



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

COMITÉ NACIONAL DE CAFETEROS

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio Exterior
Director del Departamento de Planeación Nacional

Miembros elegidos para el período 1999-2001

PRINCIPALES

Luis Ignacio Múnera Cambas
Mario Gómez Estrada
Alfonso Jaramillo Salazar
Rodrigo Múnera Zuloaga
Julio Ernesto Marulanda Buitrago
Diego Arango Mora
Floresmiro Azuero Ramírez
Carlos Alberto Martínez Martínez

SUPLENTE

Jorge Alberto Uribe Echavarría
Jorge Cala Robayo
Ramón Campo González
Rodolfo Campo Soto
Edgar Dávila Muñoz +
Alfredo Yañez Carvajal
Luis Ardila Casamitjana
Ernesto Sayer Martínez

Gerente General
JORGE CÁRDENAS GUTIÉRREZ

Subgerente General
HERNÁN URIBE ARANGO

Gerente Técnico
ANTONIO HERRÓN ORTIZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GOMEZ



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TÉCNICA PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
“Pedro Uribe Mejía”

Cenicafé

LA VARIEDAD COLOMBIA: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto

Por:

*Germán Moreno Ruiz**

*Gabriel Alvarado Alvarado***

Chinchiná - Caldas - Colombia

* Investigador Principal I; Mejoramiento Genético y Biotecnología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

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

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ

Editor: Héctor Fabio Ospina Ospina I.A., MSc.
Diseño y
Diagramación: Gonzalo Gallego González
Fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar

Primera edición: Febrero del 2000
3500 ejemplares

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
I. CONCEPTOS DE RESISTENCIA	9
II. ANTECEDENTES SOBRE LA OBTENCIÓN DE LA VARIEDAD COLOMBIA	10
III. EXPERIENCIAS DE LOS AGRICULTORES DURANTE 20 AÑOS DE CULTIVO	12
IV. COMPOSICIÓN DE LA VARIEDAD COLOMBIA	14
V. PRESENCIA DE NUEVAS RAZAS DE ROYA	16
VI. LA DIVERSIDAD GENÉTICA, UNA ESTRATEGIA PARA QUE LA RESISTENCIA SEA DURABLE	18
VII. ¿CUÁNTA DIVERSIDAD GENÉTICA EXISTE EN LA VARIEDAD COLOMBIA?	20
VIII. ¿CÓMO OPERA LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN LA VARIEDAD COLOMBIA?	23
IX. ESTRATEGIAS PARA INTRODUCIR Y MANTENER DIVERSIDAD GENÉTICA EN LA VARIEDAD COLOMBIA.....	25
X. VARIEDADES MEJORADAS CON RESISTENCIA A LA ROYA, PARA EL FUTURO	27
LITERATURA CONSULTADA	28
ANEXO 1. PROGENITORES DE LA VARIEDAD COLOMBIA	31

INTRODUCCIÓN

La variedad Colombia (*Coffea arabica*) fue entregada en 1980 en Cenicafé, como resultado de un proyecto de investigación iniciado a finales de la década de los años 60, con el objetivo de producir una variedad de café con resistencia a la roya, *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. (6). La colaboración del Centro de Investigaciones de las Royas del Café (CIFC) de Portugal, permitió adelantar la selección por resistencia en ausencia de la enfermedad.

La enfermedad, registrada en Colombia en 1983, se ha extendido por todo el país, y en ausencia de medidas de control puede causar pérdidas hasta del 23 % de la producción acumulada en cuatro cosechas (26).

Desde su obtención, la variedad Colombia se ha sembrado continuamente durante dos décadas en una superficie extensa, cercana a las 234.000 hectáreas, que representan el 27 % del área nacional cultivada (10).



Lotes comerciales en una finca de Palestina, Caldas. A la izquierda un lote de variedad Caturra; se observa su reacción al patógeno *Hemileia vastatrix*. A la derecha, un lote sembrado con variedad Colombia.

Durante este período la variedad ha sido sometida a una fuerte presión por haber estado en permanente contacto con el patógeno. También ha sido sembrada en diferentes ambientes, por lo cual se conoce acerca de su adaptación a los diversos microclimas que conforman la región cafetera del país. Finalmente, con ella se ha cumplido un proceso de adopción particularmente interesante, por tratarse de la primer variedad mejorada de café con resistencia a una enfermedad, en ser utilizada en nuestro país.

La variedad Colombia es una variedad “compuesta” formada al mezclar la semilla proveniente de las progenies más sobresalientes seleccionadas en un proceso basado en varias generaciones. La naturaleza “compuesta” de esta variedad permite modificar su conformación,

cambiando sus componentes cuando sea necesario.

La investigación relacionada con la variedad Colombia ha continuado desde el momento mismo de su entrega a los caficultores colombianos. Durante este tiempo se han producido nuevos componentes que han mejorado las características inicialmente obtenidas y han permitido mantener “actualizada” la resistencia a la roya, para contrarrestar el efecto causado por la aparición de nuevas razas del patógeno causante del problema.

Un estudio reciente (9) demostró que la adopción de la variedad Colombia por parte de los caficultores es un factor determinante para la reducción de los costos de producción y por ende, para la competitividad del café de Colombia.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada para la inversión en la investigación que condujo a la obtención de la variedad Colombia, varía entre el 21 y el 32%, debido a la economía que representa el no necesitar del control químico de la roya del cafeto cuando se tiene sembrada esta variedad.

En este Boletín Técnico se describen las experiencias adquiridas durante el proceso de adopción de la variedad Colombia, y los avances en la investigación para mantener su vigencia. La información incluida permite considerar como positivo el futuro de las variedades mejoradas con resistencia a una enfermedad limitativa de la producción, como la roya del cafeto.

I. CONCEPTOS DE RESISTENCIA

De acuerdo con Simmonds (28), la resistencia se define como un estado de menos enfermedad, o simplemente, como la capacidad de un hospedante para limitar el crecimiento de un patógeno, según Parlevliet (23).

Cuando ésta es controlada por genes se conoce como resistencia verdadera (1). La misma se clasifica en dos tipos: **vertical** y **horizontal** (29).

La primera, la vertical, opera en la etapa de infección impidiendo el desarrollo del patógeno y su esporulación. Las plantas que poseen este tipo de resistencia tienen apariencia sana, de ahí que también se le denomina como completa o total. Generalmente está regida por uno (monogénica) o pocos genes (oligogénica) y

opera solo contra unas razas del patógeno. Debido a esta condición de especificidad, también se le conoce como específica.

Existe una relación complementaria entre los genes de resistencia específica del hospedante y los de virulencia del patógeno. Esta relación fue propuesta por Flor (11) y se conoce como hipótesis gen a gen, según la cual, cuando un gen de resistencia en la planta coincide con un gen complementario de virulencia en el patógeno ocurre la susceptibilidad; si no coinciden se expresa la resistencia. La interacción entre las plantas de café y la roya se rige por esta hipótesis.

El otro tipo de resistencia, la horizontal, limita en algún

grado los procesos de colonización y esporulación del patógeno. La colonización es lenta y la esporulación reducida y demorada, pero nítidamente observable. Por tal razón se le llama parcial o dilatoria (Figura 1). Opera contra todas las razas de un patógeno, de ahí que se le designe como inespecífica o general. Está controlada por numerosos genes de efecto menor (poligénica), que interactúan con el ambiente. Sin embargo, no siempre la resistencia parcial es poligénica. Para obviar esta confusión creada por las denominaciones usadas, se ha optado por el término resistencia incompleta como referencia a la parcial, independientemente del sistema de genes que la gobiernan.

Figura 1. Izquierda: hoja del café con resistencia horizontal, también conocida como parcial o dilatoria. A la derecha se observa una hoja de la variedad caturra susceptible a la roya del café.



La Variedad Colombia:
Veinte años de adopción

II. ANTECEDENTES SOBRE LA OBTENCIÓN DE LA VARIEDAD COLOMBIA

La ausencia de resistencia a la roya del cafeto en los materiales agrónomicamente sobresalientes mantenidos en la colección de germoplasma de Cenicafé, fue la causa principal para que la obtención de una variedad con resistencia a esta enfermedad se intentara a través del cruzamiento entre plantas, que se complementarían en sus atributos agrónomicos y de resistencia genética. Los progenitores seleccionados para estos cruzamientos fueron la variedad Caturra, de la

especie *Coffea arabica*, y la introducción conocida como Híbrido de Timor (Anexo 1)

Como la roya del café es una enfermedad que se presenta durante los 12 meses del año y que afecta plantas que en promedio pueden durar 20 años, la resistencia genética contra ella debe ser durable. Con base en esta consideración, desde el principio se escogió la diversidad genética como estrategia de mejoramiento para procurar tal durabilidad (Figura 2).



Figura 2. Esquema de mejoramiento utilizado para la obtención de la Variedad Colombia en Cenicafé.

Es importante señalar que esta estrategia no incluyó la realización de retrocruzamientos hacia el padre mejorado, para evitar la pérdida de genes de resistencia.

Los primeros materiales sobresalientes se obtuvieron luego de una estricta selección durante 5 generaciones, considerando características tales como calidad de la bebida y del

grano, porte bajo, alta producción, uniformidad fenotípica razonable, adaptabilidad y obviamente, la resistencia a la roya.

Las progenies obtenidas se propagaron separadamente y se mezcló su semilla, para formar una variedad de tipo "compuesto".

Como resultado de esta primera etapa se obtuvieron unos 50 componentes (23 de fruto rojo y 27 de fruto

amarillo) (Figuras 3 y 4), que fueron la base para disponer de semilla para los agricultores, hasta el año de 1988, aproximadamente.



Figura 3. Componente de la Variedad Colombia de fruto rojo proveniente del cruce de Caturra x H. de T.



Figura 4. Componente de la Variedad Colombia de fruto amarillo proveniente del cruce Caturra x H. de T.

III. EXPERIENCIAS DE LOS AGRICULTORES DURANTE 20 AÑOS DE CULTIVO

Durante los primeros años de su adopción, las objeciones sobre el comportamiento agronómico de la variedad Colombia fueron relativamente frecuentes. Para atender estos reclamos, los profesionales de la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé y del Servicio de Extensión de la Federación de Cafeteros visitaron numerosas fincas localizadas en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca.

La metodología utilizada consistió en visitar las fincas donde se presentaron problemas, describir los síntomas observados y hacer un diagnóstico referente a los mismos. La Tabla 1 resume los resultados de estas visitas.

De su contenido se deducen dos conclusiones principales:

1. No existen problemas de campo que puedan atribuirse exclusivamente a la variedad Colombia, ya que donde ocurren, afectan igualmente a otras variedades, como Caturra y Típica. Problemas ocasionados por condiciones desfavorables de clima o del suelo, también afectan a estas variedades.

2. Los problemas agronómicos observados están relacionados principalmente con prácticas de cultivo deficientes.

Durante la adopción de la variedad ocurrieron en mayor grado, dos situaciones causantes de los problemas observados:

- El deseo de renovar rápidamente la caficultura propició la realización de siembras masivas utilizando prácticas culturales deficientemente planeadas.
- El empleo de semilla producida en fincas de particulares y la siembra de colinos obtenidos fuera de la finca.

Afortunadamente, en los años recientes, los caficultores han superado las dificultades de tipo agronómico para establecer buenos cafetales y por tanto, los reclamos acerca del comportamiento agronómico de la variedad Colombia se han reducido notablemente.

Desde luego, la variedad Colombia no es un material rústico, en el sentido que produzca bien en suelos pobres, con condiciones deficientes, o en climas adversos, especialmente con lluvia escasa.

TABLA 1. Diagnóstico de problemas observados en semilleros, almácigos y lotes comerciales sembrados con Variedad Colombia en la zona cafetera colombiana.

1. Semillero y almácigo		
Frecuencia	Síntomas	Diagnóstico
12%	Baja germinación. Tallos mal formados. Necrosis en las hojas. Tallos torcidos.	Mal manejo de la semilla, Uso excesivo de agroquímicos. Materia orgánica sin descomponer. Almácigos de edad excesiva; transporte inadecuado de los almácigos.
2. Plantación		
55%	Volcamiento de plantas, proliferación de chupones, raíz mal formada.	Siembra deficiente de chapolas; bolsas pequeñas; transplante tardío.
	Plantas mal desarrolladas, crecimiento radical deficiente, baja producción.	Siembra inadecuada de los colinos; escasa fertilización; prácticas culturales deficientes; suelos con limitaciones físicas; mal manejo del suelo por asociaciones inadecuadas (yuca).
12%	Pudriciones radicales, ataques de mancha de hierro en hojas y frutos; grano pequeño.	Exceso de lluvias en zonas con suelos pesados, veranos prolongados.
	Amarillamiento, marchitez y caída de hojas. Muerte de ramas o de los árboles. Presencia de manchas negruzcas en el leño.	Llagas del tallo y de la raíz.
	Secamiento de ramas viejas, nuevas y tallos, lesiones de color rosado.	Mal rosado.
	Necrosis del ápice de tallos y ramas.	Muerte descendente.
6%	Daño radical, anillamiento de tallos y raíces colonizadas por insectos.	Palomilla y hormigas.
15%	Segregación de plantas de porte alto y fenotipos indeseables.	Semillas de origen desconocido.

IV. COMPOSICIÓN DE LA VARIEDAD COLOMBIA

El programa de propagación de los posibles componentes de la Variedad Colombia se inició en 1980 y seleccionó 403 progenies. Estas progenies se estudiaron simultáneamente en experimentos diseñados para ese propósito, cuya información permitió identificar los primeros componentes, de los cuales se obtuvo la semilla para conformar la mezcla distribuida a los caficultores.

Hasta la fecha se han retirado 362 posibles componentes por diferentes

causas, como se aprecia en la Tabla 2.

Tres causas principales, relacionadas con períodos diferentes del plan de selección, explican el mayor porcentaje de constituyentes que han sido retirados del programa.

1. Comportamiento agronómico deficiente de la progenie y apariencia fenotípica indeseable; situación más frecuente en la parte inicial del plan, entre 1980 y 1985.

2. Proporción de café supremo inferior a 60% y

TABLA 2. Causas de la eliminación de posibles componentes de la Variedad Colombia.

Causa de la eliminación		Nº Progenies	%
1.	Presencia de roya en el progenitor o la progenie, en Naranjal.	99	27,3
2.	Mal fenotipo de la progenie.	55	15,2
3.	Varias causas a la vez.	51	14,1
4.	Comportamiento deficiente en el germinador, almácigo y/o en el campo.	47	13,0
5.	Mas de 6 % de grano vano.	36	9,9
6.	Mas de 5% de plantas susceptibles a roya en la progenie (grupo E), en pruebas en el CIFIC.	30	8,3
7.	Tamaño del grano menor del 60% de café supremo en la progenie.	21	5,8
8.	Segregación por altura de la planta.	9	2,5
9.	Presencia de plantas aneuploides en la progenie.	7	1,9
10.	Segregación por el color del fruto.	4	1,1
11.	Susceptibilidad a la mancha mantecosa.	2	0,6
12.	Menor producción con respecto a la variedad Caturra.	1	0,3
		362	100



Figura 5. Cosecha de granos de las diferentes progenies seleccionadas para su estudio como posibles componentes de la variedad Colombia.

defectos de la semilla en proporción mayor a la establecida para la selección (Figuras 5 y 6). Ocurrió con mayor énfasis entre 1986 y 1989.

3. Aparición de razas de *H. vastatrix* compatibles con los derivados de Caturra x Híbrido de Timor, principal causa desde 1990.

La composición actual de la variedad Colombia se deriva de 41 progenies F5 y F6 que representan el 10,2 % de los materiales preseleccionados: la selección a que han sido sometidos es estricta y las características más sobresalientes de su mezcla se aprecian en la Tabla 3.

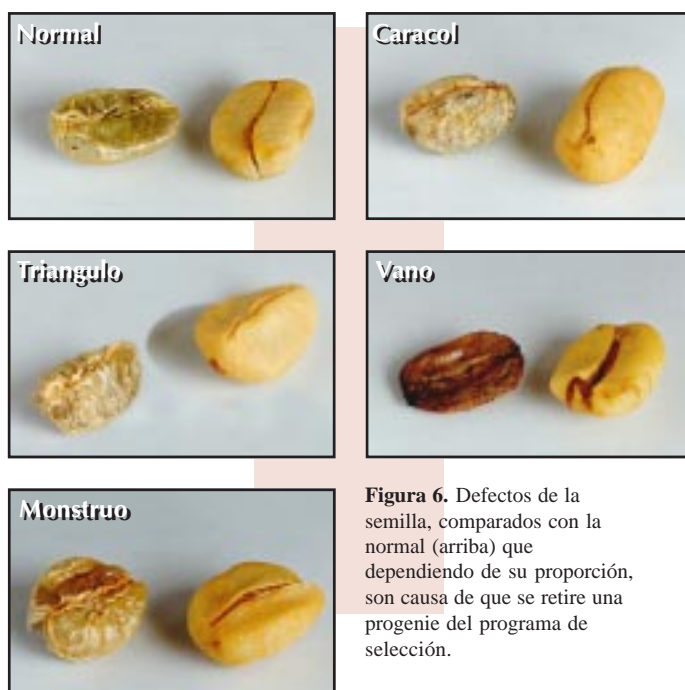


Figura 6. Defectos de la semilla, comparados con la normal (arriba) que dependiendo de su proporción, son causa de que se retire una progenie del programa de selección.

TABLA 3. Principales características de los actuales componentes de la Variedad Colombia.

Característica agronómica	Unidad	Promedio	Rango	
			Mínimo	Máximo
Producción	@cps/ha-año	631	508	702
Café Supremo	%	83	70	92
Grano vano	%	4	2	6
Grano caracol	%	7	3	10

V. PRESENCIA DE NUEVAS RAZAS DE ROYA

Desde 1990 se comenzó a observar incrementos en la presencia de plantas susceptibles a la roya en progenies del cruzamiento Caturra x Híbrido de Timor, incluyendo algunos componentes de la variedad Colombia. Con la finalidad de conocer la evolución del patógeno en esta variedad, se realizaron en 1990, 1994 y 1996 muestreos en plantaciones de agricultores, en los 7 departamentos del país que poseen las mayores áreas sembradas con la variedad Colombia. Estos muestreos indicaron que había un aumento progresivo de plantas susceptibles, espe-

cialmente en el departamento de Caldas, donde existe la mayor superficie sembrada con esta variedad (Tabla 4). Simultáneamente se inocularon con la raza II las hojas provenientes de las plantas con roya encontradas en las plantaciones donde se realizó la muestra. Los resultados de estas pruebas confirmaron la presencia de nuevas razas de roya compatibles con algunos de los genotipos de resistencia existentes en la variedad Colombia (Tabla 5).

La formación de razas es un proceso natural e irreversible de los hongos fitopatógenos

TABLA 4. Proporción de plantas susceptibles a la roya en lotes comerciales de variedad Colombia en tres muestreos.

Depto	1990				1994				1996			
	No.		% de Plantas susceptibles		No.		% de Plantas susceptibles		No.		% de Plantas susceptibles	
	Mpio.	Fincas	\bar{X}	Rango	Mpio.	Fincas	\bar{X}	Rango	Mpio.	Fincas	\bar{X}	Rango
Antioquia	5	6	0,25	0,0-1,0	5	5	0,10	0,0-0,3				
Caldas	2	6	2,56	2,0-4,9	2	5	20,6	1,6-66,0	3	30	17,94	0,6-76,7
Cund.	3	5	0,52	0,0-2,3	3	4	0,10	0,0-0,6				
Quidío	3	5	0,44	0,1-0,7	3	6	2,70	0,6-10,1				
Risaralda	5	5	0,82	0,2-2,5	5	5	0,70	0,2-1,5				
Tolima	3	6	0,36	0,1-1,1	2	6	0,40	0,0-0,8				
Valle	3	5	0,26	0,0-0,5	3	5	1,70	0,0-7,3				
	24	38	0,75	0,0-4,9	23	36	3,76	0,0-66,0				

Tabla 5. Proporción de plantas de Variedad Colombia susceptibles a la roya en el campo, que resultaron resistentes cuando se inocularon con la raza II.

Año muestreo	Plantas inoculadas	Inoculación raza II	
		Plantas susceptibles	Plantas resistentes
1990 *	55	54	1 = 2%
1994 *	61	38	23 = 38%
1996**	60	23	37 = 62%

* = 7 Departamentos.

** = Departamento de Caldas

para sobrevivir. Estos hongos cuentan con una gama de mecanismos de variabilidad que les permiten producir individuos genéticamente diferentes, cuya descendencia da origen a las nuevas razas (4).

Aunque en el caso de *H. vastatrix* no se conoce la vía por la cual se forman las nuevas razas, se cree que la más probable es la ocurrencia, dentro de la población del patógeno, de mutaciones espontáneas y sucesivas en el material genético, que favorecen las formas virulentas. Los nuevos individuos formados convierten en susceptibles hospedantes antes resistentes, proceso conocido con el nombre genérico de “quebra de la resistencia”.



VI. LA DIVERSIDAD GENÉTICA, UNA ESTRATEGIA PARA QUE LA RESISTENCIA SEA DURABLE

La duración de la resistencia, especialmente en cultivos perennes como el café, es uno de los problemas más importantes en el mejoramiento genético. Las causas y los efectos de la pérdida de la resistencia actualmente son objeto de estudio de varios investigadores, quienes finalmente lo que pretenden es proponer un manejo de los genes para que la resistencia sea durable.

La durabilidad de la resistencia ha sido un tema polémico. Sin embargo, de la literatura al respecto (4, 14, 15, 21, 24, 31) se pueden extraer algunos aspectos sobre los cuales hay relativa coincidencia:

- Factores relacionados con el hospedante (genéticos, evolutivos y ambientales), o con el patógeno (tipo de patógeno), pueden afectar la durabilidad de la resistencia.
- La durabilidad no es atributo de una clase particular de resistencia, aunque la mayoría de las

evidencias están a favor de la resistencia poligénica.

- La uniformidad genética de las variedades disminuye la durabilidad de la resistencia, mientras que la diversidad genética contribuye a su aumento.
- La durabilidad puede incrementarse por medio de un manejo adecuado de la resistencia disponible, el cual incluye estrategias tales como uso regional de los genes, variedades multilineales, mezcla de variedades y la acumulación de genes específicos y de resistencia poligénica.

Para obtener la variedad Colombia se utilizó la diversidad genética como estrategia principal para lograr un equilibrio entre hospedantes y patógenos que atenúe la magnitud de las epidemias. Las bases de esta estrategia fueron desarrolladas por Browning *et al.* (3)¹, y han sido de particular importancia en el mejoramiento de plantas, por lo que merecen un

¹ Browning, J. A. comunicación personal.

comentario aparte. Los autores mencionados estudiaron un ecosistema natural en el Medio Oriente y además, analizaron la información producida sobre éste durante 30 años. El ecosistema estaba compuesto por cerca de 40 especies de plantas de importancia económica y una gran cantidad de los patógenos asociados a ellas. La población era muy variable, compuesta por plantas homocigotas y heterocigotas, formando una mezcla heterogénea que también incluía parásitos heterogéneos.

Como hecho destacado se resalta que no obstante la presencia de numerosos patógenos el ecosistema estaba en un “equilibrio

armónico”, donde no predominaban las plantas más resistentes ni desaparecían las más susceptibles, como tampoco las razas más virulentas ni las avirulentas.

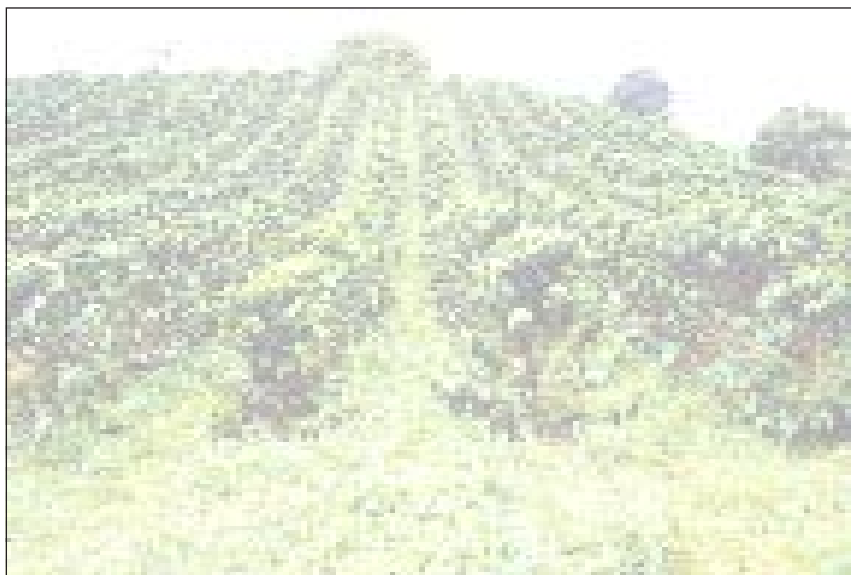
El equilibrio se alcanzó porque en el ecosistema estaban presentes numerosos mecanismos de protección: inmunidad, resistencia específica, resistencia no específica, tolerancia, susceptibilidad, resistencia y susceptibilidad inducidas, antagonismo y homeostasis.

Para explicar la forma como actúa la diversidad genética contra las epidemias, los autores proponen la **“teoría unificada de la protección genética de los cultivos contra las enfermedades”**, según la cual “para proteger

la población, la naturaleza utiliza una resistencia de tipo dilatorio, que retarda la enfermedad, pero para alcanzarla, utiliza muchos tipos de resistencia genética y de estructuras espaciogénicas”.

El interrogante principal planteado en el caso del café y la roya es el siguiente: ¿cómo reproducir la diversidad de un ecosistema natural, como el mencionado, en un ecosistema agrícola, como el café, y hacer que funcione?. La investigación que ha conducido Cenicafé desde que se propuso a desarrollar una variedad con resistencia a la roya ha estado orientada a resolver este interrogante.

Lotes de multiplicación de la Variedad Colombia donde se observan diferentes parcelas conformadas por los distintos materiales genéticos que la conforman.



VII. ¿CUÁNTA DIVERSIDAD GENÉTICA EXISTE EN LA VARIEDAD COLOMBIA?

El origen y la conformación de la variedad Colombia favorecen la existencia y mantenimiento de un nivel importante de diversidad genética, que es de naturaleza diferente.

Resistencia específica. En la variedad Colombia están presentes por lo menos 5 genes de resistencia específica provenientes del Híbrido de Timor, el progenitor resistente. Al segregar, estos genes (Sh6, Sh7, Sh8, Sh9, Sh10) dan origen a 32 combinaciones genotípicas en la población de plantas. Cada combinación es un genotipo de resistencia diferente.

Como el complejo café-roya se rige por los principios enunciados en la hipótesis gen a gen de Flor (11), para anular esas combinaciones de resistencia se necesitaría de igual número de combinaciones de virulencia en el patógeno. Desde luego, se pueden producir razas complejas que anularían las combinaciones de genes de resistencia correspondientes.

Resistencia incompleta. En derivados del Híbrido de Timor también está presente la resistencia incompleta; para abordar su estudio, Cenicafé inició desde 1988 un proyecto de investigación cuyo propósito fundamental es la búsqueda de fuentes de resistencia incompleta a *H. vastatrix*.

En una primera etapa se concluyó la evaluación de 195 progenies de Caturra x Híbrido de Timor susceptibles a la roya, en condiciones de campo y en experimentos debidamente replicados; en la actualidad se están estudiando 286 progenies del mismo origen. En los primeros experimentos finalizados, se estudiaron 42 progenies, para lo cual se desarrollaron métodos de evaluación de la resistencia basados en la medida periódica de incidencia de la enfermedad, defoliación causada por la roya, balance entre foliación y defoliación, intensidad del ataque mediante escalas de campo y el efecto de la roya sobre la producción; éste último,

en períodos de epidemia severa (2, 5, 7). Los resultados más relevantes se presentan a continuación.

De los 42 genotipos evaluados, 29 resultaron resistentes. Para que la separación entre resistentes y susceptibles fuera nítida, los niveles intermedios de resistencia se asumieron como susceptibles.

Las diferencias entre genotipos resistentes y susceptibles son muy notables: en los susceptibles, el progreso de la enfermedad es muy rápido y coincide con el desarrollo de los frutos, y la emisión y nuevo crecimiento de las ramas sobre las cuales se producirá la cosecha siguiente, 18 meses más tarde. En los resistentes, la enfermedad inicia su desarrollo con más de cuatro meses de retraso, lo cual significa que el crecimiento y desarrollo de frutos y ramas ocurren en ausencia de enfermedad, o con niveles muy bajos de incidencia y defoliación (Figura 7).

El efecto de la defoliación en el crecimiento vegetativo se aprecia al examinar el balance de follaje (Figura 8). Para el propósito, el follaje registrado en Abril se toma como 100%. Las diferencias entre el nuevo crecimiento y la defoliación por roya,

muestran que, en los resistentes se incrementa inicialmente en 20% en Junio y antes de la cosecha entre 20 y 60% (agosto), en tanto que en los susceptibles, se reduce 5% en junio y hasta 30% en agosto, antes de la recolección de

los frutos. Este comportamiento permite a las progenies resistentes no sólo llenar sus frutos, sino emitir un vigoroso crecimiento vegetativo sobre el cual se desarrollarán las cosechas subsiguientes.

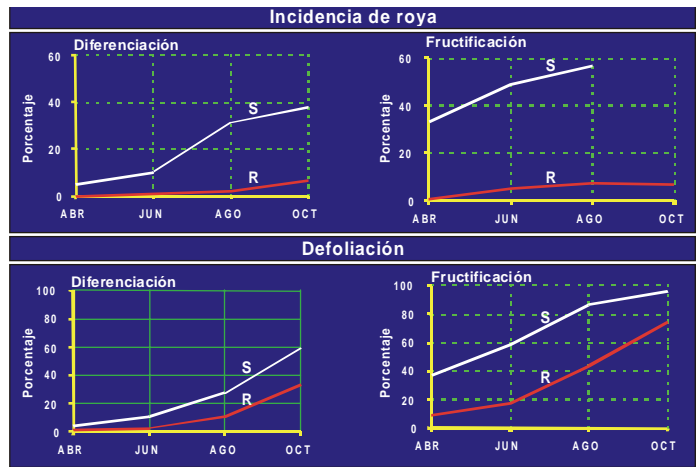


Figura 7. Incidencia de la roya del café y defoliación en progenies resistentes (R) y susceptibles (S) de Caturra x H de T, medidas en los sectores de la planta en diferenciación y fructificación.

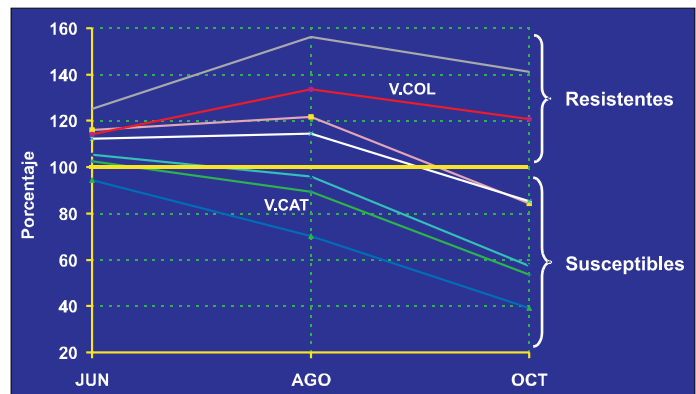


Figura 8. Balance de follaje en progenies resistentes (R) y susceptibles (S) a la roya del café.

La estimación del efecto de la roya sobre la producción se logró comparándola en parcelas con y sin control químico de la enfermedad. Los resultados mostraron que en los genotipos resistentes su producción es igual en presencia y en ausencia de la roya; en tanto que en los susceptibles ocurren pérdidas estadísticamente significativas (Figura 9).

Estos resultados demuestran que las progenies derivadas del cruce con el Híbrido de Timor están protegidas contra la roya por resistencia del tipo incompleto. Parece razonable sugerir que esta resistencia sea de naturaleza

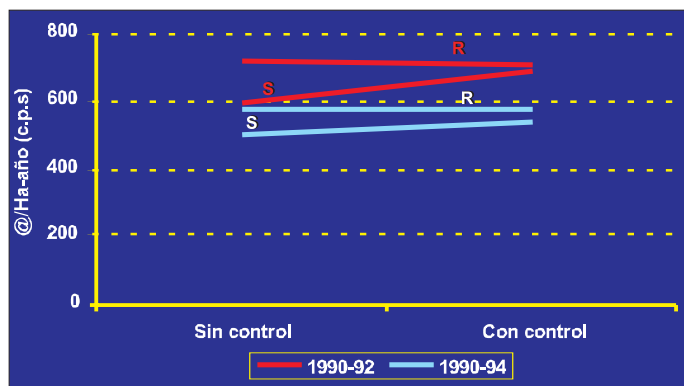


Figura 9. Comportamiento de la producción en progenies de café resistentes (R) y susceptibles (S) a *H. vastatrix* con y sin control químico.

inespecífica, aunque cabe la posibilidad de que además actúe la denominada resistencia residual, conferida por los mismos genes mayores ya vencidos, tal

como lo proponen Riley (25), Vanderplank (29) y Varzea y Rodrigues (30), en el caso del café y la roya.



VIII. ¿CÓMO OPERA LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN LA VARIEDAD COLOMBIA?

En una plantación de Variedad Colombia compuesta por plantas con resistencia completa y por plantas susceptibles, pero con diferentes niveles de resistencia incompleta, están operando varios mecanismos de protección. El ejemplo siguiente ilustra esta situación.

Se trata de un ensayo con 30 progenies F4 de Caturra x Híbrido de Timor, parentales de los primeros componentes de la Variedad Colombia, sembrado en 1977 y que todavía se conserva. El experimento se sembró siguiendo un diseño

completamente al azar, conformando una mezcla de progenies resistentes en un comienzo, que con el tiempo se transformó en una mezcla de materiales resistentes y susceptibles debido a la aparición de nuevas razas. El ensayo incluye 4 variedades testigo susceptibles.

La evolución de la enfermedad se midió con una escala creciente de 10 puntos que integra la incidencia y severidad de la enfermedad (8). El aspecto para destacar es la variación a través del tiempo (Figura 10).

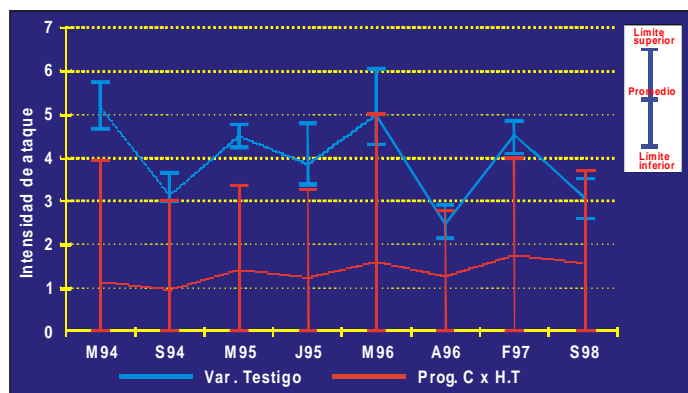


Figura 10. Evaluación de la intensidad de ataque de la roya del café, en variedades testigo y progenies F4 de C x HT, durante 5 años, en Naranjal.

En el grupo de testigos esta variación es muy grande mientras que en el conjunto de progenies la variación de las medias es mucho menor, lo cual le da a este conjunto una característica de “estabilidad a través del tiempo”. Esta condición es inherente a las mezclas de numerosos componentes que se diferencian en su reacción. En mezclas de esta naturaleza la media tiende a oscilar menos, produciéndose un efecto conocido como homeostasis, amortiguador o “buffer”.

En el ecosistema natural estudiado por Browning se identifican como responsables del equilibrio hospedante - patógeno,

nueve mecanismos de protección. No es lógico suponer que en un ecosistema agrícola, como la variedad Colombia, existan tantos como los encontrados en el ecosistema natural. Sin embargo, sabemos que en la Variedad Colombia están actuando la resistencia dilatoria y la específica, posiblemente los factores que más contribuyen a disminuir el impacto de las epidemias.

La acertada elección del Híbrido de Timor como progenitor resistente y la estrategia de mejoramiento utilizada, son la causa de que en la variedad Colombia estén presentes en las mismas plantas los dos tipos

de resistencia mencionados. Cuando esto ocurre, los genes de resistencia específica brindan resistencia completa en ausencia de las razas compatibles, y cuando estas aparecen, la resistencia incompleta se manifiesta. Esta situación es relativamente frecuente en el mejoramiento de plantas, tal como lo explica Parlevliet (24), y de hecho, se está comprobando con los materiales que han hecho parte de la Variedad Colombia, ya que éstos presentaron resistencia completa durante largos períodos y ahora, en presencia de razas nuevas, exhiben niveles altos de resistencia incompleta.

IX. ESTRATEGIAS PARA INTRODUCIR Y MANTENER DIVERSIDAD GENÉTICA EN LA VARIEDAD COLOMBIA

El carácter dinámico de la variedad Colombia permite modificar su composición cuando se considere necesario. Las modificaciones están encaminadas a mejorar las características agronómicas actuales, y a la vez, a introducir nueva diversidad genética respecto a la resistencia a la roya y a mantenerla en la población. Para ello se están realizando 5 estrategias principales, a saber:

1. Desarrollar nuevas progenies a partir de cruzamientos con progenitores de cada una de las introducciones del Híbrido de Timor existentes en Colombia. De estos materiales actualmente se estudian 180 progenies de generaciones avanzadas, algunas muy promisorias.

2. Reconstituir los genotipos presentes en la población original del Híbrido de Timor. Esto se logra haciendo híbridos dobles entre híbridos sencillos en los que intervengan progenitores del Híbrido de Timor de diferente origen, o también, por

medio de retrocruzamientos hacia el padre resistente, pero de origen diferente. De estos materiales se estudian actualmente 60 progenies.

3. Utilizar genes diferentes a los del Híbrido de Timor.

Se trata de cruzar los mejores ejemplares de Caturra x Híbrido de Timor, con híbridos entre Caturra y otras fuentes de resistencia. Actualmente se están identificando estos últimos.

4. Incluir en la selección de componentes de variedad Colombia progenies sobresalientes, con resistencia incompleta.

Para ello se está completando el estudio de los materiales, en diferentes ambientes.

5. Formar variedades compuestas por la mezcla de semilla de los mejores materiales. La entrega a los agricultores de mezclas de semilla de líneas mejoradas continua siendo la mejor alternativa para mantener la diversidad en la población.

Gracias a las estrategias de mejoramiento, la Variedad Colombia se ha mantenido libre de la enfermedad en la mayoría de los casos, y donde las nuevas razas de roya han aparecido y se han establecido, el daño causado es de poca importancia. Esto

se comprobó en 1999 por medio de un muestreo realizado en 945 fincas de agricultores en 7 departamentos del país. Los resultados mostraron que la resistencia completa existente en la mayoría de la población (79,0%), acompa-

ñada de resistencia incompleta, representada por la fracción de la población (19,0%) con bajos niveles de severidad (grados 1 a 4, en una escala de 0 a 9), brindan una protección efectiva contra la enfermedad (Figura 11).

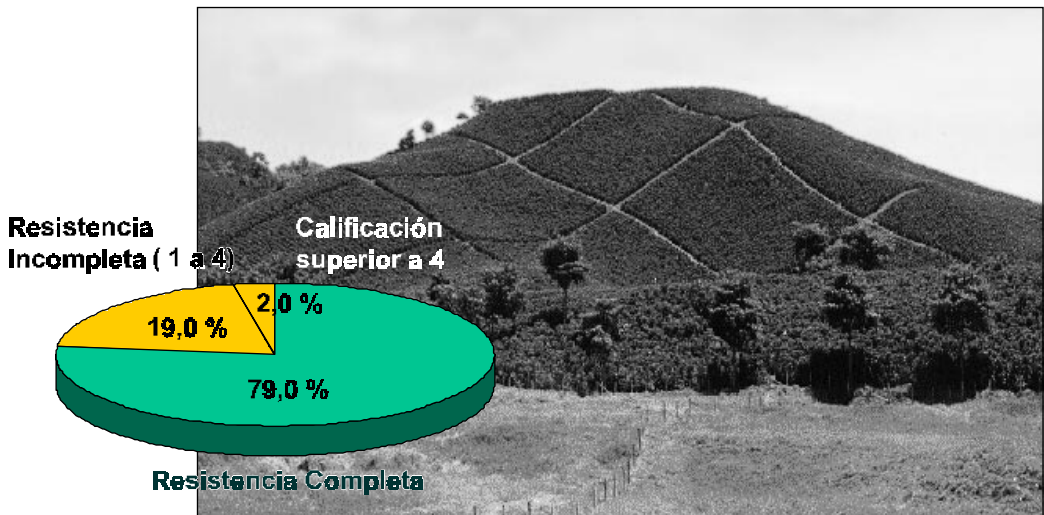


Figura 11. Resultados del muestreo realizado en 945 fincas cafeteras de 7 departamentos. Se observó resistencia en el 98% de los materiales analizados.

X. VARIEDADES MEJORADAS CON RESISTENCIA A LA ROYA, PARA EL FUTURO

La identificación en los últimos años de razas compatibles con la variedad Colombia es un proceso natural inevitable, que está ligado a la evolución normal de los patógenos; sin embargo, esta circunstancia estaba prevista y, como medida para contrarrestarla, la variedad Colombia se desarrolló usando un esquema de mejoramiento especial que permitiera hacer los ajustes necesarios. Estos ajustes darán origen a nuevos materiales sobre los cuales conviene destacar lo siguiente:

- Las variedades mejoradas con resistencia a la roya que se utilizarán en los próximos años, seguirán estando conformadas por mezclas de genotipos, pero a diferencia de las primeras versiones de la variedad Colombia, estarán compuestas por materiales con resistencia completa y con resistencia incompleta.

- La resistencia incompleta, preferiblemente de naturaleza poligénica, podría ser el soporte principal para estabilizar el sistema, pero estará reforzada por resistencia del tipo completo presente en una fracción de la población.

- La experiencia adquirida indica que las variedades desarrolladas siguiendo el esquema de mejoramiento utilizado para obtener la variedad Colombia tienen un futuro promisorio, porque son capaces de producir altos rendimientos en presencia de la roya, sin necesidad de recurrir al control químico.



En algunas áreas cafeteras del país, la adopción de la variedad Colombia ha sido masiva.

LITERATURA CONSULTADA

1. AGRIOS, G. N. Plant Pathology. Academic press. 4 ed. 1997. p 115-142.
2. 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.
3. BROWNING, J. A. Diversity the only assurance against genetic vulnerability to disease in major crops. *In: Central States Forest Tree Improvement Conference, 9a.* Ames, Iowa State University. 1974. 23 p.
4. BURDON, J. J. Genetic variation in pathogen populations and its implications for adaptation to host resistance. *In: Durability of disease resistance.* JACOBS, TH.; PARLEVLIT, J. E. eds. Kluwer Academic Publishers. p 41-56. 1993.
5. CASTILLO Z, J.; ALVARADO A, G. Resistencia incompleta de genotipos de café a la roya bajo condiciones de campo en la región central de Colombia. Cenicafé 48(1): 40-58. 1997.
6. CASTILLO Z., L. J.; MORENO R., L. G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Manizales, Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1987. 169 p.
7. CORTINA G., H. A.; ALVARADO A., G. Análisis de datos provenientes de escalas de campo para seleccionar por resistencia incompleta – el caso café – roya (*Hemileia vastatrix*)-. *Fitopatología colombiana* 18(2): 78-82. 1994.
8. ESKES, A. B.; TOMA-BRAGHINI, M. Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk et Br). Roma, Boletín Fitosanitario FAO, 29(3/4): 56-66. 1981.
9. FARFAN 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
10. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera. Informe Final. Santafé de Bogotá. Federacafé. 1997. 178 p.
11. FLOR, H. H. The complementary genetic system in flax and flax rust. *Advances in Genetics* 8: 29-54. 1956.

12. GONCALVES, M. M. ; RODRIGUES, M. L. Estudos sobre o café de Timor. II. Nota sobre as possibilidades de producao do Híbrido de Timor no seu habitat natural. Lisboa. Missao de Estudos Agronomicos do Ultramar. Comunicacoes No 86: 31-72. 1976.
13. GUERRERO A., G. Estudio de algunos metabolitos secundarios para la diferenciación entre la variedad Colombia de *Coffea arabica* y otros genotipos emparentados. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. (Tesis: PhD en química). 1999. sp.
14. HOGENBOOM., N. G. Economic importance of breeding for disease resistance. *In: Durability of disease resistance.* JACOBS, TH.; PARLEVLIT, J. E. eds. Kluwer Academic Publishers. p 5-9. 1993.
15. JOHNSON, R. Genetic background of durable resistance. *In: Durable Resistance in Crops.* Edited by F. LAMBERTI, F.; WALLER, J.M.; VAN DER GRAAFF, N. A. eds. Series A: Life Sciences vol 55: 5-26. 1982.
16. KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T. ; CARVALHO, A. Taxonomía de *Coffea arabica* L. II. *Coffea arabica* L. Var. Caturra e sua forma Xanthocarpa. BRAGANTIA 9 (9-12):157-163. 1949.
17. LASHERMES, P., CROS, J., COMBES, M. C., TROUSLOT, P., ANTHONY, F., HAMON, S., CHARRIER, A. Inheritance and restriction fragment length polymorphism of chloroplast DNA in the genus *Coffea* L. *Theor. Appl. Genet.* 93: 626-632. 1996.
18. MORENO R, L. G.; CORTINA G, H. A.; MONCADA B, P.; VARZEA, V. M.,; RODRIGUES Jr., C. J. Selección de germoplasma de café resistente a *Colletotrichum kahawae* mediante pruebas de laboratorio. *In: Congreso Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos*, 5. Memorias. 1997. p 125.
19. MORENO R., L. G. Contribución del mejoramiento genético al desarrollo de la caficultura colombiana. *Innovación y Ciencia* 3(2): 1-6. 1994.
20. MORENO R., L. G. Etude du polymorphisme de l-hybride de Timor en vue de l-Amelioration du caffieire Arabica: Variabilité enzymatique et agronomique dans les populations D-origine; resistance incomplète á *Hemileia vastatrix* dans les croisements avec *Coffea arabica*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier. 1989. 153p. (Thèse Docteur - Ingénieur).

21. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Washington. Genetic vulnerability of major crops. 1972. 307 p.
22. OROZCO C., C.; CHALMERS., K. J., WAUGH., R POWELL, W. Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 87: 934-940. 1994.
23. PARLEVLIT, J. E. The multiline approach in cereals to rust: Aspects, problems and possibilities. *Indian Journal of Genetic & Plant Breeding* 39(1): 22-29. 1979.
24. PARLEVLIT, J. E. What is durable resistance, a general outline. *In: Durability of disease resistance.* JACOBS Th.; PARLEVLIT, J.E. eds. Kluwer Academic Publishers. p 23-39. 1993.
25. RILEY, R. Genetic changes in host and the significance of disease. *Annals of Applied Biology* 75: 128-132. 1973.
26. RIVILLAS O., C. A.; LEGUIZAMÓN C., J. E.; GIL V., L.F. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. Boletín Técnico No. 19. 36 p. 1999.
27. SILVA, M. C., VARZEA, V. M., RIJO, L., RODRIGUES JR, C. J., MORENO R, L. G. Cytologic studies in Híbrido de Timor derivatives with resistance to *Colletotrichum kahawae*. Reuniao da sociedade de fitopatologia portuguesa, Lisboa. 1998. sp.
28. SIMMONDS, N. W. Synthesis: The strategy of rust resistance breeding. *In: Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat.* SIMMONDS N. W.; RAJARAM S. eds. México, D. F. CIMMYT. 1988. p 119-136.
29. VANDERPLANK, J. E. Disease resistance in plants. 2a ed. Academic Press. 1984. p 57-81.
30. VARZEA., V. M. P., RODRIGUES Jr., C. J. Evaluation of the level of horizontal resistance to *Hemileia vastatrix* of some Arabica plants of different physiologic groups when confronted with virulent races. *In: Colloque Scientifique International sur le Café*, 11. Lomé 11-15 février 1985. p 625-633.
31. ZADOKS., J. C. The partial past. *In: Durability of disease resistance.* JACOBS Th.; PARLEVLIT, J. E. eds. Kluwer Academic Publishers. p 11-22. 1993.

ANEXO 1

PROGENITORES DE LA VARIEDAD COLOMBIA

La variedad Caturra. (Figura 12) Se cree que se originó por una mutación espontánea observada por primera vez en el Brasil en una plantación de café Borbón. Como todas las variedades de *Coffea arabica*, es autofértil, tetraploide ($2n=4x=44$ cromosomas) y extremadamente homogénea en todas sus características. Se destaca por el porte bajo de sus plantas, característica controlada por un gen dominante (CtCt) que acorta la longitud de los entrenudos del tallo y de las ramas (16). Esta característica le permite ser utilizada en altas densidades



Figura 12. Arbol de café, típico de la variedad caturra.

de siembra, con las cuales se consiguen altas producciones por unidad de superficie.

Fue introducida a Colombia en 1952 procedente del Brasil, y desde entonces se ha difundido ampliamente entre los caficultores, debido a la investigación realizada por CENICAFE que puso en evidencia sus cualidades: alta producción, excelente calidad de la bebida, amplia adaptación, buenas características del grano, entre otras. Desafortunadamente, es altamente susceptible a la roya del café.

El Híbrido de Timor. (Figura 13) Es una población heterogénea de cafetos multiplicada a través de semillas recolectadas inicialmente en una sola planta, descubierta en la Isla de Timor en la década de 1940-50 dentro de una plantación de *C. arabica* (12).

Se ha propuesto que el Híbrido de Timor se formó a partir de un cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*. Los argumentos a favor de esta hipótesis son la presencia en la región de estas dos especies y las características de la planta "original" y de sus descendientes, que reúnen atributos de las dos especies.

La población Híbrido de Timor se comporta como una introducción más de la especie *C. arabica*. Por una parte, sus plantas también son tetraploides ($2n=4x=44$ cromosomas) y



Figura 13. Híbrido de Timor

autocompatibles. Por otra, se cruza fácilmente con variedades de *Coffea arabica*, produciendo descendientes con un nivel de fertilidad grande.

Entre el Híbrido de Timor y la especie *C. arabica* existe un grado de afinidad importante atribuible a que la población original de este híbrido parece haber sufrido varios retrocruzamientos hacia *C. arabica* (20). Esta sería la razón por la cual cuando se han comparado las principales variedades comerciales de *C. arabica*, con el Híbrido de Timor y con la descendencia de sus cruces con Caturra, el grado de polimorfismo ha sido relativamente bajo, al emplear para la comparación compuestos isoenzimáticos (20), pruebas de ADN (17, 22) o análisis de metabolitos secundarios (13).

De otra parte, el Híbrido de Timor ha sido utilizado como progenitor en programas de mejoramiento genético de varios

países, especialmente por su resistencia a la roya. En efecto, en esta población están presentes por lo menos 5 genes de resistencia específica, y además posee resistencia incompleta (6). Vale la pena mencionar que en las plantaciones comerciales de Híbrido de Timor, en el lugar de origen, parece existir un equilibrio entre el café y la roya (12). Seguramente la acción conjunta de los genes de resistencia específica en segregación y de la resistencia incompleta, son la causa de que este equilibrio se haya mantenido por muchos años. Esta es la razón principal por la cual en Colombia fue escogido el Híbrido de Timor como progenitor resistente, empleado con una estrategia de mejoramiento basada en la diversidad genética.

Además de la resistencia a la roya, exhaustivamente comprobada, el Híbrido de Timor posee resistencia a otra enfermedad limitante, conocida como enfermedad de los frutos del café, o CBD, causada por el hongo *Colletotrichum kahawe*. Evaluaciones de campo y pruebas de laboratorio efectuadas en Kenia y en el CIFC, en Portugal, en ejemplares del Híbrido de Timor y en la descendencia de sus cruces con *C. arabica*, así lo indican (18, 19, 27).

En el mundo se dispone de germoplasma del Híbrido de Timor proveniente de 3 recolecciones de semilla hechas en las plantaciones de Timor, enviadas al CIFC, Portugal, a partir de 1955, y difundidas por ese centro, principalmente a la América. A Colombia fue introducido a partir de 1961 y actualmente existen materiales derivados de las 3 recolecciones mencionadas. Árboles provenientes de estas recolecciones han sido seleccionados en Colombia y se están utilizando en el programa de hibridación, para desarrollar materiales mejorados con resistencia a la roya.