

Variedades de café

Desarrollo de variedades

Hernando Alfonso Cortina Guerrero; José Ricardo Acuña Zornosa; María del Pilar Moncada Botero; Juan Carlos Herrera Pinilla; Diana María Molina Vinasco

Para el cultivo del café como para cualquier otro, las limitaciones bióticas (Plagas y enfermedades) y abióticas (Sequías, inundaciones, deficiencias nutricionales, entre otras) no solo determinan las zonas aptas para la producción sino que ocasionan un aumento de los costos de producción, al requerirse medidas de manejo y control para evitar o al menos mitigar sus efectos.

La obtención de variedades con resistencia genética a uno o varios de estos limitantes es una aspiración de prácticamente todos los programas de mejoramiento genético.

La Disciplina de Mejoramiento de Cenicafé ha tenido como objetivo principal la obtención de variedades mejoradas, en las cuales se busca combinar atributos agronómicos como: Resistencia a las enfermedades y plagas más limitantes, presentes o potenciales; calidad de grano (Tipo y tamaño), calidad de la bebida, alta producción y amplia adaptación a las condiciones agroecológicas del área cafetera del país.

En este capítulo se describirá el proceso de mejoramiento genético utilizado por Cenicafé, así como los recursos y las herramientas genéticas con los que cuenta la Institucionalidad Cafetera para el desarrollo de nuevas variedades. Seguidamente se habla de la historia del mejoramiento en Colombia y se resaltan los principales avances en la obtención de las variedades resistentes a la roya, la broca y a la enfermedad del fruto. Por último se describen las características de las variedades desarrolladas por Cenicafé, así como otras variedades y especies de café cultivadas no solo en Colombia sino en el mundo.

Cómo Citar:

Cortina, H. A., Acuña-Zornosa, J. R., Moncada Botero, M. del P., Herrera Pinilla, J. C., & Molina, D. M. (2013). Variedades de café: Desarrollo de variedades. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 169–202). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_09



Descripción del proceso de mejoramiento genético

El **mejoramiento genético del café**, se rige por los principios y métodos de las plantas autógamas, las cuales se autofecundan (Krug y Carvalho, 1951). En estas plantas, el óvulo es fecundado por el polen de la misma flor, debido a que en la flor se encuentran los estambres y los pistilos. Como consecuencia de la continua autofecundación, estas plantas se vuelven más homogéneas genéticamente, formando las **líneas puras**, que se caracterizan por ser altamente homocigotas (Allard, 1978; Vallejo y Estrada, 2002). Las plantas homocigotas son aquellas que presentan un elevado grado de homogeneidad en todas sus características.

Con base en el conocimiento del mecanismo de reproducción del café (Figura 1), se ha desarrollado un método para la **polinización manual** entre plantas de interés, por ejemplo aquellas portadoras de genes de resistencia a enfermedades, a plagas, con mayor producción o con calidad diferenciada, entre otros, la cual se conoce como **crüzamiento dirigido** (Figura 2).

En el mejoramiento genético del café se practican dos tipos de cruzamientos:

Cruzamientos intra-específicos entre variedades comerciales de *C. arabica*, para recombinar las características de interés existentes en dos o más variedades comerciales o introducciones de *C. arabica* de diferente procedencia. En generaciones avanzadas de cruzamiento (F5 ó F6)¹ se seleccionan progenies a partir de un progenitor de buenas características agronómicas con la certeza de que las mismas se expresen en su descendencia. Así, se recombinan dos o más atributos deseables existentes en diferentes genotipos.

Cruzamientos inter-específicos entre variedades comerciales de *C. arabica* y plantas de otras especies de *Coffea*, para recombinar genéticamente características de interés que no existen en el germoplasma² de *C. arabica*. También se puede realizar entre otras especies diferentes a *C. arabica*.

Etapas del mejoramiento genético

El mejoramiento genético de café permite obtener nuevas variedades acorde a las necesidades actuales de la caficultura, mediante el desarrollo de las siguientes

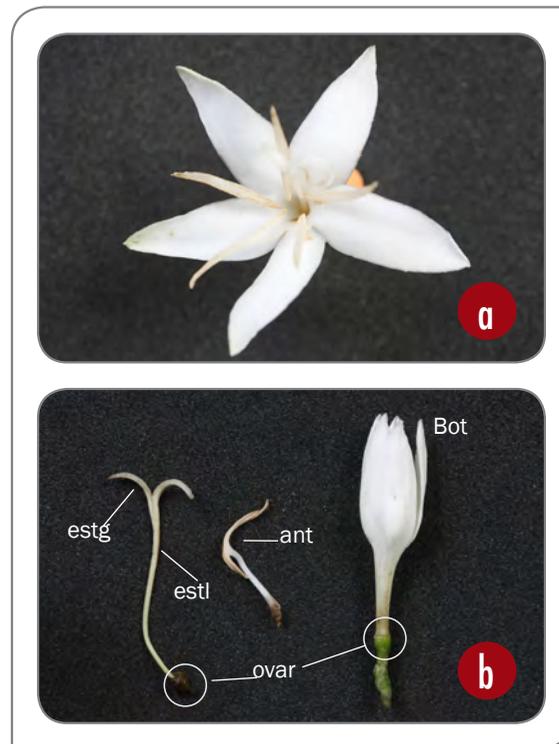


Figura 1.

Órganos reproductivos del café. (a), flor de *Coffea arabica* justo después de su apertura; (b), partes de la flor, en la cual se observa el órgano femenino compuesto por el estigma (**estg**), el estilo (**estl**) y el ovario (**ovar**); los estambres o parte masculina, compuesta por las anteras (**ant**) y su respectivo filamento; a la derecha se observa un botón floral (**Bot**).

etapas: **La identificación de los progenitores, su cruzamiento, la selección de las mejores plantas a lo largo de tres a cuatro generaciones**, y finalmente **la evaluación regional de la siguiente generación**, con el fin de escoger las mejores líneas que conformarán la nueva variedad.

El mejoramiento genético del café se basa en el conocimiento del **germoplasma** para la selección de los progenitores. El germoplasma contiene todas las variedades cultivadas en el mundo, los materiales silvestres de Etiopía y las especies diploides (*Coffea canephora* y *C. liberica*, entre otras). Las evaluaciones realizadas han permitido identificar dentro del germoplasma muchas características de interés como resistencia a la roya, CBD y nematodos, entre otras (Castillo y Parra, 1973; Castillo, 1975; Moreno *et al.*, 2000).

¹F5 : F significa filial y el número indica la generación

²Germoplasma: Conjunto de accesiones que contienen toda la variabilidad genética existente dentro de una especie de plantas

Principales etapas de la polinización manual de flores de café, utilizado por el programa de mejoramiento genético de Cenicafé



a. Selección de ramas con flores cerradas en la planta madre (Progenitor femenino).



b. Recolección de flores de la planta donante (Progenitor masculino), con el fin de obtener polen.



c. Retiro de los estambres de las flores de la planta madre (Emasculación).



d. Polinización manual de flores de la planta madre con polen de flores de la planta donante.



e. Protección de las ramas con flores polinizadas para evitar contaminación con polen exterior.

La selección de progenitores de las variedades compuestas se hace con base en sus características. Como **progenitor femenino** se utiliza una variedad base de amplia aceptación, excelentes características agronómicas y reconocida calidad de su bebida, mientras que como **progenitor masculino** se usa un genotipo portador de una o varias características ausentes en la variedad base, denominado progenitor

donante. A partir de su cruzamiento se inicia la selección sistemática de las mejores plantas, siguiendo el método genealógico o de pedigrí, el cual se basa en la escogencia de plantas individuales, dentro y entre familias. Con ellas, se continúa la selección durante cinco generaciones, realizando en cada generación una evaluación rigurosa por atributos agronómicos y de resistencia a la roya (Tabla 1).

	Generaciones de autofecundación				
	0%	50%	75%	88%	94%
Características	F1	F2	F3	F4	F5
Vigor		x	x	x	x
Porte		x	x		
Morfología		x	x	x	x
Grano		x	x	x	x
Producción			x	x	x
Adaptación			x	x	
Taza				x	x
Resistencia a roya		x	x	x	x
Resistencia a CBD				x	x

Tabla 1.

Características fenotípicas evaluadas a lo largo del proceso de selección, en cada una de las generaciones de autofecundación.

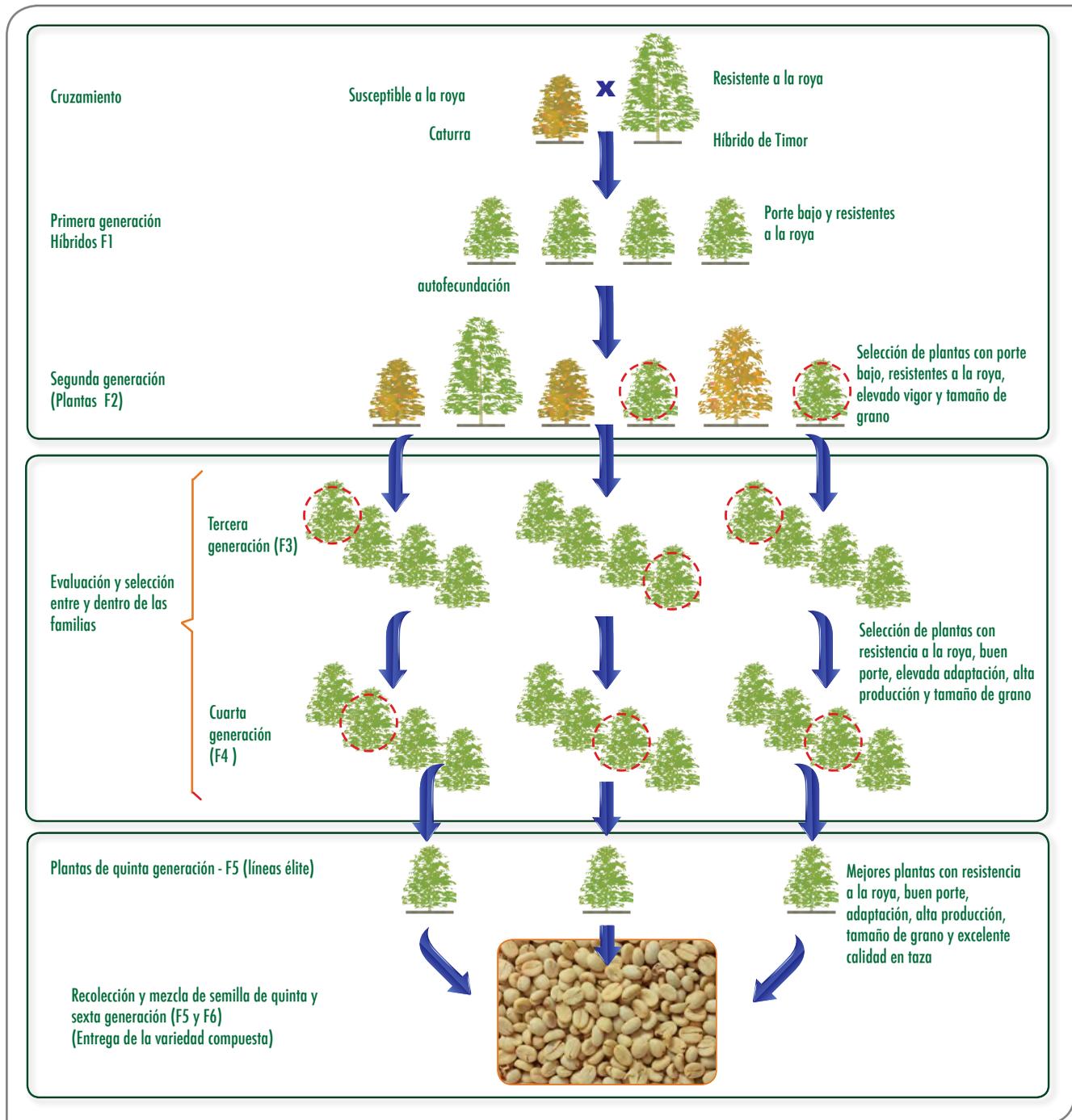


Figura 2.

Esquema de mejoramiento para la obtención de las variedades compuestas.

Las mejores líneas avanzadas (F4-F5) son finalmente evaluadas en diferentes ambientes (Ensayos regionales) y seleccionadas según su comportamiento. Las progenies con mejor comportamiento en un ambiente particular, servirán para la conformación de las variedades compuestas de uso regional. Por otra parte, aquellas líneas que muestran un buen comportamiento en todos

los ambientes harán parte de la variedad de adaptación general.

Una vez obtenida la variedad, se **multiplica y distribuye su semilla** a los caficultores, cuidando que ésta cumpla con las características de identidad, sanidad, pureza

y viabilidad. Cenicafé es el encargado de producir la semilla, controlar y avalar su calidad.

Relevancia de los estudios sobre el genoma del café

El **mejoramiento genético** de especies vegetales, y en particular del café, se ha hecho basado en características visibles o medibles (Fenotipo), por ejemplo, la resistencia a la roya, el tamaño del grano o la producción. Tales características dependen de la información contenida en el genoma de la especie. Es por ello que un mejor conocimiento del **genoma** puede hacer más eficiente el mejoramiento genético del cultivo, en la medida que permita la identificación de las regiones que contienen los genes que gobiernan tales caracteres.

El estudio del genoma se denomina **genómica** y su fin es la identificación, localización y caracterización de los genes que, en forma individual o en conjunto, son responsables por la expresión de las características de una especie u organismo. El análisis de la variabilidad de los diferentes genes y de los fenotipos resultantes, es la clave para conocer, no sólo la función de cada gen, sino dónde, cómo, cuándo y por qué se expresa.

Para conocer dónde están los genes se utiliza el **mapa genético**, que es una representación esquemática de los cromosomas de una especie. Está formado por un conjunto de marcas o señales que se distribuyen a lo largo del mapa, los cuales representan los **marcadores moleculares**. Éstos son secuencias de ADN, cuya información no varía con el ambiente, son específicos para cada individuo (Huella génica) y están presentes en cualquier etapa de su desarrollo, permitiendo su temprana detección. Cuando un marcador está asociado a un gen, se dice que dicho marcador está ligado al gen en cuestión. La asociación entre la información de campo (**Caracteres típicos**) y el mapa, hacen posible identificar los genes o las regiones cromosómicas involucradas en la expresión de los caracteres agronómicos de interés. La identificación de marcadores ligados a genes de interés es lo que permite la **selección asistida**. Ésta consiste en seleccionar plantas portadoras de un carácter de interés por la presencia o ausencia de un marcador ligado.

Colección Colombiana de Café

El **germoplasma** es la materia prima para el mejoramiento genético y contiene la diversidad con la que se pueden afrontar los retos presentes y futuros de un cultivo, con el desarrollo de variedades. El germoplasma de



una especie está constituido por todos los genotipos taxonómicamente cercanos, con los cuales pueden recombinarse genes por hibridación o cruzamiento. Su mantenimiento, evaluación y documentación son esenciales para su utilización. Por ser el café una especie africana, en Colombia toda la diversidad disponible para los programas de mejoramiento se encuentra en el **Banco de Germoplasma de Café de Cenicafé, conocido como la Colección Colombiana de Café (C.C.C.)**. Esta colección se mantiene en el campo, debido a que las especies del género *Coffea* poseen semillas recalcitrantes, que se caracterizan por presentar un corto período de viabilidad.

La C.C.C. se empezó a establecer en la década de 1940, y hoy tiene más de 3.000 entradas. Por su origen se divide en dos partes:

1. Las introducciones traídas a Colombia en diferentes épocas procedentes de países como Etiopía, El Congo, India, Brasil y Costa Rica.
2. Las selecciones realizadas a partir de las introducciones y en las poblaciones segregantes desarrolladas en Cenicafé. Taxonómicamente comprende introducciones y selecciones de *C. arabica*, algunas introducciones de *C. canephora* y de *C. liberica*, y unos cuantos representantes de otras 12 especies de este género. También hay híbridos interespecíficos introducidos o desarrollados en la Disciplina de Mejoramiento Genético.

El germoplasma colombiano de café se encuentra ubicado en varios lotes en los campos de la Estación Central Naranjal de Cenicafé, en Chinchiná (Caldas). Cada introducción (Especie, variedad u otro material del género *Coffea*) se encuentra representada por diez plantas. En

³ MONCADA B., M del P. 2001. Construcción de un mapa genético en café y su utilización para la detección de QTL. Proyecto de investigación MEG1400. Disciplina Mejoramiento Genético. Cenicafé.

la Colección se realizan las labores de mantenimiento que incluyen buenas prácticas agronómicas como fertilizaciones, control de arvenses, manejo fitosanitario con podas, control de broca, controles de roya en las introducciones susceptibles y de llaga macana durante el zoqueo en las accesiones de *C. arabica* diferentes a Borbón resistente a esta enfermedad. Periódicamente, se revisan las introducciones para definir su renovación, la cual se hace por estaca y, eventualmente, en *C. arabica* por semilla.

Inicialmente, el énfasis en las evaluaciones estuvo en el rendimiento, las características de grano (Castillo, 1975) y el contenido de cafeína y sólidos solubles (Castillo y Parra, 1973), más tarde, ante la amenaza de la llegada de la roya al país, además de los caracteres agronómicos, se evaluó el comportamiento de un buen número de introducciones y selecciones a las razas de roya que se mantenían en el Centro de Investigaciones de las Royas del Café en Portugal (CIFC) (Castillo *et al.*, 1976; Castillo y Moreno, 1982). Después de la llegada de la roya a Colombia, se inició la evaluación del germoplasma para resistencia incompleta (Alvarado y Castillo, 1996), y casi simultáneamente se empezaron las evaluaciones para resistencia a diferentes aislamientos de *Colletotrichum kahawae* (Moreno *et al.*, 1991; Moncada 2005), agente causal de la enfermedad de los frutos del café (CBD), y en la década de 1990 como consecuencia de la llegada de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) al país, se evaluó para resistencia a este insecto (Cortina, 2000; Romero y Cortina, 2004; Moncada, 1993⁴). También se han hecho evaluaciones para resistencia a llaga macana (*Ceratocystis fimbriata*).

En la actualidad se ha evaluado más del 90% de las entradas de la Colección, para productividad y características de grano (Tamaño de grano y frecuencias de frutos vanos y granos caracoles), gran parte de las selecciones han sido evaluadas para resistencia a roya, en el CIFC y en experimentos de campo, usando la escala de Eskes, la cual es una medida de resistencia a la roya. Además, se ha evaluado el comportamiento frente a la broca de la mayoría de las introducciones. Actualmente, se evalúa para calidad en taza y para resistencia a déficit y exceso hídrico, y se planean nuevas evaluaciones contra otras enfermedades y plagas, y para el uso eficiente de nitrógeno. También se han hecho caracterizaciones, inicialmente morfológicas como color de los frutos o de los brotes, altura, tipo de planta y ramificación, entre otras (Marín y Orozco, 1968). Se han usado marcadores moleculares RAPDs (Chaparro *et al.*, 2004), y microsatélites (Moncada, 2004). Se realizan análisis de la estructura poblacional y diversidad genética presentes en la Colección (López *et al.*, 2005), con el fin de construir una Colección Núcleo (*Core Collection*).

El germoplasma se ha utilizado de acuerdo con los objetivos del mejoramiento del café en Colombia. Al principio se hicieron cruzamientos de Típica X Borbón, buscando selecciones que combinaran un tamaño de grano grande con alta producción. En la década de 1960 se introdujo y evaluó la variedad Caturra, un mutante de Borbón de porte bajo, con el que se inició la caficultura intensiva en el país. A comienzos de 1970 y ante la inminencia de la llegada de la roya al país se cruzaron genotipos portadores de genes de resistencia a la roya, el más importante de los cuales es el Híbrido de Timor, un híbrido natural entre *C. arabica* y *C. canephora*, con varios genes de resistencia a la enfermedad. Para la liberación de variedades resistentes a la roya, y considerando la estrecha base genética de las variedades cultivadas en ese momento, sinónimo de vulnerabilidad, la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé escogió como estrategia la diversidad, y como resultado del cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor se obtuvo la variedad Colombia (Castillo y Moreno, 1986), y más tarde las variedades Tabi (Moreno, 2002) y Castillo®, lo mismo que sus compuestos regionales (Alvarado *et al.*, 2005).

Actualmente se tienen líneas avanzadas y poblaciones tempranas, derivadas de híbridos intraespecíficos de genotipos mejorados con introducciones Etiópicas, de Sudán y de India, e híbridos interespecíficos, derivados del cruzamiento de líneas mejoradas con introducciones de las especies *C. canephora* y *C. liberica*, buscando incorporar a las variedades mejoradas nuevos genes de resistencia a la roya (Cortina y Alvarado, 1997). Lo anterior resalta la importancia de la colección, cuyo valor es mayor si se considera el significado del café para el país, la erosión genética de esta especie en su centro de origen y las restricciones, cada vez mayores, para acceder a su germoplasma.

Historia del mejoramiento del café en Colombia

El mejoramiento genético del café en Colombia data del año 1938, cuando se creó el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Desde entonces, varios cambios ocurridos en la caficultura de Colombia guardan estrecha relación con el trabajo de mejoramiento genético.

Quizá los más importantes se pueden resumir a continuación:

⁴ MONCADA B., M del P. 1993. Búsqueda de fuentes de resistencia a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café. Proyecto de investigación MEG0800. Disciplina Mejoramiento Genético. Cenicafé.

Típica (1938-1960)	Borbón (1938-1960)	Caturra (1960-1983)	Colombia (1983 - 2003)
-----------------------	-----------------------	------------------------	---------------------------

Tabi (2002)	Variedad Castillo® (2005)	Castillo® Regionales (2005)
----------------	------------------------------	--------------------------------

Las primeras variedades (1938-1960)

La variedad Típica fue la más cultivada en América. En Colombia fue la única variedad hasta la década de 1960. Las selecciones de la variedad Típica se adelantaron entre 1941 y 1960, y dieron como resultado una serie de progenies muy vigorosas, excelentes características del grano y una producción de 379 @.ha-año⁻¹ de café pergamino seco (c.p.s). Durante al menos 20 años se recomendó a los caficultores el uso de la semilla de estas selecciones (Castillo, 1957).

En aquella época se creía que esta variedad poseía una amplia variación genética, a partir de la cual era factible realizar selecciones más productivas. Durante muchos años se recolectaron plantas sobresalientes en fincas de cafeteros y se evaluaron sus progenies. El estudio de nuevas progenies y la comparación de la variedad Típica con otras variedades demostraron su extremada uniformidad genética y su menor producción en cultivo intensivo.

Para esta época Johannsen (1909) había establecido la teoría de las líneas puras, donde se enunciaba que en las especies autógamas como el café, los individuos son homocigóticos (Líneas puras) y dentro de ellos la variación es ambiental y la selección no es exitosa. Debido a la escasa variación genética de la variedad Típica, se estudiaron otras variedades, lo que permitió la selección de algunas con producciones entre 19% y 27% más que Típica (Castillo, 1957).

Investigaciones realizadas en la década de 1950, sobre el cultivo a plena exposición solar y sobre las prácticas intensivas de poda y fertilización usadas en Hawaii, mostraron un efecto positivo de la energía solar sobre el café, con incrementos de la productividad. El programa de mejoramiento de Cenicafé aprovechó estos resultados y, desde 1955, los adoptó en la ejecución de sus experimentos. Esta técnica permitió la evaluación de variedades altamente productivas como Borbón y Mundo Novo, así como de variedades de porte bajo. Su utilización también permitió evaluar introducciones silvestres, semi-silvestres y genotipos desarrollados en Estaciones Experimentales de otros países.

Las selecciones realizadas con la **variedad Borbón** fueron las más productivas, con un rendimiento entre

20% y 30% más que la variedad Típica. En Colombia, se obtuvieron dos selecciones de interés: Un Borbón resistente a la llaga macana (R.M), que es la progenie de una planta resistente a *Ceratocystis fimbriata*, Ell. and Halst, y la selección Amarillo Chinchiná.

Las variedades de porte bajo (1960-1983)

El aporte más valioso de los ensayos bajo cultivo intensivo fue el descubrimiento de la productividad de la variedad Caturra. Esta variedad originaria del Brasil y cultivada allí desde principios del siglo XX, fue introducida a Colombia en 1952 y en la década de 1960 se difundió ampliamente entre los caficultores. Tiene una excelente adaptación especialmente a los climas con lluvias distribuidas durante los 12 meses del año, tal como sucede en la zona central de Colombia.

Investigaciones realizadas por Cenicafé entre los años 1960 y 1964, pusieron en evidencia su buena productividad. Se concluyó que las producciones eran bastante elevadas si se consideraba el tamaño de las plantas de Caturra, lo que permitió incrementar las densidades de siembra.

La mayor transformación de la caficultura colombiana ocurrió entre 1960 y 1970. Esta variedad permitió la adopción de las buenas prácticas agronómicas usadas en las modernas variedades mejoradas, que se traducen en altos rendimientos y mayores ingresos para los caficultores.

Las variedades resistentes a la roya (1983-2006)

El segundo cambio en importancia fue la obtención y la siembra de variedades resistentes a la roya del café (*Hemileia vastatrix*).

En la década de 1950, los fitopatólogos Wellman y Cowgill (1952), quienes trabajaban con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, advirtieron sobre la llegada de la roya a América, y distribuyeron en varios países, entre ellos Colombia, 72 introducciones de plántulas originarias de África (Etiopía, Kenia, Tanganika, Congo Belga y Camerún), India y Brasil. En 1959, Gerardo Quiceno, fitomejorador de Cenicafé, introdujo de Centroamérica tres variedades, y en 1961, el doctor Hernán Uribe trajo del Centro de Investigaciones de las Royas del Café en Portugal (CIFC) semillas de cinco introducciones, entre las que se encontraba el Híbrido de Timor. Las anteriores introducciones junto

con una de Borbón Salvadoreño y una de San Bernardo (Procedentes de Guatemala), conformaron las primeras 83 introducciones de la Colección Colombiana de Café. Estas introducciones fueron estudiadas en Cenicafé, en la década de 1960, por sus características agronómicas.

Con la llegada de la roya al Brasil en 1970, se diseñó un programa de mejoramiento para obtener una variedad de café con resistencia a la roya. Este programa se fundamentó en tres aspectos: a) Adoptar la diversidad genética como estrategia para el desarrollo de la nueva variedad; b) Elegir como fuente de resistencia un nuevo genotipo, el Híbrido de Timor, para ese entonces poco conocido; y c) Utilizar la variedad Caturra como variedad básica para los cruzamientos, con la finalidad de obtener una variedad de porte bajo, apta para el cultivo intensivo y aceptada por los caficultores.

El Híbrido de Timor está constituido por la descendencia de un cruzamiento espontáneo entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, encontrado en la isla de Timor, posiblemente hacia el año de 1917 (Bettencourt, 1973). Se trata de una población de *C. arabica*, autofértil y tetraploide, que comenzó a cultivarse en su lugar de origen, entre 1940 y 1949, para reemplazar las variedades locales de *C. arabica*, seriamente atacadas por la roya. El Híbrido de Timor posee genes de resistencia a la roya y a la enfermedad de la cereza del café, causada por el hongo *Colletotrichum kahawae*.

Posterior al cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor, y gracias a la colaboración del CIFC, se evaluaron varios híbridos, a partir de los cuales se seleccionaron poblaciones promisorias (Castillo y Moreno, 1982). El trabajo progresó notablemente en ausencia de la enfermedad en el país, lo que permitió el desarrollo de la primera variedad compuesta con resistencia a la roya del café, alta productividad y excelente calidad de la bebida que fue denominada **variedad Colombia**. Cabe resaltar, que muchos caficultores la sembraron antes de la llegada de esta enfermedad al país (Castillo y Moreno, 1988).

En 2002 se liberó la **variedad Tabi**, una variedad compuesta, resistente a la roya, proveniente de la selección de progenies de los cruzamientos entre el Híbrido de Timor y las variedades Típica y Borbón. De porte alto, resistente a la roya, buena productividad, excelente granulometría y calidad en taza

Tres años más tarde se liberó la **Variedad Castillo® y sus compuestos regionales: las Variedades Castillo® Naranjal, Castillo® El Rosario, Castillo® Paraguaicito, Castillo® La Trinidad, Castillo® Pueblo Bello, Castillo®**

Santa Bárbara y Castillo® El Tambo, los cuales también fueron obtenidos a partir de progenies derivadas del Caturra x Híbrido de Timor. Además de ampliar la base genética del Híbrido de Timor, se hizo una selección más rigurosa, enfatizando no solo en la resistencia a la roya sino también en el tamaño del grano, la productividad y la tolerancia al CBD, esta última con base en evaluaciones realizadas por el CIFC de Portugal.

Además de identificar la tolerancia de estas variedades, a la enfermedad de las cerezas del café, éstas tienen mayor productividad en ambientes específicos, gracias a la buena adaptación de algunos de sus componentes en las Variedades Regionales.

Logros del Mejoramiento Genético en Cenicafé

- **La obtención de variedades mejoradas:** El logro más importante ha sido la obtención de las variedades Colombia (1983–2005), Tabi (2002-) y Castillo® (2005-) y las variedades Castillo® regionales (2005-).
- **El mejor conocimiento sobre los recursos genéticos del café:** A través de numerosos experimentos ejecutados desde 1940, se ha reunido información sobre las principales características agronómicas y de calidad de algunas introducciones de la Colección Colombiana de Café (Germoplasma), especialmente de la especie *C. arabica* (Moreno *et al.*, 2000). Este conocimiento ha sido la base para los programas de hibridación y selección, que han originado las variedades mejoradas de café sembradas en el país.
- **La obtención de numerosos genotipos a partir de cruzamientos y selección** que constituyen la colección de trabajo para los proyectos de investigación, y se conservan en la Colección Colombiana de Café (CCC). En esta colección de trabajo se cuenta con selecciones muy productivas, con resistencia a varios aislamientos del CBD, diferentes genes de resistencia a la roya, baja postura de huevos (Oviposición) por la broca, resistencia a llaga macana y alto porcentaje de café supremo (Moreno *et al.*, 1983; Moreno *et al.*, 2000; Romero y Cortina, 2004).
- **La construcción del primer mapa genético de *C. arabica*** e identificación de marcadores moleculares ligados a caracteres de interés agronómico para selección asistida.
- **La identificación de genes promisorios para resistencia a la broca del café**, provenientes de semillas de leguminosas y de una bacteria.

Algunas de las **perspectivas más importantes del Mejoramiento Genético en el mediano y largo plazo** son:

- **Liberación de variedades que recombinen la resistencia a la roya y a la enfermedad de las cerezas del café (CBD).**
- **Liberación de variedades con genes de resistencia a la roya provenientes de *C. canephora* y accesiones Etiopes.**
- **Exploración del germoplasma de *C. arabica*, por calidad en taza, estrés hídrico y eficiencia en el uso de fertilizantes.**

Mejoramiento genético por resistencia a la roya del cafeto



En Colombia una de las mayores limitantes bióticas es la enfermedad de la roya del cafeto, la cual puede disminuir la producción hasta en un 23% en el acumulado de cuatro cosechas, en ausencia de control (Rivillas *et al.*, 2005). Aunque la aplicación de fungicidas puede ser efectiva cuando se aplica en el momento y de la manera adecuada, factores como las altas pendientes de la zona cafetera y las altas precipitaciones limitan su eficiencia y encarecen su utilización por parte de nuestros caficultores. Adicionalmente, y no menos importante, es el problema de contaminación ambiental derivado de la aplicación, a veces indiscriminada, de este tipo de sustancias químicas.

El uso de resistencia genética permite al caficultor obtener cosechas en presencia de la enfermedad, a menores costos y sin que la producción ni la calidad del producto se afecten de manera significativa. En ese contexto, **la adopción de variedades resistentes es la alternativa de control más efectiva, económica y ambientalmente segura** (Moreno, 2004).

Características de la enfermedad. La roya de la hoja del cafeto es causada por el hongo *Hemileia*

vastatrix específico del café, razón por la cual se clasifica dentro de los parásitos obligados. Este hongo apareció por primera vez en 1861 en la región centro-oriental de África, muy cerca de zona considerada como el centro de origen de la especie *Coffea arabica*. Pocos años después, y gracias a la expansión del cultivo del café arábigo, esta enfermedad causó epidemias devastadoras en plantaciones de Ceilán, India, Java y Filipinas (Wellman y Cowgill, 1953; Kushalappa y Eskes, 1989).

Desde el punto de vista epidemiológico, se sabe que el progreso de la enfermedad depende de la ocurrencia simultánea de cuatro factores principales: a) Una planta susceptible (Hospedante); b) Una raza de roya compatible (Agente causal); c) Un clima favorable; y d) Unas prácticas agronómicas deficientes (Rivillas *et al.*, 2005).

Mecanismos genéticos de la resistencia. Los estudios de herencia de la resistencia contra la roya del cafeto se remontan hacia principios de 1960, cuando los investigadores del Centro Internacional de las Royas del Café (CIFC, por sus siglas en portugués), mostraron que la interacción café-roya está mediada por la expresión de genes, tanto en la planta (Genes de resistencia) como en el patógeno (Genes de virulencia). Fue así como en la especie *C. arabica* se identificaron cuatro genes de resistencia denominados como S_H1 , S_H2 , S_H4 y S_H5 , presentes tanto en variedades comerciales como en formas de café semi-silvestres de Etiopía. En India se detectó el gen S_H3 en derivados del cruce entre *C. arabica* x *C. liberica*, mientras que en genotipos provenientes del Híbrido de Timor se han encontrado otros cinco genes denominados S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 y S_H10 , los cuales se estima provienen de la especie diploide *C. canephora*, considerada uno de los progenitores de este híbrido natural (Bettencourt y Rodrigues Jr, 1988).

Las combinaciones de los genes de resistencia S_Hi constituyen en las plantas los “grupos fisiológicos de resistencia”, y las de los genes de virulencia V_r , en el hongo, las “razas fisiológicas de virulencia” (Razas de roya). Hasta hoy han sido identificadas más de 40 razas de *H. vastatrix* (Rodrigues Jr *et al.*, 2000).

Fuentes de resistencia contra la roya

Desde el punto de vista del mejoramiento de la especie *C. arabica*, resulta mucho más fácil y eficiente la transferencia de aquellos genes de resistencia presentes en genotipos de la misma especie, razón por la cual inicialmente en los programas de mejoramiento se usaron los genes de las variedades de *C. arabica* (Dilla & Alge, Geisha y Agaro, entre otras) y posteriormente del Híbrido de Timor (Kushalappa y Eskes, 1989).

Por el número de genes de resistencia que posee y la facilidad con que éste se cruza con las demás variedades de *C. arabica*, el Híbrido de Timor es el progenitor más utilizado en la mayoría de los programas de mejoramiento alrededor del mundo (Bettencourt, 1983; Moreno, 2004). Este recurso genético corresponde a una población heterogénea de cafetos de porte alto, tetraploide y autofértil, inicialmente recolectada en una sola planta, dentro de una plantación de *C. arabica*, en la isla de Timor (Indonesia). Se cree que se formó por cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, el cual se estabilizó progresivamente hasta llegar a comportarse como una introducción más de *C. arabica* (Moreno, 1989; Bettencourt y Rodrigues Jr, 1988). Gracias a su relación ancestral con la especie *C. canephora*, el Híbrido de Timor muestra elevada resistencia a la roya, a la enfermedad de las cerezas del café y a los nematodos de la raíz del género *Meloidogyne*.

En el mundo se dispone de germoplasma del Híbrido de Timor proveniente de tres recolecciones de semilla realizadas en las plantaciones de Timor, que fueron enviadas al CIFC a partir de 1955 y, posteriormente, difundidas a otros centros de investigación ubicados principalmente en América. A Colombia fueron introducidas a partir de 1961 y actualmente se conservan en la Colección Colombiana de Café (Moreno y Castillo, 1979; Castillo y Moreno, 1988; Moreno, 1989).

Numerosos estudios realizados con el Híbrido de Timor muestran que esta población posee al menos cinco genes de resistencia, que actúan solos o en combinación, aumentando las posibilidades de resistencia contra las diferentes razas del hongo. En consecuencia, en las poblaciones derivadas de los cruzamientos dirigidos (Poblaciones segregantes), es posible seleccionar plantas que portan combinaciones al azar de los cinco genes de resistencia presentes en el Híbrido de Timor (S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 , S_H10). Con base en este número de genes, se estima que existen al menos 32 combinaciones genotípicas posibles, siendo las más frecuentes aquellas que involucran entre dos y tres genes (Figura 3).

La dinámica de la resistencia. La formación de razas es un fenómeno natural de los hongos fitopatógenos como *H. vastatrix*. Estos organismos disponen de una gama de mecanismos de variabilidad que les permiten producir formas genéticamente diferentes, que darán origen a nuevas razas (Riley, 1973; Van der Plank, 1968).

La pérdida o quiebra de la resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*), en genotipos libres de la enfermedad, ha sido un fenómeno repetidamente observado, inicialmente en Java y en India, a finales de los siglos XIX y principios del XX, cuando iniciaron la búsqueda de variedades con resistencia a la

enfermedad. Igual ha acontecido cuando las nuevas variedades poseedoras de resistencia a la roya del café se exponen a la enfermedad. Estos cambios de resistencia a susceptibilidad se deben a variaciones en la frecuencia de las razas de *H. vastatrix* presentes en las diferentes regiones productoras (Rodrigues Jr et al., 2000; Zambolin et al., 2005; Cristancho et al., 2007).

Desde 1990, en plantaciones comerciales sembradas con la variedad Colombia, y en poblaciones experimentales del mismo origen se han observado incrementos en la frecuencia de plantas susceptibles a la roya (Alvarado y Castillo, 1996). Para conocer la evolución del patógeno en la variedad Colombia, se realizaron muestreos en plantaciones de los agricultores en los departamentos y municipios productores con mayor adopción de la variedad. El estudio indicó que había un aumento progresivo de plantas susceptibles especialmente en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Antioquia, pioneros en su adopción (Alvarado, 2004; Alvarado y Moreno, 2005). Recientemente, este mismo fenómeno ha sido constatado al evaluar la evolución progresiva de la susceptibilidad en materiales plantas derivadas del Híbrido de Timor, que hasta hace poco tiempo permanecían resistentes a la enfermedad (Cristancho et al., 2007).

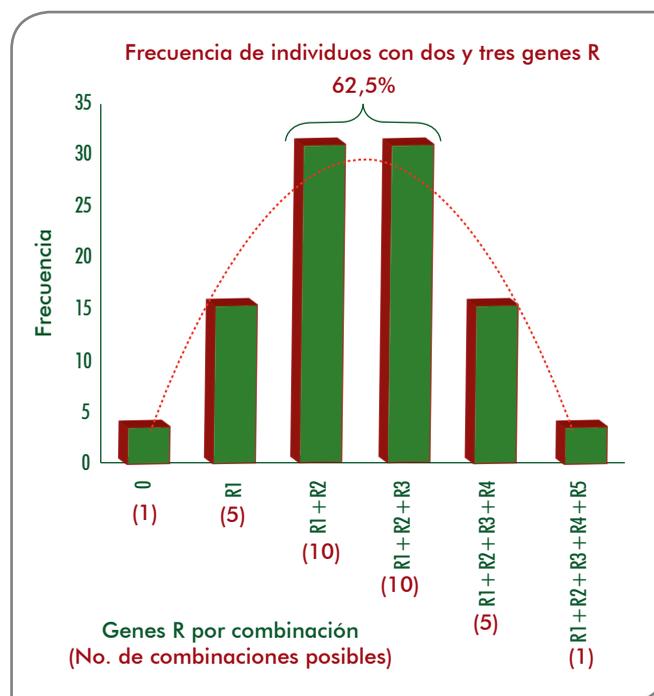


Figura 3.

Patrón de recombinación de cinco genes de resistencia (R1 a R5), en una población de 100 individuos.

Mejoramiento genético por resistencia a la roya en Colombia

La diversidad como una estrategia de protección genética. En el desarrollo de variedades con resistencia a la roya del cafeto, Cenicafé adoptó la diversidad genética como la vía más indicada para asegurar estabilidad y duración de la resistencia a la enfermedad. La estrategia se fundamenta en la “teoría unificada de la protección genética de los cultivos contra las enfermedades” propuesta por Browning (1974). Según esta teoría, en las poblaciones naturales se da un “equilibrio armónico” que mantiene estables las poblaciones tanto de hospedantes como de patógenos, evitando la aparición de epidemias severas. Dicho equilibrio natural se alcanza gracias a la acción de numerosos mecanismos de protección, entre los cuales están la resistencia, la inmunidad, la tolerancia y la homeostasis, entre otros.

Castillo y Moreno, buscando reproducir dicha condición de equilibrio, desarrollaron la variedad Colombia, de tipo compuesto, que involucra una mezcla de diferentes líneas

portadoras de combinaciones genéticas variadas contra la roya (Castillo y Moreno, 1988; Moreno, 2004), cuya diversidad favorece una mínima presión de selección del hospedante hacia el hongo.

En la Figura 4 se ilustra la **forma como trabaja la variabilidad genética frente al ataque de la roya**. Mientras en una variedad monolínea todas las plantas son genéticamente iguales, lo cual se representa con la presencia de un solo gen de resistencia (R1), en una variedad compuesta, las líneas que la componen difieren entre sí respecto a la resistencia, lo cual se ilustra mediante seis genes diferentes (R1 a R6). En condiciones favorables para un ataque de roya, en este caso una cepa compatible con el gen R1, la monolínea sucumbirá rápidamente a la enfermedad debido a su uniformidad genética, mientras que la variedad compuesta limitará el ataque del hongo, gracias a la diversidad entre las plantas vecinas (Figura 4).

Cuando ocurre una infección de roya en una población diversa en sus combinaciones de genes de resistencia, lo que se espera es que una gran proporción de las esporas

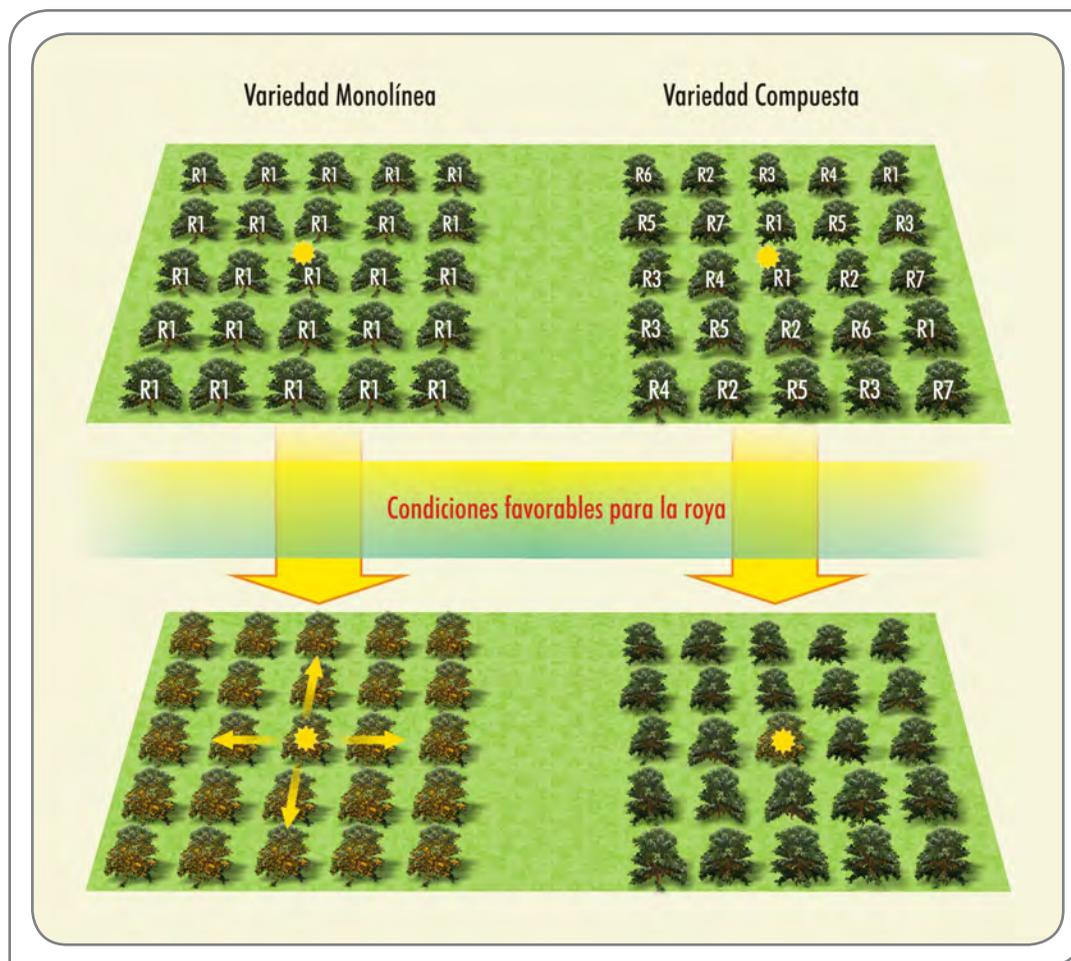


Figura 4.

Esquema de la forma como actúa la variabilidad genética de la resistencia frente al ataque de la roya en una variedad compuesta respecto a una variedad monolínea.

del hongo se pierda, ya que las plantas vecinas a la planta atacada, siempre tendrán una o varias combinaciones incompatibles de resistencia. Así, **entre mayor número de genotipos de resistencia haya en la mezcla en el campo, más lenta será la dispersión de la enfermedad en el cultivo.**

Desarrollo de variedades. El esquema de mejoramiento por resistencia a la roya que ha sido usado por Cenicafé, parte de un cruzamiento entre una variedad de amplia aceptación y adaptación, como la variedad Caturra, con excelentes características agronómicas, de reconocida calidad de su bebida, pero susceptible a la enfermedad, con una variedad altamente resistente al ataque de la roya, el Híbrido de Timor, que actúa como progenitor donante de la resistencia.

Todas las variedades compuestas obtenidas hasta hoy se distinguen por ser dinámicas, lo que significa que es posible retirar o adicionar componentes según su comportamiento frente a la roya y otros caracteres. Valiéndose de esta estrategia, Cenicafé ha generado numerosas progenies que han sido incorporadas progresivamente a la variedad, y que han permitido mejorar otras características como el tamaño del grano y la productividad.

La primera variedad obtenida fue la **variedad Colombia** (Castillo y Moreno, 1988), la cual fue entregada en 1980, tres años antes de la llegada de la roya al país, y desde 1982 se incrementó gradualmente la oferta de su semilla a los caficultores. Su composición inicial consistió en la mezcla de 50 componentes de generaciones F5 y F6, poseedores de excelentes características agronómicas, de ellas 23 de fruto rojo y 27 de fruto amarillo, las cuales fueron seleccionadas a partir de cuatro experimentos, en los cuales se evaluó la progenie F5 de 138 progenitores de generación F4. A partir de 1990, y para atender la solicitud de los caficultores de mejorar el tamaño del grano, se reemplazaron algunas de las progenies. El impacto de este ajuste a su composición fue reconocido por los caficultores, quienes le dieron la denominación de "variedad supremo". Modificaciones posteriores se realizaron para actualizar su composición frente a la roya del café.

También se han obtenido líneas mejoradas de porte alto resultantes de cruzamientos entre las variedades Típica y Borbón con el Híbrido de Timor. Estas líneas conforman la **variedad Tabi**, que es una variedad compuesta recomendada para regiones donde se siembran variedades de porte alto, las cuales representan cerca del 30% de la superficie cultivada (Moreno, 2002). Siguiendo el mismo esquema, Cenicafé

liberó en 2005 la **Variedad Castillo®** con adaptación general y siete **variedades regionales** (Figura 5) con adaptación específica (Alvarado et al., 2005), de porte bajo, resistencia durable a la roya del café y tolerancia al CBD. El excelente comportamiento en ambientes específicos de algunas progenies de Caturra x Híbrido de Timor, de generaciones avanzadas, que son parte de la Variedad Castillo®, permitieron su selección para conformar variedades regionales derivadas, con mayor productividad, brindando a los productores beneficios adicionales en las áreas de cultivo.

Consideraciones prácticas

La productividad mayor esperada con las variedades Castillo® de uso regional varía entre 9,1% en la zona representativa de la Estación Experimental La Trinidad localizada en el municipio del Líbano (Tolima), y 17,9% en la Estación Santa Bárbara en Sasaima (Cundinamarca), con respecto a la Variedad Castillo® general.

Avances y perspectivas del mejoramiento por resistencia a la roya

Si bien las variedades obtenidas han mostrado una resistencia de más de 30 años, como se dijo anteriormente, la roya es un patógeno en constante evolución, que en el transcurso del tiempo genera nuevas razas, algunas de las cuales son compatibles con los componentes de las variedades comerciales, que utilicen como fuente de resistencia al Híbrido de Timor. Por esta razón, **la Disciplina de Mejoramiento Genético trabaja en el desarrollo de poblaciones que posean nuevos genes de resistencia contra la enfermedad, las cuales servirán de base para la obtención de variedades resistentes.**

En la actualidad se están evaluando generaciones F3 y F4, derivadas de cruces entre líneas élite de Castillo® y selecciones de cafés arábigos silvestres. Otros cruzamientos de interés involucran genes nuevos, derivados tanto de la especie *C. canephora* (Poblaciones derivadas de híbridos por vía de los triploides) como de la especie *C. liberica*. En este último caso se están usando métodos moleculares para introgresar de manera rápida y más eficiente el gen S_H3 , el cual no ha sido utilizado en Colombia (Gonzales et al., 2010). Con esto se espera crear una barrera genética más eficaz contra la roya.



Figura 5.

Etiquetas distintivas de las siete variedades Castillo® regionales, con adaptación específica a diferentes zonas de la región cafetera, liberadas por Cenicafé en 2005.

A más largo plazo se realizan trabajos que buscan implementar nuevos métodos de selección asistida, como los basados en marcadores moleculares ligados a genes de resistencia a roya, que permitan piramidizar la resistencia, esto es, acumular los genes en diferentes líneas, haciendo que sea más difícil para el patógeno romper la resistencia (Herrera et al., 2009; Romero et al., 2010, 2013).

Mejoramiento genético por resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD)

La enfermedad de los frutos del café es una antracnosis de las cerezas verdes y maduras, causada por el hongo

Colletotrichum kahawae (Noack), detectada en 1922 en el monte Elgon en Kenia, sobre una plantación de *Coffea eugenioides* (Bail y Jeger, 1992; Van Der Vossen 1985).

El ataque sobre frutos verdes empieza por pequeñas manchas necróticas y oscuras, ligeramente hundidas sobre la superficie del fruto y ubicadas en cualquier sector del mismo. En su interior los granos se tornan negros, de aspecto reseco y se endurecen, y son totalmente destruidos por el patógeno. El pedicelo del fruto también es afectado. Sobre las lesiones se desarrollan pequeños puntos oscuros que son los cuerpos fructíferos del hongo (Acérvulos), pero si prevalecen condiciones ambientales de elevada humedad atmosférica aparecen unas estructuras gelatinosas y rosadas formadas por el conjunto de esporas (Mulinge, 1970; Vermeulen 1979). Los frutos afectados caen con facilidad (Figura 6).

Al considerar la susceptibilidad a la enfermedad en relación con la secuencia natural de los estados de floración y de desarrollo de los frutos, Vermeulen (1979), encontró que los botones florales son susceptibles a la enfermedad y los frutos son muy susceptibles durante la expansión y formación del endospermo (Estado de cereza blanda) y cereza madura (Bail and Jeger, 1992). Sin embargo, en esta última fase los daños no son importantes. Las pérdidas económicas causadas por la enfermedad ocurren durante la fase de expansión del fruto, por lo que el control debe realizarse durante las primeras 22 semanas después de la floración (Muller, 1982).

Descripción de la enfermedad

Las enfermedades más limitantes en la producción de café en el mundo son la roya y la enfermedad de los frutos, esta última conocida como CBD, por sus siglas en inglés “*Coffee Berry Disease*”. Estas enfermedades ocasionan en los países africanos reducciones de la producción de café entre el 20% y 80% (Van Der Vossen, 1985).

Las pérdidas ocasionadas por el CBD han sido variables. En Etiopía, desde su aparición en 1971, las pérdidas se estiman en 18%, pero en algunas áreas han sido superiores al 50% (Meoaku, 1982). En Kenia las pérdidas causadas por CBD se han incrementado a través del tiempo, y se estima que superan el 30% (Masaba et al., 1982). En Uganda son de 35,4% en la región Oeste y del 50% en el Este (Matovo citado por Birikunzira, 1982). Las pérdidas de cosecha en Tanzania varían entre 31% y 68% (Bujulu y Kibani, 1982).

Los años favorables para la enfermedad son aquellos con período de lluvias prolongado y tiempo frío, en los cuales se producen epidemias severas con mermas en

la producción del 50% al 80% (Van der Vossen, 1985). La enfermedad afecta las plantaciones ubicadas por encima de los 1.500 metros de altitud; Van der Vossen (1985), indica que las condiciones climáticas de algunas zonas productivas de café en Latinoamérica son comparables a las condiciones de las regiones cafeteras del oriente del África donde la infección por el CBD es generalmente muy severa.

El CBD se encuentra diseminado por los países productores del África y aún no está presente en América. Sin embargo, debido a las pérdidas que ocasiona, Cenicafe ha desarrollado un programa de selección por resistencia a CBD, en dos fases. La primera mediante preselección en el laboratorio en Portugal (CIFC). La segunda fase mediante el cruzamiento entre fuentes de resistencia, para seleccionar progenies con

Consideraciones prácticas

El control químico del CBD es técnicamente posible en los países africanos. Sin embargo, la topografía irregular con pendientes severas, los altos costos de los fungicidas, los equipos de aspersión y la mano de obra, que son del orden del 30% al 35% de los costos de producción, hacen que esta práctica sea difícil, costosa y poco eficiente (Masaba et al., 1982). Por tal motivo, la producción de variedades resistentes a esta enfermedad constituye la mejor opción en un programa de protección.



Figura 6.

Enfermedad de los frutos del café causada por *Colletotrichum kahawae*.

características agronómicas sobresalientes, pero que requieren comprobación de la resistencia a CBD.

Fuentes de resistencia a CBD

Evaluaciones de campo y laboratorio, realizadas en diferentes países del África, coinciden en señalar a las introducciones Rume Sudan e Híbrido de Timor, como las fuentes con más alta resistencia a CBD (Van Der Vossen y Walyaro, 1980; Van Der Graff, 1981). Otros estudios sobre introducciones de *C. arabica* recolectadas en Etiopía (Guillaumet y Halle, 1978), muestran que la introducción AR.56 es resistente a los aislamientos de Camerún y Zimbabwe (Charrier, 1978).

Estado del mejoramiento para resistencia a CBD en Cenicafé

A partir de la década de 1970, la Disciplina de Mejoramiento Genético inició la evaluación de germoplasma, con miras a la selección de fuentes de resistencia. Ante la imposibilidad de adelantar las pruebas de inoculación en Colombia, se realizó un convenio con *Coffea Research Foundation* (C.R.F.) de Kenia. Los resultados mostraron que los genotipos de mayor interés corresponden al Híbrido de Timor y sus derivados por el cruzamiento con la Variedad Caturra (Castillo, 1978). Ocho de las progenies F4 de Caturra x Híbrido de Timor (C x H. de T.) mostraron una proporción muy baja de plantas susceptibles, y fueron la base para el desarrollo de la variedad Ruirú-II, liberada en Kenia, por su resistencia a CBD y a la roya (Omondi, 1994). Otras introducciones evaluadas, como las variedades K-7 y Jackson 2, presentaron reacciones de mediana resistencia y mediana susceptibilidad, respectivamente.

A partir de 1989 el CIFC, mediante el convenio de cooperación con Cenicafé, ha evaluado genotipos mejorados desarrollados por la Disciplina Mejoramiento Genético, utilizando los cuatro aislamientos del hongo más agresivos.

Los trabajos del CIFC sugieren la existencia de interacción entre aislamientos del patógeno y genotipos del hospedante, lo que indica resistencia específica (Rodrigues, 1990; Rodrigues *et al.*, 1992). Además, confirman la existencia de variación en la resistencia en los derivados de Caturra x Híbrido de Timor. Los resultados muestran que las introducciones Sudan Rumé I.961 e I.969, así como una mezcla de ellas, resultaron susceptibles a los aislamientos con que se inocularon. Los genotipos que muestran resistencia tienen como progenitor el Híbrido de Timor 1343. Muy pocos de los genotipos probados mostraron resistencia al aislamiento de Camerún, lo que indica su agresividad, entre ellos está la progenie

F5, CX1399, derivada de Caturra x Híbrido de Timor, que ha presentado resistencia a todos los aislamientos de CBD.

Las introducciones de la colección de Orstom, evaluadas por Charrier (1978), reportadas como resistentes a CBD, con excepción de la AR.56, resistente a los aislamientos de Camerún y Zimbabwe, fueron susceptibles a los aislamientos probados. La variedad K7, moderadamente resistente en Kenia (Van Der Vossen y Walyaro, 1981), mostró susceptibilidad a todos los aislamientos.

Del germoplasma probado hasta el momento, el Híbrido de Timor y el AR.56 son las únicas introducciones que han mostrado consistencia como fuente de resistencia a CBD. Actualmente, se cuenta con la Variedad Castillo® en la cual el 60% de sus componentes tienen resistencia a por lo menos uno de los aislamientos conocidos del hongo. También se dispone de ocho poblaciones F2, derivadas de cruzamientos entre la línea DG1399 de Castillo y AR56, que están siendo evaluadas en el campo por sus características agronómicas, y en Portugal por la resistencia al CBD. También se dispone de 4 y 25 progenies F4 y F5, respectivamente, de Caturra x Híbrido de Timor con buenas características agronómicas y resistencia al CBD, las cuales se llevarán a evaluaciones regionales.

Finalmente y con el propósito de implementar la selección asistida para este carácter, se han identificado tres marcadores moleculares ligados a la resistencia al CBD, los cuales serán validados en otras poblaciones (Guzmán y Moncada, 2011). Igualmente se han identificado proteínas involucradas en la resistencia al hongo, que servirían para el desarrollo de nuevos marcadores moleculares (Bolívar *et al.*, 2011).

Mejoramiento genético por resistencia a la broca del café



La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Le Pelley, 1968), es el insecto que causa las mayores pérdidas económicas al cultivo de café en el mundo (Bustillo, 2008). En Colombia se registró por primera vez en 1988, en el departamento de Nariño. Las condiciones favorables de clima y la continuidad de la zona cafetera facilitaron su rápida dispersión, debido a que le aseguraron un suministro permanente de alimento a esta plaga, que es un parásito obligado del café y que solo se alimenta del fruto (Bustillo, 2008).

Importancia económica

La broca del café es una plaga que causa diferentes tipos de pérdidas al cultivo del café:

- Caída de frutos inmaduros: Los frutos de café de menos de 90 días caen fácilmente si son atacados por *H. hampei*.
- Pérdidas en el peso de la almendra: Cuando la infestación es alta, son mayores las cantidades de café cereza maduro para conseguir 1,0 kg de café pergamino.
- Deterioro de la calidad, un grano brocado es defectuoso y causa disminución de la calidad organoléptica, es así como cuando una muestra de granos tiene 25% de perforaciones, y ha perdido hasta 30% de su peso, se produce un marcado deterioro en el sabor del café (Puerta, 2000).
- Se estima que en Colombia, el control de la broca equivale a un 7,0% del total de los costos de producción por arroba de café pergamino seco (Duque, 1994).

Estrategia de mejoramiento genético

Actualmente no existen variedades resistentes a la broca del café *H. hampei*. Para el desarrollo de éstas se tienen dos estrategias: **La hibridación y la ingeniería genética**.

En **la hibridación**, se necesita identificar en el germoplasma de café (En plantas de la misma especie o especies genéticamente relacionadas) las fuentes de resistencia. Debido a que estas plantas tienen otros defectos agronómicos o baja producción, no son utilizadas en siembras comerciales, por lo que se emplean como progenitores en cruzamientos con variedades de buenas características agronómicas y adaptadas a la zona. Posteriormente, durante varias generaciones, se realiza selección y evaluación para resistencia a broca y otras características de interés, con el fin de obtener variedades resistentes, que cumplan con las exigencias de productividad y calidad.

En la segunda estrategia, **la ingeniería genética**, es necesario identificar la proteína insecticida utilizando pruebas *in vitro*, en las cuales en tubos de ensayo se incuban extractos de plantas (Fuente de proteínas) con extractos del insecto, y se determina cuáles son los más efectivos para su control (Molina *et al.*, 2011). Posteriormente, estas proteínas se evalúan en pruebas *in vivo* (Bioensayos) en dietas artificiales donde las larvas del insecto se alimentan con las proteínas insecticidas y se evalúa la mortalidad. Como cada proteína es determinada por un único gen, se aísla el gen que codifica la proteína insecticida más efectiva, que puede provenir de una especie genéticamente diferente de la especie blanco (En este caso, café), estos genes denominados heterólogos se incorporan por transformación genética a variedades comerciales, las cuales al igual que en hibridación poseen buenas características agronómicas.

Durante el proceso se evalúa la presencia, estabilidad y expresión del gen utilizando pruebas bioquímicas, enzimáticas y moleculares. También, se analizan las características agronómicas y de calidad de las plantas transformadas, y su inocuidad sobre los seres vivos y el ambiente (Resolución ICA 2492 de 2010), esto garantizará que sean similares a las variedades cultivadas y que el gen de resistencia incorporado no afecte ninguna de sus características.

Consideraciones prácticas

En Colombia, para un control eficiente de la broca se ha establecido un manejo integrado que incluye recolección de frutos, aplicación de insecticidas y el empleo del hongo *Beauveria bassiana* (Bustillo *et al.*, 1998); sin embargo, el control de *H. hampei* en áreas con temperatura media superior a 21°C depende principalmente del uso de insecticidas. Esto justifica otras estrategias de control como el desarrollo de variedades resistentes.

Fuentes de resistencia a la broca

Para la obtención de plantas de café resistentes a la broca mediante hibridación, desde el año 1993, se inició la evaluación de la Colección Colombiana de Café de Cenicafé⁵. Se identificaron introducciones Etiópicas y de *C. liberica* con menor oviposición y menor número de individuos por grano comparados con Caturra (Figura 7) (Romero y Cortina, 2004, 2004a, 2007), las cuales se están utilizando como progenitores en programas de hibridación con variedades comerciales. Actualmente, se evalúan poblaciones F2.

Para la obtención de plantas transgénicas de café resistentes a la broca se identificaron y evaluaron *in vitro* e *in vivo* proteínas insecticidas como quitinasas y quitobiosidasas (Góngora, 1999), inhibidores de alfa amilasas (Valencia *et al.*, 2000; Góngora y Acuña, 2008) e inhibidores de aspártico proteasas (Molina *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2011). Posteriormente, los genes que

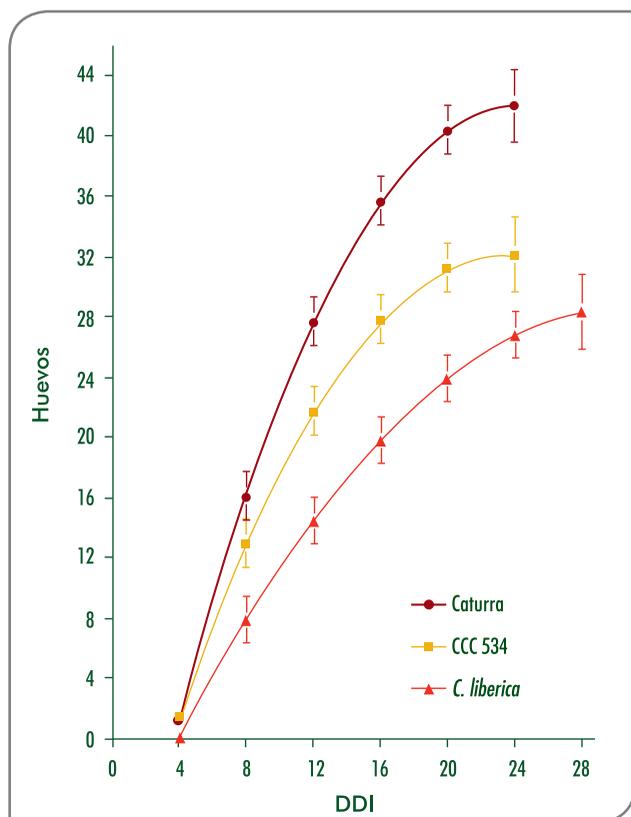


Figura 7.

Oviposición acumulada de hembras de *H. hampei* criadas en Variedad Caturra y en dos introducciones. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza para la media (P=95%).

codifican estas proteínas insecticidas se incorporaron a las plantas de café, con la finalidad de que sean resistentes a la broca. En la actualidad, las plantas transformadas se están evaluando para determinar la presencia, estabilidad y expresión de los genes heterólogos, debido a que es posible que el gen esté presente en la planta pero no sea funcional (Que no se exprese). Una vez estas plantas produzcan granos se evaluará su efecto sobre la broca del café y sus características agronómicas y de calidad. Se espera que éstas sean similares a las variedades comerciales, al igual que su inocuidad sobre los seres vivos y el ambiente.

Variedades producidas en Cenicafé

A continuación se describen las características de las variedades mejoradas que han sido producidas por Cenicafé, y que son la base de la caficultura actual. Su uso ha permitido que los Caficultores Colombianos puedan afrontar oportunamente y de manera amigable con el ambiente, la principal enfermedad del café como lo es la roya del cafeto.

Variedad Colombia



Es la primera variedad compuesta liberada por Cenicafé. Se obtuvo a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor, y se entregó a los caficultores en 1980, 3 años antes de la llegada de la roya al país (Castillo y Moreno, 1987).

- **Características.** Brotes de color verde y bronce. Los componentes iniciales de esta variedad tenían frutos de color amarillo y rojo. Posteriormente, se retiraron los componentes amarillos.
- **Producción.** Las progenies iniciales de la var. Colombia se seleccionaron por producción y morfología

⁵MONCADA B., M del P. 1993. Búsqueda de fuentes de resistencia a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café. Proyecto de investigación MEG0800. Disciplina mejoramiento genético. Cenicafé.

similares a Caturra. Posteriormente, se seleccionó por productividad superior a Caturra con control de roya, alcanzando ganancias del 15%. Desde 1982 a 2002, esta variedad produjo un promedio de c.p.s. de 451,2 @.ha-año⁻¹ en los campos productores de semilla.

- **Características del grano.** Los primeros componentes tuvieron un porcentaje de café supremo de 52,8%, con valores mínimos y máximos de 38,3% y 75,1%, respectivamente. Posteriormente, como resultado de la selección y debido a la sustitución por nuevos componentes, el promedio de café supremo alcanzó el 83,0%, con un rango entre 70,0% y 92,0%, valor superior al de la variedad Típica (75,0%).

Como resultado de la sustitución de progenies, la proporción de grano caracol se redujo de 11,2% a 7,0%, mientras que el porcentaje de café supremo se incrementó de 52,8% a 83,0%.

- **Calidad de la bebida.** En los años 1980 y 1982, los progenitores de los primeros componentes de la variedad Colombia fueron evaluados por paneles de catación de la Oficina de Calidades y de Buencafé Liofilizado de Colombia en Chinchiná y por la casa Hans Newman de Alemania. Los resultados mostraron que no existían diferencias entre la calidad de la bebida de las progenies de la variedad Colombia y las variedades de la especie arábica, reconocidas en el mundo por su buena calidad (Castillo y Moreno, 1987).

En 1994, nuevas progenies F5 y F6 fueron evaluadas por calidad en taza, por paneles de catación de Colombia, Canadá, Estados Unidos e Inglaterra. Los análisis mostraron que la variedad Colombia y Típica, corresponden a cafés suaves con buen cuerpo y acidez aceptable. La variedad Caturra mostró alta acidez (Acidez cítrica), mientras que la variedad Borbón fue calificada como de taza limpia. La taza de las muestras analizadas de las cuatro variedades correspondió a cafés suaves (Moreno et al., 1997).

- **Resistencia a enfermedades.** Progenies F3 con resistencia a la roya del café que dieron origen a la variedad Colombia, fueron evaluadas en Kenia y presentaron resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD). Estas progenies fueron utilizadas por Kenia como uno de los progenitores de la variedad Ruiru II, con resistencia a Roya y CBD (Walyaro et al., 1982; Opilé, 1993).

La variedad Colombia cambió en su composición con el propósito de mantener su resistencia a roya, mejorar su tamaño de grano y su productividad (Alvarado, 2002) (Tabla 2). En el 2005, se encontraban sembradas 255.000 hectáreas que representaban el 28% del área nacional cultivada.

La adopción por parte de los caficultores de la primera variedad resistente a la roya fue determinante para la reducción de costos de producción y, por ende, para la competitividad del café de Colombia, debido al ahorro que representó no usar fungicidas para controlar esta enfermedad (Farfán, 1998). La semilla de esta variedad se distribuyó por la Federación Nacional de Cafeteros a los caficultores hasta el año 2005, cuando fue reemplazada por la Variedad Castillo®.

Variedad Castillo®



Es una variedad compuesta, con 29 progenies, resistente a la roya, desarrollada a partir del cruzamiento de Caturra por el Híbrido de Timor. Posee diversidad genética para resistencia a la roya, que se traduce en estabilidad de la misma. Permite su siembra tanto en zonas donde la roya del café reduce la producción, como en aquellas donde la enfermedad no tiene mayor incidencia. En estas regiones los productores se benefician por la mayor producción, el mayor tamaño del grano y de la tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café, en caso de su llegada al país (Alvarado et al., 2005a).

- **Crecimiento** Las progenies se seleccionaron por tener a los 41 meses de siembra, una altura media de planta de 2,2 m. Frutos rojos y brotes de color verde y bronce.
- **Producción.** Producción media de 578 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.
- **Características del grano.** Frutos vanos menores o igual al 6%, proporción de grano caracol menor o igual a 11%, y café supremo mayor a 80%.
- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Caturra y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.
- **Resistencia a enfermedades.** Tiene tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD) causada

Características Agronómicas	1980	2002
Producción (@.ha-año ⁻¹ de c.p.s.)	460	631
Rango	426 - 546	508 - 702
Producción var. Caturra	470	550
Producción relativa (%)	102	115
Grano vano %	4,4	4,0
Rango	2,3 - 6,2	2,0 - 6,0
Grano caracol %	11,2	7,0
Rango	7,3 - 14,8	3,0 - 10,0
Café supremo (>17/64)	52,8	83,0
Rango	38,3 - 75,1	70,0 - 92,0
No. de constituyentes	23 frutos rojo 27 frutos amarillo	41 frutos rojo
No. de componentes con producción mayor que Caturra	0 (0,0%)	11 (26,8)
No. de componentes con resistencia incompleta a la roya	31 (70%)	35 (85,4%)
No. de componentes con probable tolerancia al CBD	?	22 (53,7%)
Calidad en taza	No existen diferencias entre la calidad de la bebida de las progenies componentes de la var. Colombia y las demás variedades de <i>C. arabica</i> . Éstos forman grupos homogéneos. Las diferencias entre acidez, cuerpo y aroma son indistinguibles.	Páneles nacionales e internacionales no hallaron diferencias en la calidad en taza entre componentes de var. Colombia y las var. Típica, Borbón y Caturra, calificadas como excelentes. Los análisis uni y multivariado, indican que conforman grupos homogéneos con las variedades tradicionales de <i>C. arabica</i> . En las características físicas, especialmente tamaño del grano, la variedad Colombia es superior a la var. Típica, considerada como una de las mejores.

Tabla 2.

Composición inicial y final de la variedad Colombia. Principales atributos (Avance Técnico Cenicafé No. 304).

por *Colletotrichum kahawae*. El 60% de sus progenies muestran resistencia a por lo menos uno de los cuatro aislamientos de CBD utilizados en las pruebas en el CIFC.

Variedades Castillo® Regionales

Las evaluaciones regionales de los componentes de la Variedad Castillo® general permitieron la selección de las progenies más productivas en cada sitio, las cuales conformaron las variedades regionales, para ser usadas en las áreas de influencia de los sitios de selección. Las variedades regionales derivadas de la Variedad Castillo® son:

Consideraciones prácticas

La Variedad Castillo® es apta para todos los ambientes donde se desarrolla la caficultura en Colombia, no requiere aplicaciones de fungicidas contra la roya y permite la implementación de una caficultura sostenible y de calidad (Alvarado et al., 2005).



Variedad Castillo® Naranjal. Está compuesta por 11 progenies seleccionadas en la Estación Central Naranjal, localizada en el municipio de Chinchiná (Caldas) y en el Ecotopo Cafetero 206A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 3).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Naranjal, en relación a la variedad Colombia, es 114,1%. En cuanto a las características de grano esta variedad se compone de 5,0% de vanos, 6,3% de caracol y 82,5% de supremo. En promedio su productividad es de 726 @.ha-año⁻¹ de c.p.s. (Tabla 3).

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Naranjal se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 338 (Alvarado *et al.*, 2005b).



Variedad Castillo® Paraguaicito. Está compuesta por diez progenies seleccionadas en la Estación Experimental Paraguaicito de Cenicafé, localizada en el municipio de Buenavista (Quindío), en el Ecotopo Cafetero 211A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 4).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-106B	Caldas	Supía, Riosucio
	Risaralda	Quinchía, Guática
E-107B	Caldas	Anserma, Risaralda
	Risaralda	Belén de Umbría, Apía
E-108B	Risaralda	Santuario, La Celia
	Valle	El Águila, Ansermanuevo
E-205A	Caldas	Manizales, Neira, Filadelfia
E-206A	Caldas	Palestina, Chinchiná, (Naranjal ●)
	Risaralda	Marsella
E-207A	Caldas	Villamaría
	Risaralda	Sta. Rosa de Cabal, Dosquebrada
E-208A	Quindío	Calarcá, Armenia, Salento
E-209A	Risaralda	Pereira
	Valle	Alcalá, Ulloa

Tabla 3.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Naranjal (Avance Técnico Cenicafé No. 338).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-210A	Quindío	Quimbaya, Montenegro, Armenia, Circasia, Filadelfia, La Tebaida
E-211A	Quindío	Calarcá, Córdoba, Pijao, Génova, Buenavista (Paraguaicito ●)
E-212A	Valle del Cauca	Cartago, Obando, La Victoria, Zarzal
E-212A	Valle del Cauca	Sevilla, Caicedonia
E-212A	Valle del Cauca	Tuluá, Buga la grande, Buga, San Pedro, Andalucía

Tabla 4.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Paraguaicito. (Avance Técnico Cenicafé No. 339).

En promedio, la productividad de las progenies que conforman la variedad Castillo® Paraguaicito es del 111,4%, en comparación con la producción de la variedad Colombia. En cuanto a las características de grano esta variedad está compuesta por 4,3% de vanos, 6,7% de caracol y 80,8% de supremo. En promedio su productividad es de 429,5 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Paraguaicito se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 339 (Alvarado *et al.*, 2005c).



Variedad Castillo® El Rosario.

Está compuesta por diez progenies seleccionadas en la Estación Experimental El Rosario de Cenicafé, localizada en el municipio de Venecia (Antioquia) y en el Ecotopo Cafetero 203A (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 5).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® El Rosario relativa a la variedad

Colombia, representa el 117,8%. En cuanto a las características de grano esta variedad está compuesta por 5,1% de vanos, 6,5% de caracol y 83,2% de supremo. En promedio, su productividad es de 380,9 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® El Rosario se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 340 (Alvarado *et al.*, 2005d).



Variedad Castillo® Pueblo Bello.

Está compuesta por cuatro progenies seleccionadas en la Estación Experimental del mismo nombre, localizada en el municipio de Pueblo Bello (Cesar), en el Ecotopo Cafetero 402 (Gómez *et al.*, 1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 6).

En promedio, la productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Pueblo Bello, en comparación con la producción de la variedad Colombia es 113,5%. En cuanto a las características de los granos,

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-102A	Risaralda	Mistrató, Publo Rico
E-101B	Antioquia	Ituango, Santa Fe de Antioquia, Caicedonia, Peque, Buritica, Giraldo
E-102B	Antioquia	Bolívar, Betulia, Anzá, Hispania
E-103B	Antioquia	Concordia, Salgar
E-104B	Antioquia	Andes, Betania
E-105B	Antioquia	Támesis, Jardín, Jericó, Pueblo Rico, Tarso, Caramanta, Valparaiso
E-201A	Antioquia	Ebéjico, Liborina, Toledo, Sopetrán, Sabanalarga, San Andrés, Briceño
E-202A	Antioquia	Heliconia, Titiribí, Armenia, Angelópolis
E-203A	Antioquia	Fredonia, Venecia (El Rosario ●), Amagá, Caldas
E-204A	Antioquia	Abejorral, Sonsón, Santa Bárbara, Montebello, La Ceja, El Retiro
	Caldas	Aguadas, Pácora, Salamina, Aranzazu, La Merced
E-201B	Antioquia	Amalfi, Angostura, Santa Rosa de Osos, Gómez Plata, Guadalupe, Vegachí
E-202B	Antioquia	Yolombó, Yali, Cisneros, Maceo
E-203B	Antioquia	Barbosa, Medellín, Girardota, Copacabana, Bello, Sabaneta

Tabla 5.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® El Rosario (Avance Técnico Cenicafé No. 340).

esta variedad está compuesta por 6,5% de vanos, 6,7% de caracol y 84,1% de supremo. En promedio su productividad es de 327,3 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® Pueblo Bello se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 341 (Alvarado et al., 2005e)



Variedad Castillo® Santa Bárbara. Está compuesta por siete progenies seleccionadas en la Estación Experimental del mismo nombre, localizada en el municipio de Sasaima (Cundinamarca), en el Ecotopo Cafetero 311A (Gómez et al., 1991), en el cual, por condiciones ambientales y de suelos similares están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 7).

En promedio la productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® Santa Bárbara en comparación con la producción relativa de la variedad Colombia es 117,9%. En cuanto a las características de los granos esta variedad se compone de 3,8% de vanos, 5,7% de caracol y 81,9% de supremo. En promedio su productividad es de 185 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo Santa Bárbara® se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 342 (Alvarado et al., 2005f)



Variedad Castillo® La Trinidad. Está compuesta por cuatro progenies seleccionadas en la Estación Experimental Líbano de Cenicafé, localizada en el municipio de Líbano (Tolima) y en el

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-401	Magdalena	Ciénaga, Fundación, Santa Marta, Aracataca
E-402	Cesar	Valledupar, Pueblo Bello (Pueblo Bello ●), El Copey
	La Guajira	Riohacha, Barrancas, Fonseca, San Juan del Cesar
E-403	Magdalena	Santa Marta
	La Guajira	Riohacha
E-301A	La Guajira	Urumita, Villanueva
	Cesar	Augustín Codazzi, Robles, La Jagua de I., Manaure, San Diego, Becerril, Chiriguaná, Aguachica, San Martín
E-301B	Norte de Santander	El Carmen
	Norte de Santander	Convención, San Calixto, Teorama, Hacarí, El Tarra, Ocaña, La PLayera, Ábrego
	Cesar	González, Río de Oro

Tabla 6.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Pueblo Bello (Avance Técnico Cenicafé No. 341).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-301A	Boyacá	San Pablo de Borbur, Tununguá, Briceño, Pauna, Maripí, Muzo, Buenavista, Coper
	Cundinamarca	Yacopí, Paime, La Palma, Topaipí, Caparrapí, San Cayetano, Villagómez, El Peñon, Pacho
E-311A	Cundinamarca	Vergara, Supatá, La Vega, San Francisco, Sasaima, (Santa Bárbara ●), Villeta, Albán

Tabla 7.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® Santa Bárbara (Avance Técnico Cenicafé No. 342).

Ecotopo Cafetero 207B (Gómez et al.,1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 8).

La productividad de las progenies que conforman la Variedad Castillo® La Trinidad en comparación con la producción de la variedad Colombia es 109,1%. En cuanto a las características de los granos esta variedad se compone de 4,1% de vanos, 6,7% de caracol y 82,4% de supremo. En promedio su productividad es de 432,5 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo La Trinidad® se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 343 (Alvarado et al., 2006)



Variedad Castillo® El Tambo. Está compuesta por siete progenies seleccionadas en la Estación Experimental Manuel Mejía de Cenicafé, localizada en el municipio de El Tambo (Cauca) y en el Ecotopo Cafetero 218A (Gómez et al.,1991), en el cual por condiciones ambientales y de suelos similares, están incluidos los municipios para los que se recomienda su siembra (Tabla 9).

Analizados cuatro años de cosecha, siete progenies presentaron entre 5% y 17% de mayor producción que la variedad Caturra. En promedio la productividad relativa a la variedad Caturra es 110%. Las características de grano de las progenies seleccionadas que conforman la Variedad Castillo® El Tambo son 5,54% de vanos, 5,81% de caracol y 84,3% de supremo. En promedio, su productividad es de 268,4 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.

Información más detallada sobre la Variedad Castillo® El Tambo se encuentra en el Avance Técnico Cenicafé No. 344 (Posada et al., 2006).

Variedad Tabi



Es una variedad compuesta resistente a la roya proveniente de la selección de progenies de los cruzamientos entre las variedades Típica y Borbón y el Híbrido de Timor, cuyo nombre en el dialecto guambiano significa “bueno” (Moreno, 2002b).

- **Crecimiento vegetativo.** Es de porte alto, sobresale por su vigor vegetativo. Dependiendo del ambiente, las plantas pueden alcanzar a los 24 meses de edad una altura entre 2,0 y 2,4 m y entre 1,9 y 2,1 m de ancho. Sus brotes son de color verde y bronce, y frutos de color rojo.
- **Producción.** La mayoría de las progenies de generación avanzada fueron iguales en producción al mejor testigo, la variedad Borbón con control químico. Las progenies mostraron una capacidad de producción notablemente alta, que varió entre 272 y 169 @.ha-año⁻¹ de c.p.s. en Santander y en Pueblo Bello, respectivamente
- **Características del grano.** Tamaño de grano grande, superior al 80% de café supremo. Granos vanos menos del 4%, caracol menos de 10%.
- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Típica y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-207B	Tolima	Libano, (La Trinidad ●), Lérica
E-208B	Tolima	Anzoátegui, Venadillo, Santa Isabel, Alvarado
E-209B	Tolima	Ibagué, Rovira, Ortega, Cajamarca, Valle de San Juan, San Luis, Roncesvalles, San Antonio

Tabla 8.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® La Trinidad (Avance Técnico Cenicafé No. 343).

Ecotopo	Departamento	Municipios
E-106A	Cauca	El Tambo (parte), Argelia
	Nariño	Leiva, Cumbitara, Policarpa, Ricaurte, Mallama
E-112B	Valle del Cauca	Cali (sur), Jamundí
	Cauca	Buenos Aires (parte), Suárez, Morales (parte), Cajibío (parte), El Tambo, (parte)
E-113B	Cauca	El Tambo (parte), El Bordo, Balboa
	Nariño	Leiva (parte), El Rosario
E-215A	Valle del Cauca	Guacarí, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Pradera, Candelaria, Florida
	Cauca	Miranda, Puerto Tejada, Corinto, Padilla
E-216A	Cauca	Toribío, Jambaló
E-217A	Cauca	Buenos Aires (parte), Caloto, Santander de Quilichao, Caldono (parte)
E-218A	Cauca	Caldono (parte), Morales (parte), Piendamó, Cajibío (parte), Totoró, Popayán, El Tambo (parte), El Timbío (parte)
E-219A	Cauca	El Timbío (parte), Sotará, El Tambo (Quilcacé), Rosas, La Sierra, La Vega, Almaguer, Bolívar, San Sebastián, Mercaderes
E-220A	Nariño	San Pablo, Génova, La Unión, La Cruz, Taminango, San José de Albán, San Lorenzo, Arboleda, El Tablón, Buesaco
E-221A	Nariño	Sotomayor, El Tambo, Linares, Samaniego, La Florida, Sandoná, Ancuya, Santa Cruz, Pasto, Consacá, Guaitarilla, Yacuanquer, Túquerres, Tangua, Imués, Funes, Lles
E-210B	Tolima	Chaparral, Rioblanco, (Herrera), Ataco (parte), Planadas (Gaitania)
E-211B	Tolima	Coyaima, Natagaima, Ataco (parte), Planadas (Gaitania)
	Huila	Aipe, Neiva (parte occidental), Santa María, Palermo
E-212B	Huila	Teruel, Íquira, Nátaga, Tesalia

Tabla 9.

Áreas cafeteras para la producción de la Variedad Castillo® El Tambo (Avance Técnico Cenicafé No. 344).

- **Zonas de siembra recomendadas.** Regiones del país con veranos prolongados, brillo solar alto y empleo de sombrío o semi-sombrío.

La información más detallada sobre la variedad Tabi se encuentra en el Avance Técnico de Cenicafé No. 300 (Moreno, 2002).

Variedad resistente a llaga macana

Proveniente del cruzamiento entre la variedad Caturra y una selección de Borbón resistente al hongo *Ceratocystis fimbriata* (Castillo, 1999; Castro y Cortina, 2002).

- **Crecimiento vegetativo.** Progenies de porte bajo y susceptibles a la roya. Su altura a los 36 meses está entre 1,4 y 1,5 m, igual a la de la variedad Caturra. Brotes de color verde y frutos rojos.
- **Producción.** El primer año la producción de las progenies en lotes experimentales varió desde 258 hasta 469 @.ha-año⁻¹ de c.p.s.
- **Características del grano.** El tamaño de grano de las progenies, expresado como la proporción de café supremo, estuvo entre 39% y 50%, menor que los promedios registrados en la variedad Borbón resistente a llaga macana (58%) y en las variedades Caturra (69%) y Colombia (83%).

- **Calidad de la bebida.** Igual a la de las variedades Caturra y Borbón, consideradas entre las de mejor aceptación en *Coffea arabica*.
- **Zonas de siembra recomendadas.** Lotes con alta pendiente, en los cuales la roya no sea limitante.

Información más detallada sobre la variedad resistente a la llaga macana se encuentra disponible en el Avance Técnico de Cenicafé No. 377 (Castro y Cortina, 2008).

Con el fin de ofrecer una variedad que combine la resistencia a la roya y a llaga macana, actualmente se están evaluando progenies F4 de cruzamientos entre derivados del Híbrido de Timor y líneas derivadas de Borbón resistente a la llaga.

Otras variedades de café arábica en el mundo

Además de las variedades desarrolladas por Cenicafé, existen otras variedades de *Coffea arabica* que han sido ampliamente cultivadas en Colombia y en otros países productores. A continuación se presentan una descripción de su origen y sus principales características.

Típica. Fue la variedad usada por Linneo para describir la especie. Las primeras introducciones de café en América fueron hechas con esta variedad, proveniente del Yemen, vía Amsterdam, y de allí a Surinam o a las Antillas. Con ella se inició la caficultura en el país y en América Latina, donde recibió diversos nombres en los países en que fue sembrada: Arábica, Nacional, Pajarito y Pluma Hidalgo, entre otros. Es una variedad de entrenudos largos que le dan un porte alto, el ángulo de las ramas es abierto (67°), los frutos pueden ser rojos o amarillos, el brote es bronce y es susceptible a la roya. Su grano es de los de mayor tamaño dentro de las variedades cultivadas (63% a 72% de café supremo), y la calidad en taza excelente (Orozco, 1986). Es la variedad más difundida en el mundo. En el país hay sembradas 84.234 ha (9,1% del área cafetera nacional), los departamentos con mayor área son Cesar, Tolima, Cundinamarca, Norte de Santander, Magdalena y Valle, en sistemas de caficultura tradicional (SICA, Septiembre de 2012).

Borbón. Es originaria de la Isla de la Reunión (Antes Borbón), de unas pocas semillas provenientes del Yemen. Introducida a América Latina por los franceses, a Colombia llegó en 1928. Es de porte alto, el ángulo de las ramas (58°) es más estrecho que en Típica, el brote es verde, el fruto es rojo o amarillo, el grano es pequeño (50%

a 42% de café supremo) y su calidad en taza es similar a la de Típica. Es una variedad altamente productiva (Triana, 1955). Una planta de esta variedad encontrada en la Colección Colombiana de Café resultó resistente a la llaga macana (*Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst Hunt), dando origen a las selecciones de borbón resistentes a macana, que han sido usadas en cruzamientos (Castillo, 1965; Castillo y Quiceno, 1970). Por su productividad, reemplazó en una alta proporción a la variedad Típica en América Central, el Caribe y Brasil. En los años de 1951 a 1953, el Centro Nacional de Investigaciones de Café repartió semillas de esta variedad principalmente en el departamento de Caldas (Viejo Caldas) (Castillo y Quiceno, 1968; Triana, 1955).

Amarillo Chinchiná. Se obtuvo de selecciones de la variedad Borbón, tiene características intermedias entre Típica y Borbón, y el tamaño de sus granos es mayor que el de Borbón. Posee un alto potencial productivo (Castillo, 1977).

Mundo Novo. Es la variedad de *C. arabica* más cultivada y productiva en el Brasil. Se originó probablemente de un cruzamiento entre el Nacional “Sumatra” (Típica) y Borbón. El mismo cruzamiento dio origen al Híbrido del Salvador (Salvador), al híbrido Tico (Costa Rica), y a la Variedad Garnica (México). Presenta órganos con características similares al Típica pero más vigorosos y hojas de mayor tamaño. En Colombia tiene producciones similares al Borbón. El tamaño del grano es comparable al de Típica. Es uno de los progenitores de la variedad Catuai (Castillo y Quiceno, 1968; Orozco, 1986).

Caturra. Se originó por una mutación espontánea observada por primera vez en el Estado de Minas Gerais (Brasil), en una plantación de Borbón (Krug *et al.*, 1949). Se destaca por el porte bajo de sus plantas, característica controlada por un gen dominante (Ct/Ct), que acorta la longitud de los entrenudos del tallo y de las ramas (Krug y Carvalho, 1951). Fue introducida a Colombia en 1952 y se difundió a partir de 1970 (Castillo, 1990). Muy similar a la variedad Borbón pero de entrenudos cortos, lo que le da un porte bajo y crecimiento compacto, de alta productividad, las hojas son verde intenso, el brote es verde, el fruto puede ser rojo o amarillo, el grano es medio (60% de café supremo) (Krug *et al.*, 1950). Tiene buena calidad en taza, pero es susceptible a la roya. Con esta variedad se inició el cultivo intensivo en Colombia: libre exposición, altas densidades y uso de fertilizantes (Castillo, 1990). Es un mutante de mucha importancia económica por su alta producción por unidad de área. Según el SIC@ 2012, se siembra en 378.000 ha (40,7% del área cafetera), los departamentos con mayor área son Antioquia, Tolima, Huila y Valle.

Por sus excelentes características ha sido el progenitor en diferentes cruzamientos para el desarrollo de variedades, especialmente con el Híbrido de Timor, para obtener variedades con resistencia a la roya como Colombia, Castillo y algunos componentes de la variedad Tabi.

Las variedades Villa Sarchí, Luisa y Borbón Villalobos (Costa Rica) y Pacas (El Salvador) son variedades provenientes de la misma mutación de la variedad de Borbón, encontradas en Centroamérica, son similares a Caturra, y poseen el mismo gen dominante (Ct₋) para enanismo (Castillo, 1977; Orozco, 1986).

Catuaí. Línea proveniente del cruzamiento entre las variedades de *C. arabica*: Caturra y Mundo Novo, hecho en el Brasil (1972) y seleccionada por su vigor y porte bajo. Las características externas de la planta son similares a las de Caturra, pero es más vigorosa. En Colombia no ha sobrepasado las producciones del Caturra. En el Brasil se cultiva comercialmente pues se adaptó mejor que el Caturra a los períodos secos (Orozco, 1986). Esta variedad también es extensamente sembrada en Centroamérica, donde también se siembra Garnica, una variedad de origen similar, retrocruzamientos de Catuaí a Mundo Novo dieron origen a las variedades Oro verde, Rubí y Topacio, con sus variantes (Bertrand, 1999).

San Bernardo. El café San Bernardo es originario de Guatemala, donde se conoce con el nombre de Pache. Su porte reducido y entrenudos cortos están controlados por un gen dominante (Sb), consecuencia de una mutación en la variedad Típica. Sus hojas, flores y frutos son similares a los de la variedad Típica. En promedio, produce un 80% de semillas de tamaño grande (Diámetro mayor de 17/64 de pulgada). La producción de esta variedad es baja, debido a su escaso vigor vegetativo y número reducido de inflorescencias (Glomérulos) por axila foliar, característica derivada de la variedad Típica. Se cultiva comercialmente en Centroamérica (Castillo y Moreno, 1976).

San Ramón. Variedad de *C. arabica*, originaria de la región de San Ramón, en Costa Rica. Se caracteriza por el porte pequeño de sus arbustos, el crecimiento lento y por tener entrenudos extremadamente cortos y ramas laterales de tamaño reducido, lo que le da un aspecto muy compacto a la planta. Las hojas son anchas elípticas, un poco onduladas en su lámina y generalmente asimétricas, el fruto es pequeño y el rendimiento bajo. En general, las plantas son poco uniformes en tamaño (Carvalho, 1958; Choussy, 1956).

Villalobos. Plantas encontradas en Costa Rica en poblaciones de Típica. Son de porte pequeño similar a Caturra, entrenudos cortos y poco crecimiento. Es comercial en algunas regiones de Centroamérica. Posee

flores y frutos similares a Típica (Carvalho *et al.*, 1984; Castillo, 1977).

Icatú. Se obtuvo en Brasil en 1992, por hibridación interespecífica entre la especie *C. canephora*, a la cual se le habían duplicado los cromosomas, y la variedad Borbón y su retrocruzamiento a la variedad Mundo Novo y posterior selección. Es una variedad de porte alto, vigorosa y de alta producción (semejante en Brasil a la de la variedad Mundo Novo), y con resistencia a la roya derivada de *C. canephora*. Aunque en los últimos años, con la aparición de nuevas razas, ha sido susceptible o moderadamente susceptible. También se menciona como fuente de resistencia a nematodos y a la enfermedad de los frutos del café. Los brotes pueden ser verde o bronce. Es de buena calidad en taza. Esta variedad no ha sido sembrada comercialmente en Colombia (Fazuoli *et al.*, 1983).

Maragogipe. Mutante de la variedad Típica seleccionado en Brasil (1870) en el municipio de Maragogipe, tiene gran tamaño de grano y menor producción que las variedades Típica y Borbón. El carácter maragogipe se debe a un gen dominante (Mg₋) que afecta todos los órganos de la planta (pleiotropía). El mutante Pretoria es del mismo origen y similar a Maragogipe. Esta variedad presenta en todos sus caracteres, dimensiones mayores que las otras variedades de *C. arabica*: Entrenudos largos, ángulo de la rama muy amplio, ramificación secundaria y terciaria escasa, hojas pendientes y grandes de base obtusa, ápice acuminado y lámina coriácea ondulada. Las flores son grandes, los frutos alargados, grandes y de disco saliente de color amarillo y rojo. La característica de frutos grandes llamó la atención en un principio a los cultivadores, pero luego hubo decepción, debido a la baja productividad y a los problemas para su despulpado. Sus características se deben a un par de alelos dominantes (Krug y Carvalho, 1942; Krug *et al.*, 1950).

Laurina. Mutante de *C. arabica* originario de la Isla de la Reunión (Borbón), donde tomó la denominación de café Leroy, por su descubridor. También se conoce como *Bourbon pointu* y *Tight grown*. Las características de Laurina se le atribuyen a un gen recesivo (lr), con efecto pleiotrópico que afecta la morfología de todos los órganos de la planta. Las plantas son arbustos cónicos, de porte bajo, entre 1 y 2 m de altura, su ramificación es muy densa y sus entrenudos son muy cortos, su follaje es muy denso. Comparado con la variedad Borbón común, *Bourbon pointu* es una variedad enana, con una forma característica de un árbol de navidad, con excelente calidad en taza.

Los brotes son verdes, las hojas son pequeñas y elípticas. Sus frutos son rojos, pequeños y sus almendras son muy pequeñas, alargadas y puntudas en uno de sus

extremos. En el Brasil se mostró muy resistente a las sequías prolongadas, en las cuales no perdió sus hojas. La principal característica de la variedad Laurina, es su bajo contenido de cafeína, alrededor de 0,6 % en materia seca (Krug, 1954; Orozco, 1986; Lecolier *et al.*, 2009). Filho y Alves (1960) compararon durante 6 años la producción de esta variedad con otras variedades comerciales, cuando la roya aún estaba ausente del Brasil, encontrando que su producción era entre el 50% y 60% de la de Borbón o Caturra, en distancias de siembra de 3 x 3 m (Tres plantas por sitio), que son amplias.

Mokka o Mocca. Su descripción original se basa en plantas de Java. Las flores son pequeñas y los frutos son los más pequeños dentro de la especie *C. arabica*. La forma de la planta es cónica. Las características están definidas por la unión de los caracteres genéticos de Mokka (*mo/mo*) y Laurina (*lr/lr*). Su grano tuvo alta cotización en los mercados europeos. Tiene parecido con la variedad Laurina, pero se distingue porque tiene hojas con domacías grandes, las flores son más pequeñas y los frutos redondeados (Jones, 1957).

San Pacho (Caturra x San Bernardo). Es el resultado de la recombinación de dos pares de genes que determinan entrenudos cortos: el Caturra y el San Bernardo. La selección a partir de cruzamientos entre estas dos variedades realizados en Cenicafé, presenta plantas con entrenudos muy cortos y crecimiento ortotrópico muy limitado, lo que le da una apariencia característica (Enana). Las hojas son medianas a pequeñas, pero alargadas. Los frutos son similares a los de variedad Típica (Orozco, 1986).

Geisha. Dentro del mercado de cafés especiales de alta calidad, la variedad Geisha, sembrada en Panamá, ha adquirido gran reputación en los últimos años, especialmente en el mercado japonés. Según Jones (1956), esta variedad fue introducida en Kenya en 1936, a través del consulado británico en Maji, en el sudoeste de Abisinia (Etiopía), quien recolectó semilla de cafés silvestres en los bosques del distrito de Geisha. Es bastante variable, predominan los tipos de planta abierta, con ramas primarias largas y caídas, proliferación de crecimiento secundario, hojas estrechas y brote bronce. Esta variedad tiene los genes S_{H1} y S_{H5} de resistencia a la roya del cafeto y ha sido utilizada en cruzamientos que buscaban transferir la resistencia a la roya de las variedades comerciales (Jones, 1956).

La variedad Geisha fue introducida a Colombia en varias oportunidades, las introducciones más antiguas son de 1953 y 1954, cuando llegaron como parte de la Colección Internacional dos introducciones Geisha A (CCC 66 ó T2722) procedente de Tanganika y Geisha B (CCC 30 ó T2917) del Congo Belga. En la Colección Colombiana de Café no se hace control de roya en estas accesiones.

Los ensayos de Cenicafé mostraron que los granos son de tamaño medio y solo algunas selecciones de tamaño grande, con una producción baja. Las pruebas de calidad en taza definieron al Geisha como un café con “acidez cítrica” que se percibe desde su fragancia y aroma, con un cuerpo y una acidez balanceada resaltando sus sabores frutales (Miranda, 2006).

Híbrido de Timor. Constituye una población de plantas derivadas de un cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*, que fueron seleccionadas en la isla de Timor (Indonesia) por su resistencia a la roya. Tiene porte alto y características predominantes de *Coffea arabica*, con alguna semejanza al Mundo Novo, aunque se presentan árboles de diferente tipo, debido a su origen interespecífico. Es de producción variable. En Colombia, es la fuente de resistencia de las variedades resistentes a roya. Las cuatro principales introducciones del Híbrido de Timor recolectadas por el CIFC son: H1343, H832/1, H832/2 y H2252 (Bettencourt, 1973; Castillo y Moreno, 1981).

Otras variedades resistentes a roya derivadas del Híbrido de Timor

En Centroamérica, Brasil y diferentes países Latinoamericanos se han venido liberando variedades resistentes, provenientes de una sola progenie, utilizando como fuente de resistencia al Híbrido de Timor CIFS 832. Dentro de ellas se destacan IHCAFE 90, Costa Rica 95 y Oeiras MG 6851.

La variedad **IHCAFE90** (Catimor 5175) se originó del cruzamiento Caturra x Híbrido de Timor 832/1, fue liberada en 1990 por el Instituto Hondureño del Café. También se distribuyó en Costa Rica como T5175. Esta variedad se distingue por sus hojas anchas de color verde oscuro, brotes bronceados y frutos rojos, ramas largas, con entrenudos cortos. Se caracteriza por su alta precocidad, con un descenso hacia el cuarto y quinto año (Bertrand *et al.*, 1999). En Nicaragua, la variedad Catrenic es bastante cercana genéticamente al T5175.

La variedad **Costa Rica 95** proviene de un cruce entre Villa Sarchi x Híbrido de Timor CIFC 832/2. Es conocida también como Mida 96 y Lempira, además es similar a Oeiras MG 6851 (Brasil). Costa Rica 95 ha sido sembrada en el país (Aguilar, 1995).

En el Brasil se desarrollaron otras variedades hermanas como **IAPAR 59** (IAPAR, 1993), Obatá, Tupi y muchas otras, algunas por retrocruzamiento de estas variedades a las comerciales, Caturra y Catuai (Fazuoli *et al.*, 2002). A partir del Híbrido de Timor UFV445-46 han sido lanzadas las variedades Paraíso, Araponga y Sacramento, **Oeiras**

MG 6851 (Pereira *et al.*, 2005). Pero en general, la difusión de todas estas variedades ha sido baja.

En otros países Latinoamericanos de menor importancia cafetera, también se han lanzado variedades con resistencia a la roya derivada del Híbrido de Timor, como la INIA 01 en Venezuela (INIA, 2001).

Otras especies de café

***Coffea canephora* (Robusta).** Es la especie diploide más cultivada en el mundo. Existen dos grupos comerciales conocidos Robustas y Conilones, estos últimos caracterizados por su grano de tamaño pequeño. Esta especie es originaria de las zonas ecuatoriales del África central y occidental, donde se cultiva ampliamente. En algunos países americanos, como Brasil y Ecuador, existen cultivos importantes de esta especie. En general, tiene características muy variables, debido a que es de polinización cruzada. Es útil en programas de mejoramiento de *Coffea arabica* por su rusticidad, buena producción y la resistencia de algunos clones a plagas y enfermedades, especialmente la roya del café y la enfermedad del fruto. Su bebida se caracteriza por ser amarga y tener un alto contenido de cafeína. Los árboles son vigorosos, de copa amplia, hojas generalmente grandes, corrugadas y frutos pequeños (Herrera *et al.*, 2012).

Coffea eugenioides. Especie diploide originaria de la región de los grandes lagos africanos, de la cual se

han descrito diferentes formas. Presenta árboles con resistencia a la roya, útiles en programas de hibridación con *C. arabica*. Las plantas son de poco crecimiento, hojas y frutos pequeños. Se registra como tolerante a condiciones desfavorables de suelo (Herrera *et al.*, 2012). Es uno de los padres de la especie *C. arabica*.

Coffea liberica. Especie diploide, variable en formas taxonómicas y caracteres morfológicos. A esta especie se le considera como árboles de porte pequeño en lugar de arbustos, debido a su gran desarrollo. Tienen tronco grueso, hojas ovales o elípticas muy grandes, coriáceas y olorosas. Los frutos son grandes, de disco prominente, pulpa gruesa y densa. Aun cuando tuvo relativo éxito en África por sus características de resistencia a roya, su cultivo fue abandonado prácticamente, prefiriéndose la especie *C. canephora*, por sus mayores producciones, manejo más fácil y calidad de la bebida (Orozco, 1986; Herrera *et al.*, 2012).

Caturra x *C. canephora* (Híbridos interespecíficos). Árboles provenientes del cruzamiento directo entre las especies *C. arabica*, variedad Caturra y *Coffea canephora*. En general, se combinan en ellos los caracteres de ambos progenitores. Estos árboles sobresalen por su vigor y alta esterilidad, que ocasiona producción muy baja de frutos, debida a problemas genéticos (Desbalance cromosómico). Se diferencian del Arabusta en que no se ha duplicado el robusta (*C. canephora*), por lo tanto, es un híbrido triploide (Orozco, 1989; Alvarado y Cortina, 1995).

Recomendaciones prácticas

- Si va a sembrar plantas de porte bajo siembre variedades compuestas resistentes a la roya como la Variedad Castillo® o las variedades Castillo® Regionales, y si va a sembrar plantas de porte alto, prefiera la variedad Tabi. Recuerde que la elección de la variedad Castillo® Regional más adecuada para sembrar en su finca depende de la zona del país donde ésta se localice.
- Siempre adquiera el material de siembra en los Almacenes del Café, a través del Servicio de Extensión o en viveros certificados por el ICA. Evite al máximo recolectar semilla de su lote para nuevas siembras, esta práctica puede reducir drásticamente la variabilidad de la variedad con respecto a la resistencia a la roya.
- Recuerde que la Variedad Castillo® es en promedio de porte más alto que Caturra y Colombia, lo que implica que se debe sembrar a distancias mayores.
- A diferencia de las variedades compuestas (Castillo®, Tabi, Colombia), las variedades resistentes a la roya provenientes de una sola línea, como Costa Rica 95 (También llamada Catimor), pierden más rápido su resistencia a la roya, exponiendo su cafetal a una posible epidemia.

Literatura citada

- AGUILAR V., G.J. *Varietad Costa Rica 95*. San José de Costa Rica : ICAFE, 1995. 30 p.
- ALLARD R.W. *Principios de la mejora genética de las plantas*. Barcelona : Omega, 1978. p. 498
- ALVARADO A., G. *Mejoramiento de las características agronómicas de la variedad Colombia mediante la modificación de su composición*. Chinchiná : CENICAFE, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 304).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H. CASTILLO. *Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. Chinchiná: CENICAFE, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Naranjal para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 338).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Paraguaquito para las regiones cafeteras de Quindío y Valle del Cauca*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 339).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo El Rosario para las regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 340).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Pueblo Bello para las regiones de Magdalena, Cesar, La Guajira y Norte de Santander*. Chinchiná : CENICAFE, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 341).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo Santa Bárbara para las regiones cafeteras de Cundinamarca y Boyacá*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 342).
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. *La variedad Castillo la Trinidad para regiones cafeteras del Tolima*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 343).
- ALVARADO A., G.; CASTILLO Z., J. *Progreso de la roya del cafeto sobre genotipos resistentes y susceptibles a Hemileia vastatrix*. *Cenicafé* 47(1):42-52. 1996.
- ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A. *Comportamiento de progenies F4 RC1 de híbridos interespecíficos de café*. p. 18-19. En: CONGRESO de la sociedad colombiana de fitomejoramiento y producción de cultivos. (4 : Mayo 8-10 1995 : Chinchiná). Chinchiná : CENICAFÉ, 1995. 171 p.
- 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.; MORENO R., L.G. *Cambio de la virulencia de Hemileia vastatrix en progenies de Caturra x híbrido de Timor*. *Cenicafé* 56(2):110-126. 2005.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. *Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
- ALVARADO A., G. *Comportamiento de progenies de variedad Colombia en presencia de razas de roya compatibles*. *Cenicafé* 55(1):69-92. 2004.
- BAIL, J.A.; JEGER, M. J. *Colletotrichum: Biology, pathology and control*. Wallingford (Inglaterra) : British society for plant pathology : CAB International, 1992. 388 p.
- BERTRAND, B.; AGUILAR V., G.J.; SANTACREO P., R.; ANZUETO R., F. *El mejoramiento genético en América central*. p. 407-456. En: DESAFIOS De la cafcultura en Centroamérica. San José de Costa Rica : IICA : PROMECAFE : CIRAD, 1999. 496.
- BETTENCOURT A.J. *Características agronómicas de seleções derivadas de cruzamentos entre híbrido de Timor e as variedades Caturra, Villa Sarchi e Catuai*. p. 353-373. En: COMUNICAÇÕES, Simposio sobre ferrugens do cafeeiro. (1 : Octubre 17-20 1983). Oeiras, Portugal: Instituto de Investigaçao Cinética Tropical. 649 p.
- BETTENCOURT A.J., RODRIGUES C.J., Jr. *Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases*. p. 199-234. En: CLARKE R.J.; MACRAE R (editores). *Coffee*. London : Elsevier, 1988. 334 p.

- BETTENCOURT, A.J. *Consideracoes gerais sobre o híbrido de Timor*. Sao Paulo : Instituto Agronómico de Campinas, 1973. 20 p.
- BIRIKUNZIRA, J.B. *Country report Uganda: Coffee berry disease in Uganda*. p. 97-101. En: *PROCEEDINGS Of the first regional workshop on coffee berry disease*. : (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982.322 p.
- BOLÍVAR F., C.P.; ACUÑA Z., J.R.; MONCADA B., M. DEL P. *Análisis proteómico de genotipos de Coffea arabica resistentes a CBD*. (CD-ROM). En: *CONGRESO De fitomejoramiento y producción de cultivos (12 : Junio 22-24 2011 : Montería)*. Universidad de Córdoba, 2011.
- BROWNING, J.A. *Diversity the only assurance against genetic vulnerability to disease in mayor crops*. En: *CENTRAL States forest tree improvement conference*. (9 : October 10, 1974 : Ames). Ames : Iowa state university, 1974. 23 p.
- BUJULU. J.; KIBANI, T.H.M. *Country report Tanzania: Coffee berry disease in Tanzania*. p. 103-121. En: *PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease*. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p.
- BUSTILLO, A. E. *La broca de la cereza del café, Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Scolytinae)*. p. 364-367. En: *BUSTILLO P., A.E (Editor). Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
- BUSTILLO, A. E; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J; POSADA, F. J. *Biología y comportamiento de la broca del café en relación con su hospedante: El café*. p. 19-69. En: *MANEJO Integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 134 p.
- CARVALHO, A. *Advances in coffee production technology recent advances in our knowledge of coffee e tree: Genetics. Coffee and tea industries and the flavor field* 81(11):30-36. 1958.
- CARVALHO, A.; MEDINA, H.P., Filho; FAZUOLI, L.C.; COSTA, W.M. DA. *Número de locos e acao génica de fatores para porte pequeno em Coffea arabica L*. *Bragantia* 43(2):425-442. 1984.
- CASTILLO Z., J. *Mejoramiento genético del café en Colombia*. p. 43-53. En: *CENICAFÉ. 50 AÑOS de Cenicafé 1938-1988: Conferencias conmemorativas*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1990. 255p.
- CASTILLO Z., J.; CASTRO C., B.L. *Resistencia a Ceratocystis fimbriata Ell Halst Hunt. en progenies F3 del cruzamiento entre café Borbón resistente a macana por Caturra*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 15 p.
- CASTILLO Z., J. *Producción, variabilidad y distribución de la cosecha en introducciones de café*. *Cenicafé* 28(3):82-107. 1977.
- CASTILLO Z., J. *Producción y características de grano de germoplasma de café introducido a Colombia*. *Cenicafé* 26(1):3-26. 1975.
- CASTILLO Z., J. *Algunas características morfológicas de una selección resistente a la llaga macana*. *Cenicafé* 16(1/4):31-41. 1965.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1988. 171 p.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Comportamiento de la variedad San Bernardo en Colombia*. Chinchiná : CENICAFE, 1976. 4 p. (Avances Técnicos No. 59).
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G.; LÓPEZ, D.S. *Uso de resistencia genética a Hemileia vastatrix Berk y Br. existente en germoplasma de café en Colombia*. *Cenicafé* 27(1):3-25. 1976.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1988. 171 p.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Obtención de materiales de café resistentes a Hemileia vastatrix en Colombia en ausencia de la enfermedad, un programa cooperativo entre Cenicafé y el CIFC*. *García de Orta. Serie de estudios agronómicos* 9(1/2):119-128. 1982.
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. *Selección de cruzamientos derivados del híbrido de Timor en la obtención de variedades mejoradas de café para Colombia*. *Cenicafé* 32(2):37-53. 1981.
- CASTILLO Z., J.; PARRA, H.J. *Exploración en el contenido de cafeína, grasas y sólidos solubles en 113 introducciones de café*. *Cenicafé* 24(1):3-29. 1973.

- CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. *Cenicafé* 19(1):18-39. 1968.
- CASTILLO Z., J.; QUICENO H., G. Comparación de líneas de *Coffea arabica* L. por su resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. *Halst. Hunt. Cenicafé* 21(3):95-104. 1970.
- CASTILLO Z., J. Mejoramiento del café arábica var. Típica: Utilización del registro de producción de árboles madres. *Boletín informativo* 8(4):117-144. 1957.
- CASTILLO Z., J. Informe preliminar sobre las pruebas de resistencia al CBD hechas en Kenia. Oficio (es una carta) CENICAFÉ 002202 del 26 DE Junio de 1978.
- CASTILLO Z., J. Producción de variedades de café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1977. 6 p.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Café resistente a la llaga macana. Chinchiná : CENICAFE, 2008. 8 p. (Avances Técnicos No. 377).
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de progenies F5 resistentes a la llaga macana del cafeto *Ceratocystis fimbriata*. Bogotá p42-43: Congreso de la asociación colombiana de fitopatología y ciencias afines, 2002. 138 p.
- CHAPARRO B., A.P.; CRISTANCHO A., M.A.; CORTINA G., H.A.; GAITÁN B., A.L. Genetic variability of *Coffea arabica* L. accessions from Ethiopia evaluated with RAPDs. *Genetic resources and crop evolution* 51(3):291-297. 2004.
- CHARRIER, A. Étude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun en Cote D'ivoire et á Madagascar sur l'espece *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par mission Orstom en 1966. Paris : ORSTOM : IFCC, 1978. 99 p. (Bulletin No. 14).
- CHOUSSEY, F. El café. 2da. ed. San Salvador : Asociación Cafetalera. Tomo 1. 1935.131 p.
- CRISTANCHO, A., M.A.; ESCOBAR, O., C.; OCAMPO, M., J.D. Evolución de razas de *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58(4):340-359. 2007.
- CORTINA G., H.A. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca (*Hypothenemus hampei*) en germoplasma de café: Informe técnico final a Colciencias. Chinchiná : CENICAFÉ, 2000. 90 p.
- DUQUE, H. Costos del manejo de la broca del café: Un estudio de caso. *Asocia* 2(3):23-25. 1994.
- FARFÁN C., M.I. Impacto económico de la investigación en café en Colombia: El caso de la variedad Colombia. *Ensayos sobre economía cafetera* 2(14):21-41. 1998.
- FAZUOLI, L.C.; CARVALHO, A.; COSTA, W.M. DA; NERY, C.; PEREIRA L., C.R.; SANTIAGO, M. Avaliacao de progénies e selecao no cafeeiro Icatú. *Bragantia* 42(16):179-189. 1983.
- FAZUOLI, L.C.; MEDINA, H.P., Filho; GONCALVES, W.; GUERREIRO., O., Filho; SILVAROLLA, M.B. Melhoramento do cafeeiro: Variedades tipo arábica obtidas no Instituto agronómico de Campinas. p. 163-216. En: O ESTADO da arte de tecnologias na producao de café. Vicosa : Universidade Federal de Vicosa, 2002. 568 p.
- FILHO, A.H.; ALVES, S. Melhoramento do cafeeiro: Competicao de variedades comerciais em Monte Alegre do sul. *Bragantia* 19(7):73-89. 1960.
- GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá : FNC, 1991. 131 p.
- GÓNGORA, C.E. Chitinolytic transgenes from *Streptomyces albidoflavus* as phytochemicals defences against herbivorous insects, use in transgenic plants and effect in plant development. Ithaca : Cornell university, 1999. 290 p.
- GÓNGORA, C.E.; ACUÑA, R. Uso de genes para incrementar la resistencia de plantas a insectos herbívoros. p. 242-271. En: BUSTILLO P., A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
- GONZÁLEZ, L.F.; CORTINA, H.; HERRERA, J.C. Validación de marcadores moleculares ligados al gen SH3 de resistencia contra la roya en introducciones de la colección colombiana de café. *Cenicafé* 60(4):366-380. 2010.
- GUILLAUMET J. L.; HALLE F. Echantillonnage du materiel *Coffea arabica* recolte en Ethiopie. p. 13-18. En : CHARRIER, A. Etude de la structure et de la variabilite genetique des cafeiers *Coffea arabica* en Ethiopie. Paris : IFCC, 1978. 100 p.
- HERRERA JC.; ALVARADO, G.; CORTINA, H.A.; COMBES, M.C.; ROMERO, G.; LASHERMES, P. Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated *Coffea arabica* L. from the diploid *C. canephora* species. *Euphytica* 167(1):57-67. 2009.

- HERRERA P., J.C.; CORTINA G., H.A.; ANTHONY, F.; PRAKASH, N.S.; LASHERMES, P.; GAITÁN B., A.L.; CRISTANCHO A., M.A.; ACUÑA Z., J.R.; LIMA, D.R. Coffee (*Coffea spp.*). p. 589-640. En: SING, R.J. Medicinal plants: Genetic resources chromosome engineering and crop improvement. Boca Ratón : CRC, 2012. 1066 p.
- INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANA. Café IAPAR 59. Plegable Instituto Agronómico de Paraná, Londrina, Brasil. 2°. Tiraje. 1993.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS. Variedad de café INIA 01: Una variedad de alto rendimiento, tolerante a la roya y adaptada a las diferentes áreas cafetaleras de Venezuela. Caracas : Ministerio de ciencia y tecnología, 2001. 7 p.
- JOHANNSEN, W. *Elemente der exakten Erblchkeitslehre*. Jena : G. Fisher, 1909. 515 p.
- JONES P., A. Notes on the varieties of *Coffea arabica* in Kenya. p. 158-166. En: COFFEE Board of Kenya: Selected articles on coffee culture. Ruiru : CBK, 1956. 185 p. (Bulletin No. 1935-56).
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A. Genética de *Coffea*: Hereditariedade dos caracteres de *Coffea arabica* L. var. Maragogipe Hort ex Froehner. *Bragantia* 2(6):231-247. 1942.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A. The genetics of coffee. *Advances in genetics* (4):127-158. 1951.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A.; ANTUNES, H., Filho. Genética de coffee: Hereditariedade dos característicos de *Coffea arabica* L. var. Laurina (Smeatbman) D.C. (Genética del *Coffea*). *Bragantia* 13(21):247-255. 1954.
- KRUG, C.A.; CARVALHO, A.; MENDES, A.J.T. Una nova forma de coffee. *Bragantia* 10(1):11-25. 1950.
- KRUG, C.A.; MENDES, J.E.T.; CARVALHO, A. Taxonomía de *Coffea arabica* L.: *Coffea arabica* L. var. Caturra e a sua forma xanthocarpa. *Bragantia* 9(9/12):157-163. 1949.
- KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. *Coffee rust: Epidemiology, resistance, and management*. Boca Raton : CRC Press, 1989. 345 p.
- LE PELLEY, R.H. *Pests of coffee*. London : Longmans green, 1968. 590 p.
- LECOLIER, A.; BESSE, P.; CHARRIER, A.; TCHAKALOFF, T.N.; NOIROT, M. Unraveling the origin of *Coffea Arabica Bourbon pointu* from La réunion: A historical and scientific perspective. *Euphytica* 168(1):1-10. 2009.
- LÓPEZ G., G.; CORTINA G., H.A.; MCCOUCH, S.R.; MONCADA B., M. DEL P. Analysis of genetic structure in a sample of coffee *Coffea arabica* L. using fluorescent SSR markers. *Tree genetics and genomes* 5(3):435-446. 2009.
- MARÍN N., H.; OROZCO C., F.J. Caracterización de selecciones de café Etíope por medio de medidas biométricas. Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de agronomía, 1968. Tesis: Ingeniero agrónomo.
- MASABA. D.M.; WALYARO D.J.; NJAGI S.B.C. Country report Kenya: Coffee berry disease in Kenia. p. 45-69. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission,, 1982. 322 p.
- MEOAKU. W. Country report Ethiopia: Coffee berry disease in Ethiopia. p. 71-95. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p
- MOLINA, D.; BLANCO L., A.; ZAMORA, H. Inhibidores de proteasas de plantas efectivos contra las aspártico proteasas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*). *Revista colombiana de entomología* 37(2):17-24. 2011.
- MOLINA, D.; ZAMORA, H.; BLANCO L., A. An inhibitor from *Lupinus bogotensis* seeds effective against aspartic proteases from *Hypothenemus hampei*. *Phytochemistry* 71(2):923-929. 2010.
- MORENO, G.; CORTINA, H.; ALVARADO, G.; GAITÁN, A. Utilización de los recursos genéticos de café en el programa de mejoramiento genético de *C. arabica* en Colombia. p. 33-38. En: MEJORAMIENTO Sostenible del Café Arabica por los recursos genéticos, asistido por los marcadores moleculares, con énfasis en la resistencia a los nematodos: Memorias taller del CATIE. Turrialba : CATIE : IRD, 2000. 98 p.
- MORENO R., G. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del café. *Cenicafé* 53(2):132-143. 2002.
- MORENO R., G. Tabi: Variedad de café de porte alto con resistencia a la roya. Chinchiná : CENICAFE, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 300).
- MORENO R., L.G. Etude du polymorphisme de l'hybride de Timor en vue de l'amélioration du Caféier Arabica: Variabilité enzymatique et agromique dans les populations d'origine; résistance incomplète à *Hemileia vastatrix*

dans les croisements avec *Coffea arabica*. Montpellier: Ecole National Supérieure Agronomique, 1989. 153 p. Tesis: Docteur-Ingenieur.

- MORENO R., L.G. Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas físicas y naturales* 28(107):187-200. 2004.
- MORENO R., L.G.; ALVARADO A.; G. La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto. *Cenicafé*. Chinchiná : CENICAFE, 2000. 32 p. (Boletín Técnico No. 22).
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J. Germoplasma existente en la colección colombiana de café e información disponible sobre algunas de sus características. *Chinchiná : CENICAFÉ*, 1979. Sp.
- MORENO R., L.G.; CASTILLO Z., J.; OROZCO G., L. Estabilidad de la producción de progenies de cruzamientos de Caturra por híbrido de Timor. *Cenicafé* 35(4):79-93. 1984.
- MORENO R., L.G.; MORENO G., E.; CADENA G., G. Características del grano y de la bebida de la variedad Colombia, evaluada por paneles de diferentes países. *Fitotecnia colombiana* 1(1):41-52. 1997.
- MONCADA B., M. DEL P. Fuentes de resistencia a la enfermedad de los frutos del café, *Colletotrichum kahawae*. P107. En: CONGRESO De la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. (9 : Mayo 11-13 2005 : Palmira). Palmira : Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, 2005. 141 p.
- MONCADA B., M. del P.; MCCOUCH, S. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid *Coffea* species. *Genome* 47(3):501-509. 2004.
- MULINGE. S.K. Development of coffee berry disease in relation to the stage of berry growht. *Kenya coffee* 36:279-280. 1970.
- MULLER. R.A. Some considerations on epidemiology of CBD in Kenya and Cameroun importance of the disease methods of evaluation of losses. p. 137-144. En: PROCEEDINGS Of the regional workshop on coffee berry disease. (1 : 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission,, 1982. 322 p.
- OMONDI, C.O. Resistance to coffee berry disease in Arabica coffee variety "Ruiru 11". *Plant Breeding* 112(3):256-259. 1994.
- OPILE W., R.; AGWANDA C. O. Propagation and distribution of cultivar Ruiru 11: A review. *Kenya coffee* 58(677):1496-1508. 1993.
- OROZCO C., F.J. Descripción de especies y variedades de café. Chinchiná : Cenicafé, 1986. 29 p. (Boletín Técnico No. 11).
- OROZCO C., F.J. Utilización de los híbridos triploides en el mejoramiento genético del café. p. 485-494. En: COLLOQUE Scientifique international sur le café. (13 : Aout 21-25 1989 : Paipa). París : ASIC, 1989. 783 p.
- PEREIRA, A.A.; SAKIYAMA, N.S.; ZAMBOLIM, L.; MOURA, W. DE M.; ZAMBOLIM, E.M.; CAIXETA, E.T. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV/EPAMIG breeding program. p. 215-232. En: DURABLE Resistance to coffee leaf rust. Vicosa : Universidade Federal de Vicosa, 2005. 450 p
- POSADA S., H.E.; ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A.; SOLARTE C.R.; DUQUE O. H.; BALDIÓN R., J.V.; GUZMÁN M., O. La variedad Castillo® el Tambo: Para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 344).
- PUERTA, G.I. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51(1):5-19. 2000.
- RILEY, R. Genetic changes in hosts and the significance of disease. *Annals of applied biology* 75:128-132. 1973.
- RIVILLAS O., C.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E.; GIL V., L.F.; DUQUE O., H. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. 2da. ed. Chinchiná : CENICAFE, 2005. 36 p. (Boletín Técnico No. 19).
- RODRIGUES C.J., Jr.; VARZEA V.M., SILVA M.C., GUERRA G. L., ROCHETA M., MARQUES V. Recent advances on coffee leaf rust. Bangalore : Proceedings of the international scientific symposium on coffee, 2000. 271 p.
- RODRIGUES C.J., Jr.; VARZEA V.M., MADEIROS E.F. Evidence for the existence of physiological races of *Colletotrichum coffeanum* Noack Senu Hindorf. *Kenya coffee* 57(672):1417-1420. 1992.
- ROMERO, G. Desarrollo de marcadores funcionales ligados a la resistencia genética contra la roya del cafeto. Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de agronomía, 2013. 139 p. Tesis de PhD en Ciencias Agropecuarias con énfasis en mejoramiento genético vegetal.

- ROMERO, G.; ALVARADO, G.; CORTINA, H.; LIGARRETO, M.C.; GALEANO, N.; HERRERA, J.C. Partial resistance to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in coffee (*Coffea arabica* L.): Genetic analysis and molecular characterization of putative candidate genes. *Molecular breeding* 25(4) :685-697. 2010.
- ROMERO, J.V.; CORTINA, H. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231. 2004.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Chinchiná* : *Cenicafé* 55(4):341-346. 2004
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionide: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista colombiana de entomología* 33(1):10-16. 2007.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Cenicafé* 55(4):341-346. 2004.
- ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231. 2004
- SIQUEIRA DE C., C.H. Cultivares de café Arábica de porte baixo.157-226. En: *CULTIVARES De café: Origen, características e recomendacoes. Brasília DF : Embrapa Cafe, 2008. 334p.*
- TRIANA, J.V. Anotaciones sobre el café Bourbon en Colombia. *Cenicafé* 6(62):58-68. 1955.
- VALENCIA, A.; BUSTILLO, A.; OSSA, G.; CHRISPPEELS, M. α -Amylases of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and their inhibition by two plant amylase inhibitors. *Insect Biochem Mol Biol.* 30(3):207-213. 2000.
- VALLEJO, F.A.; ESTRADA, E.I. Mejoramiento genético de plantas. Editorial Feriva S. A. 2002. 402 p.
- VAN DER GRAAF., N.A. The principles of scaling and the inheritance of resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica*. *Euphytica*, 31(3): 735-740.
- VAN DER PLANCK, J.E. Disease resistance in plants. New York : Academic press, 1968. 206 p.
- VAN DER VOSSSEN., H.A.M.; D.J. WALYARO. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. *Euphytica* 29(3):777-791. 1980.
- VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; WALYARO D.J. The coffee breeding program in Kenya: An plan of action for the coming years. *Kenya coffee* 46(541):113-130. 1981.
- VAN DER VOSSSEN, H.A.M. Coffee selection and breeding. p. 48-96. En: CLIFORD. M.N.; C. WILLSON. *Coffee: Botany biochemistry and production of beans and beverage. Connecticut : Avi publishing, 1985. 457 P*
- VERMEULEN. H. Coffee berry disease in Kenya. Wageningen : Agricultural University. Department of Agronomy. Thesis PhD in plant phytopatology. 1979. 113 p.
- WALYARO, D.J.; VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; OWUOR, J.B.O. Breeding Arabica coffee in Kenya for resistance to coffee berry disease. p: 189-202. En: REGIONAL Workshop of coffee berry disease. (1: 19-23 July 1982 : Addis Ababa). Addis Ababa : The European Economic Commission, 1982. 322 p.
- WELLMAN, F.L.; COWGILL, W.H. Report of the 1952 coffee rust survey mission to Europe, Africa, Asia and Hawaii. Washington : Department of agriculture, 1953. 51p.
- ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VARZEA, V.M.P. Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 2005. 450 p.