio de los diferentes experimentos fluctuó alrededor del 60,0% (Alvarado y Cortina, 1997).

Las 25 progenies con tamaño de grano igual al testigo encontradas en este experimento, indica que este carácter, que para Owuor y Van der Vossen (1981) es una de las principales limitaciones en híbridos interespecíficos, ha sido recuperado.

Producción

En la Tabla 6 se registran las producciones por progenies, en cada una de los cuatro años de cosecha, así como el promedio. La mayor producción se obtuvo el primer año de cosecha, 3,0 kg de cereza/planta (343 @ ha⁻¹ de c.p.s.), y luego declinó ligeramente los siguientes dos años, 2,4 y 2,3 kg/planta de café cereza, respectivamente (276 y 263 @ ha⁻¹ de c.p.s.) y más acentuado el cuarto año, 1,9 kg/planta de café cereza (211 @

ha⁻¹ de c.p.s.). La producción de la variedad Castillo® estuvo en el promedio 2,3 kg/planta de café cereza (263 @ ha⁻¹ de c.p.s.), mientras que la variedad Caturra, afectada por la roya, tuvo una producción de 1,9 kg/planta de café cereza (217 @ ha⁻¹ de c.p.s.).

Los análisis de varianza para cada uno de los años y para el promedio de los cuatro, fueron altamente significativos ($p=0,0027$). No obstante, la prueba de Dunnett_{0,05}, no mostró diferencia de alguna de las progenies con la variedad Castillo®, en alguno de los años ni en el promedio. Esto muestra que estas progenies de origen interespecífico, han recuperado la producción del progenitor recurrente. En consecuencia, las progenies de las plantas seleccionadas serán evaluadas regionalmente.

La mayoría de las progenies F4RC1 evaluadas por Alvarado y Cortina (1997) también tuvieron producciones por planta y estimadas por hectárea, estadísticamente iguales al testigo, variedad Colombia, y afirman que no es frecuente obtener progenies de híbridos interespecíficos de alto rendimiento en altas proporciones. No obstante, la mayoría de las progenies F3RC1 evaluadas por Castro y Cortina (2015) tuvieron producciones similares a los testigos.

En contraste, Owuor y Van der Vossen (1981) reportaron bajos rendimientos en progenies de primero y segundo retrocruzamiento de híbridos interespecíficos; mientras que en Brasil, Matiello *et al.* (2005), señalan que la mayoría de las selecciones de Icatú son menos productivas que las variedades comerciales, pero que la variedad Catucaí, tiene líneas de alto potencial de rendimiento.

Selección

La gran mayoría de las progenies son resistentes a la roya, todas tienen el gen Caturra, aunque

algunas, son significativamente más altas que las variedades comerciales, lo que limita su utilización como variedades. La gran mayoría tiene baja frecuencia de frutos vanos, pero no ocurre lo mismo con los granos caracol, cuya frecuencia está por encima de los aceptados comercialmente en algunas progenies. Unas pocas tuvieron producciones menores que las variedades comerciales.

Estas progenies introgresadas pertenecen ya a la diversidad del germoplasma de *C. arabica*. Deben evaluarse para otras características de interés y usarse como progenitores en mejoramiento por hibridación intraespecífica, para mejorar los caracteres en que son deficientes o como fuentes de otros caracteres, como la resistencia a la llaga macana (Cortina y Castro, 2015). Esto se ha venido haciendo con algunas de las selecciones F3RC1 y F4RC1, derivadas del *C. canephora* Centro CV1 que fueron cruzadas con introducciones etíopes o con líneas avanzadas de Caturra x Híbrido de Timor (Cenicafé, 2016), y de las que 11 progenies han sobresalido por sus características agronómicas y por su resistencia a la roya del cafeto (Cenicafé, 2017).

Pero lo más importante es la selección de siete progenies (Tabla 7) de excelentes características: resistentes a la roya, promedio de altura de planta a los 25 meses de 153 cm, frecuencia de frutos vanos de 5,1% y de granos caracol de 11,2%, tamaño de grano de 72% de café supremo y producción anual de 2,5 kg/planta de c.p.s. Estas progenies serán sembradas en evaluaciones regionales antes de su liberación como variedades o componentes de variedades para el país.

En este estudio se concluye que partiendo de cruzamientos y retrocruzamientos, sin duplicación, entre variedades de la especie *C. arabica* y accesiones seleccionadas de

la especie diploide *C. canephora* se ha ampliado la base genética de *C. arabica*, y probablemente se han transferido nuevos genes o combinaciones de genes de resistencia a la roya.

Las progenies de híbridos interespecíficos, evaluadas en este experimento, pueden usarse como progenitores donantes de resistencia y

otros caracteres en cruzamientos con variedades o líneas destacadas.

Dentro de estas progenies F4RC1, se han seleccionado siete muy resistentes y con características agronómicas comparables a las de las variedades comerciales, para evaluar su descendencia en pruebas regionales y decidir su liberación como variedades (Tabla 7).

Tabla 6. Producción anual de las progenies F4RC1 de (Caturra x *C. canephora*) x Caturra.

Progenies	Kilogramos de café pergamino seco por planta al año (2011 a 2014)				Promedio 2011-2015
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	
MEG0652.325	4,68	3,47	2,60	3,04	3,45
MEG0652.320	3,67	2,86	3,07	3,11	3,17
MEG0652.152	3,48	3,74	2,99	1,96	3,04
MEG0652.119	2,85	4,12	2,52	2,41	2,97
MEG0652.49	3,59	3,62	2,37	2,11	2,92
MEG0652.176	2,44	3,36	2,62	2,95	2,84
MEG0652.495	3,82	3,27	2,34	1,93	2,84
MEG0652.28	3,22	3,52	3,06	1,44	2,81
MEG0652.488	4,64	1,90	2,46	2,21	2,80
MEG0652.171	2,86	3,02	2,59	2,42	2,72
MEG0652.441	3,27	2,24	3,57	1,80	2,72
MEG0652.178	2,51	3,36	2,54	2,39	2,70
MEG0652.140	3,68	3,02	2,31	1,79	2,70
MEG0652.340	2,96	3,29	2,24	2,16	2,66
MEG0652.114	3,79	2,29	3,05	1,53	2,66
MEG0652.444	2,50	2,56	3,78	1,81	2,66
MEG0652.328	3,02	2,45	2,25	2,75	2,62
MEG0652.499	3,36	2,66	2,58	1,76	2,59
MEG0652.223	3,32	2,32	2,84	1,88	2,59
MEG0652.160	2,94	3,05	2,19	2,10	2,57
MEG0652.93	3,61	1,96	2,54	2,12	2,56

Continúa...

...continuación.

Kilogramos de café pergamino seco por planta al año (2011 a 2014)					
Progenies	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	Promedio 2011-2015
MEG0652.317	2,56	2,75	2,50	2,34	2,54
MEG0652.92	2,69	2,27	2,16	2,97	2,52
MEG0652.135	4,00	1,91	2,61	1,43	2,48
MEG0652.423	2,65	2,33	2,22	2,29	2,37
MEG0652.483	3,48	1,67	2,11	2,15	2,35
MEG0652.414	2,78	2,55	2,43	1,58	2,33
V. Castillo®	3,40	2,10	2,14	1,46	2,28
MEG0652.442	2,70	2,50	2,43	1,43	2,27
MEG0652.101	2,25	2,37	2,48	1,86	2,24
MEG0652.496	2,24	2,94	1,93	1,82	2,23
MEG0652.230	2,52	1,72	2,38	2,07	2,17
MEG0652.224	2,42	2,48	1,87	1,84	2,15
MEG0652.492	3,01	2,55	1,48	1,47	2,13
MEG0652.99	2,74	1,58	2,93	1,24	2,12
MEG0652.222	3,00	1,85	1,68	1,65	2,04
MEG0652.133	3,22	1,59	1,79	1,57	2,04
MEG0652.418	2,38	2,61	2,01	1,09	2,02
MEG0652.116	2,37	2,57	1,76	1,14	1,96
MEG0652.97	2,32	1,84	2,07	1,54	1,94
MEG0652.94	2,84	1,29	2,22	1,40	1,94
V. Caturra	2,67	1,00	2,43	1,49	1,90
MEG0652.336	2,78	1,44	1,69	1,21	1,78
MEG0652.337	3,15	1,38	1,01	1,43	1,74
MEG0652.110	2,68	1,90	1,39	0,80	1,69
MEG0652.136	2,08	1,39	1,41	1,32	1,55
MEG0652.46	1,87	1,48	1,44	1,20	1,50
San Bernardo	2,71	0,61	1,51	0,96	1,45
Promedio	3,00	2,41	2,30	1,85	2,39

Tabla 7. Características de las progenies F4RC1 seleccionadas.

Progenie	Altura 25 meses (cms)	Frutos vanos (%)	Granos caracol (%)	Café supremo (%)	Producción (kg/planta al año de c.p.s.)	Roya mediana
MEG0652.488	150	5,0	11,5	70,5	2,8	0
MEG0652.140	145	5,1	12,5	70,4	2,7	0
MEG0652.114	162	6,9	12,1	74,3	2,7	0
MEG0652.93	156	4,7	10,0	63,0	2,6	0
MEG0652.135	151	4,6	10,7	77,0	2,5	0
MEG0652.483	154	5,3	11,6	71,6	2,4	0
MEG0652.133	156	4,2	9,8	75,6	2,0	0
Promedio	153	5,1	11,2	71,8	2,5	

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero agrónomo Jhon Félix Trejos y demás colaboradores de la Estación Experimental Naranjal. A los colaboradores de la disciplina de Mejoramiento Genético, especialmente a la doctora María del Pilar Moncada y a los señores Luis Enrique Chanchí, Jhon Esteban Quintero y Jairo Jaramillo. Al doctor Ricardo Acuña y a la estadística Lina Díaz.

LITERATURA CITADA

Aguilar, V.G.J. (1995). *Variedad Costa Rica 95*. San José: ICAFE.

Alvarado A., G. y Cortina G., H.A. (1997). Comportamiento agronómico de progenies de híbridos triploides de *Coffea arabica* var. Caturra X (Caturra X *Coffea canephora*). *Cenicafé*, 48(2), 73-91.

Alvarado A., G., Posada S., H.E. y Cortina G., H.A. (2005). *Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. (Avance Técnico No. 337). Manizales: Cenicafe.

Alvarenga A., de P., Begazo J.C.E.O., Cardoso, A.A. y Paula, J.F. de (1995). Avaliação de progenies de café Icatú, em Viosa, Minas Gerais. *Revista Ceres*, 42(243), 516-527.

Carvalho, A., Costa, W.M. da y Fazuoli, L.C. (1983). Auto-incompatibilidade, produtividade, ocorrência

de sementes do tipo Moca e Muda Anormais no café Icatú. *Bragantia*, 42, 157-169.

Castillo Z., J. y Moreno R., L.G. (1988). *La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café*. Chinchiná: Cenicafe.

Castro C., B.L. y Cortina G., H.A. (2012). Evaluación de resistencia a *Ceratocystis colombiana* y *Ceratocystis papillata* en genotipos de café. *Cenicafé*, 63(2), 36-43.

Centro Nacional de Investigaciones de Café (2016). *Informe Anual. Mejoramiento Genético*. Manizales: Cenicafe.

Centro Nacional de Investigaciones de Café (2017). *Informe Anual. Mejoramiento Genético*. Manizales: Cenicafe.

Centro Nacional de Investigaciones de Café (2018). *Informe Anual. Mejoramiento Genético*. Manizales: Cenicafe.

Cortina G., H.A.; Moncada B., M. del P. y Herrera P., J.C. (2012). *Variedad Castillo®: Preguntas frecuentes*. (Avance Técnico No. 426). Manizales: Cenicafe.

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

Cristancho A., M.A.; Roza P., Y.I., Escobar O., C., Rivillas O., C.A. y Gaitán B., A.L. (2012). Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports*, 25(19), 204.

Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M. y Stoffelen, P. (2006). An Annotated Taxonomic Conspectus of the Genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152, 465-512.

- Eskes, A.B. y Toma-Braghini, M. (1981). Assesment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk y Br). *Plant Protection Bulletin*, 29, 56-66.
- Eskes, A.B., Toma-Braghini, M. y Levy, F.A. (1987). Utilizacao de triploides para transferir resistencia a *Coffea canephora* cv Kouillou para o cultivar Catuai de *C. arabica*. Comportamento das geracoes F1 e BC1. En *Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras : 1-4 de diciembre de 1987*. (p. 80-82). Campinas : Ministério da Indústria e do Comércio-Instituto Brasileiro do Café.
- Eskes, A.B. (1989). Resistance. En A.C. Kushalappa y A.B. Eskes (Eds.), *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management* (p. 171-291). Boca Ratón: CRC Press.
- Fazuoli, L.C., Carvalho, A., Costa, W.M. Da; Nery, C., Pereira L., C.R. y Santiago, M. (1983). Avaliação de progênies e seleção no cafeeiro Icatu. *Bragantia*, 42, 179-189.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2019). *Producción de café de Colombia cerró en 13,6 millones de sacos*. Recuperado de https://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_cerro_en_136_millones_de_sacos/
- Flórez R., C.P., Maldonado L., C.E., Cortina G., H.A., Moncada B., M. Del P., Montoya R., E.C., Ibarra R., L.N., Unigarro M., C.A., Rendón S., J.R. y Duque O., H. (2016) *Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano*. (Avance Técnico No. 469). Manizales: Cenicafé.
- Gaitán B., A.L., Rivillas O., C.A., Castro C., B.L., Cristancho A., M.A. (2013). Manejo integrado de enfermedades. En: *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Vol. 2. (p 143-178). Chinchiná: Cenicafé.
- Gómez G., L. (1984). Película de agua sobre las hojas de los cafetos. *Cenicafé*, 35(4), 94-101.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Federación de Cafeteros de Colombia (2017). Atlas Cafetero de Colombia. (p. 29). Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Herrera P., J.C., Combes, M.C., Cortina G., H.A., Alvarado A., G. y Lashermes, P. (2002). Gene introgression into *Coffea arabica* by way of triploid hybrids (*C. arabica* x *C. canephora*). *Heredity*, 89(6), 488-494.
- Krug, C.A. y Carvalho, A. (1951). The genetics of *Coffea*. *Advances in Genetics*, 4, 127-158.
- Mahe, L., Varzea, V.M.P., Le Pierres, D., Combes, M.C. y Lashermes, P. (2007). 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.
- Matiello, J.B., Almeida S.R. y Carvalho C.H. (2005). Resistant Cultivars to coffee leaf rust. En Zambolim, E.M. y Varzea, V.M.P. *Durable resistance to coffee leaf rust*. (p. 443-450). Viçosa: Universidad Federal de Viçosa.
- Moreno R., L.G. (2002). Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafé*, 53(2), 132-143.
- Moreno R., L.G. y Alvarado A., G. (2000). *La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto*. (Boletín Técnico No. 22). Manizales: Cenicafé.
- Orozco C., F.J. (1989, agosto). *Utilización de los híbridos triploides en el mejoramiento genético del café*. Ponencia presentada en XIII Colloque Scientifique International sur le Café, Paipa, Colombia (p- 485-495). Paris: ASIC.
- Owuor, J.B.O. y Van Der Vossen, H.A.M. (1981). Interspecific hybridization between *Coffea arabica* L. and tetraploid *C. canephora* P. ex Fr. I. Fertility in hybrids and back crosses to *C. arabica*. *Euphytica*, 30, 861-866.
- Prakash N. S., Ganesh D. y Bhat S. S. (2005). Population dynamics of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. Et Br.) and recent advances in rust research in India. En E.M. Zambolim, V.M.P. Varzea. *Durable resistance to coffee leaf rust*. (p. 411-442). Viçosa: Universidad Federal de Viçosa.
- Rivillas O., C.A., Serna G., C.A., Cristancho A., M.A. y Gaitán B., A.L. (2011). *La roya del cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos del control*. (Boletín Técnico No. 36). Manizales: Cenicafé.
- Rodrigues Jr., C.J., Bettencourt, A.J. y Rijo, L. (1975). Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review of Phytopathology*, 13, 49-70.
- Sreenivasan M.S., Santa Ram A. y Prakash N.S. (1993, junio). *Tetraploid inter-specific hybrids in Coffee breeding in India*. Ponencia presentada en XV Colloque Scientifique International sur le Café, Montpellier, Francia (p 226-233). Paris: ASIC.
- Srinivasan C.S., Prakash N.S., Padma J., Sureshkumar V.B. Y Subbalakshmi. (2000). Coffee cultivation in India. En T. Sera, C.R. Soccol, A. Pandey y S. Roussos (Eds.) *Coffee Biotechnology and Quality*. Trabajo presentado en Proceedings of the 3rd International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agro-Industry, Londrina, Brasil (p. 17-26). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.