

LA HIBRIDACION INTERESPECIFICA EN CAFE Y LAS POSIBILIDADES DE LOS HIBRIDOS TRIPLOIDES

FRANCISCO JAVIER OROZCO C.

Asistente de la Sección de Fitomejoramiento, CENICAFE

INTRODUCCION

La especie *Coffea arabica* L y especialmente las variedades caturra y típica cultivadas en Colombia, tienen escasa o nula variabilidad genética, poseen muy buenas características de calidad de la bebida y un nivel aceptable de producción por árbol, pero carecen de algunas cualidades necesarias para alcanzar una mejor productividad, tales como la resistencia a plagas y enfermedades y la rusticidad o la tolerancia a factores adversos de clima y suelo.

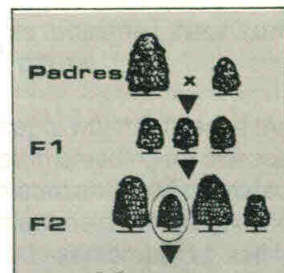
La mayoría de las características deseables para las variedades cultivadas de *C. arabica* se encuentran en especies diploides, tales como: *C. canephora*, *C. liberica*, *C. stenophylla*. La manera más adecuada de introducir a *C. arabica* las buenas características de estas especies es mediante un programa de hibridación interespecífica diseñado para tal fin.

Dicho programa se implementó y desarrolló en CENICAFE con base en hipótesis descritas en 1976 (13) las cuales se fundamentan en las ventajas de utilización de los híbridos triploides, como vía de mejoramiento genético de *C. arabica*; esencialmente se argumentó la incorporación inicial de menor número de caracteres de la especie diploide, por la no duplicación de cromosomas de la misma, antes de los cruzamientos con la especie tetraploide *C. arabica*. También se postuló la recombinación forzosa de características de la especie diploide con la tetraploide, al enfrentarse en la meiosis del híbrido, los juegos cromosómicos simples de las dos especies.

En el presente artículo se amplían las hipótesis mencionadas y se discuten algunos de los resultados obtenidos en 15 años de trabajo de hibridación interespecífica, utilizando los híbridos triploides, como fuente básica de materiales, para la producción de variedades mejoradas de *C. arabica*.

CARACTERISTICAS DEL GENERO *Coffea*

El género *Coffea* puede dividirse de acuerdo con el número cromosómico en dos grupos: Un grupo constituido por la mayoría de las especies del género (*C. canephora*, *C. liberica*, *C. stenophylla*, *C. racemosa*) con $2n = 22$ cromosomas (especies diploides) y un grupo conformado por la única especie tetraploide *C. arabica*, con sus variedades Caturra, Típica, Borbón, etc., con $2n = 44$ cromosomas.



Estos dos grupos de especies difieren, además del número cromosómico, en algunos aspectos básicos como la forma de la polinización; cruzada, para la mayoría de las especies diploides, debida a la autoincompatibilidad. Esta característica origina la heterocigocis o heterogeneidad entre las plantas de las especies diploides, mientras que las variedades de *C. arabica* son altamente homocigotas u homogéneas, debido a su casi completa autopolinización.

Las especies diploides poseen una serie de características de resistencia a plagas y especialmente a enfermedades como la roya y el CBD, que no tienen las variedades de *C. arabica*. Además tienen ventajas en cuanto a rusticidad y factores que pueden aumentar la producción, tales como: el mayor número de nudos con frutos y de frutos por nudo, los cuales sería conveniente introducir a *C. arabica*, conservando la calidad del grano y de la taza de esta especie.

FUENTES DE GENES PARA EL MEJORAMIENTO DE *C. arabica*

Para mejorar las características de las variedades cultivadas de *C. arabica* pueden mencionarse tres grupos de plantas, como fuentes de genes. Estos son: a) Otras introducciones o variedades de *C. arabica*, especialmente las de origen Etíope; b) Los híbridos interespecíficos naturales, tales como el Híbrido de Timor (híbrido natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora*) (3, 4,) con características predominantes de *C. arabica*, y la resistencia a la roya y al CBD de *C. canephora*; y 3) Los híbridos interespecíficos artificiales o elaborados por los mejoradores en distintos centros experimentales, con diversos métodos y diferentes objetivos. Consideramos que el grupo más promisorio para los mejoradores de *C. arabica* es éste último, es decir, las plantas provenientes de la hibridación interespecífica orientada.

En el mejoramiento genético del cafeto por hibridación, entre especies diploides con la especie tetraploide *C. arabica*, se han utilizado básicamente dos métodos: 1) La duplicación de la especie diploide y el cruzamiento posterior del tetraploide artificial con la especie *C. arabica*. Por este método se han creado los Arabusta en Costa de Marfil (1,5) y el Icatu en el Brasil (6, 7, 8). En ambos casos con propósitos diferentes, en los Arabusta para mejorar las características de *C. canephora* y en el Icatu para mejorar las variedades de *C. arabica*. El segundo caso (Icatu), más cercano al nuestro (cultivadores de *C. arabica*), se ha desarrollado un programa de mejoramiento que ha demandado más de 40 años de trabajo y entre 3 y 4 retrocruzamientos del híbrido a *C. arabica*. Este proceso tan prolongado es debido a la

numerosa cantidad inicial de características de la especie diploide, *C. canephora*, que se introdujo en el híbrido por haber duplicado esta especie antes de realizar los cruzamientos y, a que se utilizaron varias variedades de *C. arabica*, como progenitores recurrentes, en los retrocruzamientos.

Otro método utilizado, primero en Brasil y más recientemente en Africa (10) es la realización del cruzamiento, sin duplicación inicial, entre las especies diploide y tetraploide, la obtención de híbridos F1 triploides y la posterior duplicación cromosómica de éstos, para obtener plantas hexaploides. Estos híbridos han presentado algunos inconvenientes debidos a la complejidad del funcionamiento cromosómico, por tener plantas con 2 genomas completos de cada especie ($2n = 66$ cromosomas).

Ambas vías de hibridación interespecífica se han utilizado basados en la creencia que los híbridos triploides son estériles o casi estériles (1, 5, 6, 16) y que la única forma de alcanzar híbridos fértiles es duplicando la especie diploide o el híbrido triploide. Consideramos que estas conclusiones fueron debidas a que se utilizaron pocos progenitores de la especie diploide para los cruzamientos y además, a que se obtuvieron y estudiaron pocos híbridos triploides F1.

En una planta perenne o semiperenne, como el café, los procesos de mejoramiento y la producción de nuevas variedades pueden demandar entre 20 y 30 años, mucho más si se utilizan métodos de hibridación interespecífica o intervarietal, en los cuales haya que recurrir a varios retrocruzamientos y a varios ciclos de selección.

Debido a estas dificultades era conveniente estudiar y proponer alternativas eficientes que demandarán menor tiempo para la producción de variedades mejoradas de *C. arabica*.

Se evidenció, desde los primeros trabajos (11, 12), la posibilidad de utilizar los híbridos triploides, sin duplicación cromosómica, ya que éstos podían ofrecer la ventaja de portar menor cantidad de características de la especie diploide.

Se observó que los híbridos triploides F1 difieren en cuanto a su grado de fertilidad, poseyendo algunos de ellos, fertilidad aceptable y útil para obtener generaciones F2 o para realizar retrocruzamientos a *C. arabica*.

Cada vez está más claro que el género *Coffea* posee un genoma básico similar para todas las especies diploi-

des (2, 9) existiendo pocas diferencias que establezcan una barrera tal, que separe las especies diploides, haciéndolas incompatibles o imposibles de cruzar entre sí. En la meiosis de los híbridos entre las especies diploides los cromosomas se asocian en bivalentes en número cercano a 10, aún, perteneciendo a subsecciones diferentes. La especie tetraploide *C. arabica* posee un genoma similar al de las especies diploides y otro un poco diferente, probablemente, compuesto por cromosomas modificados de varias especies diploides. La especie tetraploide *C. arabica* evidencia la homología cromosómica en los cruzamientos con las especies diploides, en las asociaciones bivalentes y trivalentes en la meiosis de los híbridos triploides (2, 9).

Se postuló (13) que si se utilizaban los híbridos triploides se podía lograr el intercambio genético forzoso entre los genomas de *C. arabica* y *C. canephora*, por asociación o intercambios entre cromosomas homólogos u homeólogos. Consideramos hoy que esta hipótesis se puede generalizar a varias de las combinaciones entre especies diploides y *C. arabica*.

Existe diferente grado de aptitud combinatoria específica entre los árboles de las especies diploides y una variedad de *C. arabica*, es decir, que no todos los árboles de la especie diploide son igualmente compatibles con determinada variedad de *C. arabica* y las variedades de *C. arabica* no tienen el mismo grado de compatibilidad o posibilidad de obtención de híbridos, con una determinada especie diploide. Por lo anterior, existe la necesidad de realizar numerosos cruzamientos con diferentes progenitores diploides y algunas variedades "tipo" de *C. arabica*. Debido a que el género *Coffea* posee el mismo genoma básico hace que sean frecuentes las asociaciones cromosómicas en los híbridos de las especies. Este hecho facilita el intercambio de genes entre especies y el trabajo de mejoramiento genético por hibridación interespecífica. La no duplicación de la especie diploide, antes de cruzarla con *C. arabica* hace menor el número de caracteres no deseados, acortando el proceso de mejoramiento.

Para presionar la selección de los gametos viables, con cerca a 22 cromosomas, en los híbridos triploides, ya que éstos producen gametos con diferente número cromosómico, se rodearon los árboles triploides con plantas de la variedad seleccionada de *C. arabica*, la cual posee gametos masculinos (polen) y femeninos (óvulos) con 22 cromosomas).

Las combinaciones viables dirigidas (retrocruzamientos) o los cruzamientos naturales (semillas de los híbridos triploides) resultan, la mayoría, con 44 cromosomas o con número cercano a 44.

El trabajo de mejoramiento genético utilizando los híbridos triploides se esquematiza en la Tabla 1, en la cual se describen dos rutas: 1) el retrocruzamiento dirigido del híbrido triploide a *C. arabica* y 2) la obtención de generaciones a partir de la polinización natural del híbrido triploide; en este caso, se utiliza además de la herencia de origen nuclear, la herencia citoplásmica que se tenga en las plantas triploides que se han utilizado como progenitor femenino.

RESULTADOS

Resistencia a la roya

Tanto en los materiales de retrocruzamiento dirigido como en las progenies de polinización natural son frecuentes las plantas con resistencia específica (Tabla 2) en mayor porcentaje en las generaciones de polinización natural (G2 y G3).

Dentro de las plantas que no presentan resistencia específica se evidencian diferentes grados de resistencia parcial, manifiestos en el tipo de reacción.

En las poblaciones de origen híbrido especialmente en la segunda generación de triploides (G2), son más frecuentes las plantas con algún grado de resistencia parcial, siendo relativamente escasas las plantas que presentan susceptibilidad similar a la variedad Caturra (alto porcentaje de hojas atacadas, amarillamiento, defoliación y secamiento de frutos). Tabla 2.

De los resultados generales anteriores, puede deducirse que: a través de los híbridos triploides pueden incorporarse a *C. arabica* genes de resistencia específica e inespecífica o general a la roya del café. Por las proporciones de plantas con diferentes grados de resistencia parcial y por el número bajo de plantas completamente susceptibles (tipo Caturra), puede entreverse la presencia de varios genes de resistencia parcial o no específica en estas poblaciones.

TABLA 1. Esquema de mejoramiento utilizando triploides.

P	<i>C. arabica</i>	x	<i>C. canephora</i>
1	F1 triploide		F1 de RC1
2	G2 (2ª generación)		F2 de RC1
3	G3 (3ª generación)		F3 de RC1
n	Gn (n generación)		Fn de RC1

TABLA 2. Respuesta al ataque de roya. Número y porcentajes de plantas con resistencia específica o parcial en varias generaciones de H. triploides.

Generación	Resistencia específica				Grados de resistencia parcial*			
	Resistentes		Susceptibles		Resistentes	Moderadamente resistentes	Moderadamente susceptibles	Susceptible
	Plantas		Plantas					
	#	%	#	%	0.5 - 2.0	2.5 - 5.0	5.5 - 7.0	7.5 - 9.0
F1 de RC1	270	35	510	65	15	20	45	20
F3 de RC1	10	3	280	97	18	43	27	12
G2	565	48	615	52	22	30	45	3
G3	115	35	210	65	18	18	20	44

*Adaptación de la escala de Eskes

Tipos de árbol

Los árboles F1 triploides presentan, en general, características intermedias entre las especies *C. arabica* y *C. canephora* varían, de acuerdo con el progenitor de *C. canephora*, especialmente en tamaño y forma de las hojas. En las condiciones de Colombia (CENICAFE) son muy vigorosos y con ramificación abundante.

Las plantas provenientes de polinización natural de triploides (G2) presentan una amplia variación morfológica en cuanto a tipos de árbol, forma de las hojas, flores, frutos, etc. Se pueden clasificar en 5 grupos, de acuerdo a su fenotipo. Tabla 3.

Hay dos grupos de plantas similares a los progenitores: *C. arabica* var. Caturra o *C. canephora* (tipos 1 y 5). Dos grupos con características predominantes de uno de los progenitores, pero con algunos rasgos del

TABLA 3. Tipos de árbol en 2ª generación de H. triploides

Tipo	Plantas	
	Nro	%
1. Tipo Caturra	59	5
2. 75% Caturra	378	31
3. Intermedio	418	34
4. 75% Canephora	324	27
5. Tipo Canephora	35	3
Total	1214	100

otro (tipos 2 y 4). Y un grupo intermedio, el más numeroso, que reúne las plantas de tipo intermedio, los anormales, los nuevamente triploides, algunos, posiblemente, aneuploides y algunas plantas con características diferentes a las de los progenitores o a las combinaciones entre estos, "tipos nuevos" (Grupo 3). Tabla 3.

Las plantas similares a los progenitores son poco numerosas (3 y 5%) pero las plantas en las que predomina uno de los progenitores representan un 30% de la población en cada tipo (tipos 2 y 4).

Esta distribución nos permite seleccionar plantas de tipo Caturra o predominantemente caturra o de tipo canephora o predominantemente canephora. Esto hace que la vía de los híbridos triploides sea útil tanto para los mejoradores de *C. arabica* como para los mejoradores de *C. canephora*. Los tipos de árbol similares a *C. canephora* son el producto del entrecruzamiento de plantas F1 triploides y no aparecen en los retrocruzamientos.

En las plantas provenientes de retrocruzamiento controlado y de la tercera generación de polinización natural de híbridos F1 triploides, después de seleccionar (en la segunda generación), las plantas de tipo Caturra o predominantemente Caturra, fue necesario establecer una escala de clasificación fenotípica diferente a la descrita en la Tabla 3, teniendo como prototipo la variedad Caturra de *C. arabica* (tipo 9). Los tipos 1, 2 y 3, son plantas diferentes al Caturra o anormales, los tipos 4 a 7 tienen algunas características de *C. canephora*, pero en porcentajes relativamente bajos.

Los porcentajes establecidos en la Tabla 4, para cada tipo de planta, muestran como en estas poblaciones, F1 de RC1 y G3 (tercera generación de triploides) predominan las plantas con fenotipo cercano o similar al de la variedad Caturra, con variación un poco mayor en las plantas F1 de RC1.

Las características fenotípicas descritas, diferencian claramente la población de retrocruzamiento dirigido de la población originada en la polinización natural de híbridos triploides.

PRODUCCION

Como ya se mencionó, los híbridos triploides F1 varían en cuanto a su grado de fertilidad, habiendo desde plantas estériles o casi estériles hasta medianamente fértiles, éstas últimas facilitan la obtención de progenies especialmente de polinización natural.

Dentro de los híbridos F1 aparece un porcentaje relativamente alto (1%) de autoploiploides espontáneos, fértiles y en su mayoría de tipo ARABUSTA, es decir, predominan en ellos las características de *C. canephora* y la hoja grande y ovalada.

Únicamente un árbol, de 10 autoploiploides, presenta características de *C. arabica*, fertilidad y resistencia específica a la roya.

Producción en generaciones de retrocruzamiento

Las plantas de primera generación de retrocruzamiento (F1 de RC1), presentan en su producción acumulada de tres cosechas (en kilogramos de café en cereza),

una distribución normal, con tendencia similar a la de plantas de la variedad Caturra sin control de roya. Hay un buen número de plantas híbridas con baja producción, pero a la vez existe un número considerable de plantas que superan los promedios del Caturra (100 de 300). Figura 1. Esta producción superior se debe a la fertilidad de las plantas y a la resistencia a roya.

Al observar en la Figura 2 la distribución de los árboles de la tercera generación del primer retrocruzamiento (F3 de RC1), respecto a su producción puede verse claramente que las plantas de origen híbrido superan en su gran mayoría los promedios del Caturra, el promedio de la población F3 está por encima del límite superior del Caturra; el número de plantas poco productivas es bajo. Los resultados anteriores indican que: la fertilidad se recupera notoriamente con un retrocruzamiento; en las generaciones posteriores, F3 de RC1, se alcanzan niveles de producción altos en la mayoría de las plantas, pudiéndose conseguir progenies muy productivas.

Producción en generaciones de polinización natural

Las plantas de la segunda generación de triploides (G2) muestran una distribución asimétrica, dispersa y sesgada hacia un mayor número de individuos de baja producción o fertilidad (en esta población puede haber buen número de triploides, aneuploides y anormales); es notable que con sólo una generación, a partir de plantas triploides, se encuentren numerosas plantas fértiles, comercialmente productivas. Aproximadamente 300 plantas de un total de 1.200 (25%), superan el promedio de producción de las plantas de la variedad Caturra sin control de la roya; y más de 60 plantas (5%), superan los

TABLA 4. Tipos de árbol con relación al Caturra en varias generaciones de híbridos triploides.

	F1 de RC1 Plantas		F3 de RC1 Plantas		F3 de triploides Plantas	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Tipo 1	0	0	0	0	0	0
Tipo 2	1	0.5	0	0	0	0
Tipo 3	1	0.5	0	0	0	0
Tipo 4	41	14	1	0.5	12	4
Tipo 5	31	10	1	0.5	5	1
Tipo 6	39	13	12	4	36	11
Tipo 7	54	18	97	34	55	17
Tipo 8	50	16	170	59	117	36
Caturra 9	86	28	6	2	102	31
Total	304	100	287	100	328	100

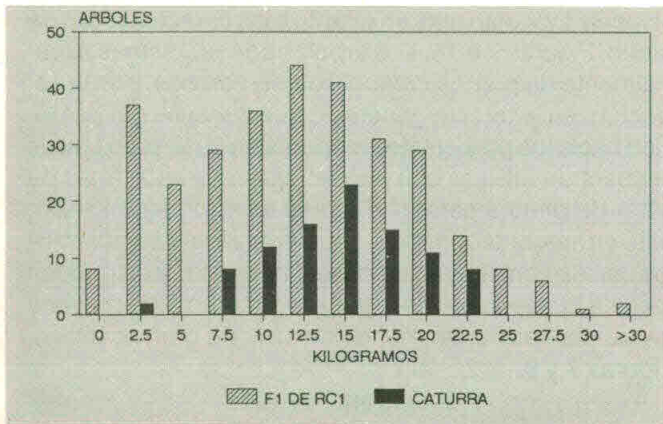


FIGURA 1. Distribución de la producción en progenies F1 de RC1.

30 kilogramos de café en cereza (un promedio de 10 kilogramos por árbol/año, producción similar a la de las mejores variedades cultivadas). Figura 3.

En la tercera generación (G3) la población se distribuye en forma casi normal. Más de la mitad de las plantas superan los promedios del Caturra y de nuevo se tienen plantas con alta producción (más de 30 kilos). Figura 4.

Al comparar las dos poblaciones (de retrocruzamiento y de polinización natural), es fácil establecer la diferencia entre la F1 de RC1 y la segunda generación de triploides (G2). Tienen alguna similitud las poblaciones F1 de RC1 y la tercera generación de triploides (G3). Figuras 1 y 4.

Es necesario aclarar que la mayoría de las plantas de la F1 de RC1 son autofértiles y que las plantas estudiadas de tipo similar a *C. arabica* en la segunda

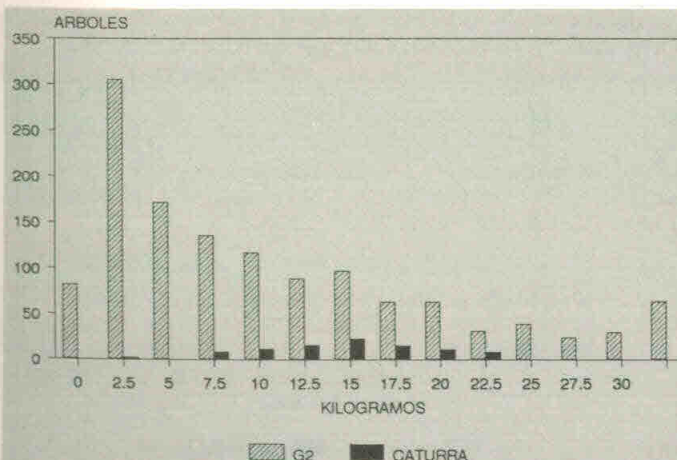


FIGURA 3. Distribución de la producción en árboles G2 de triploides.

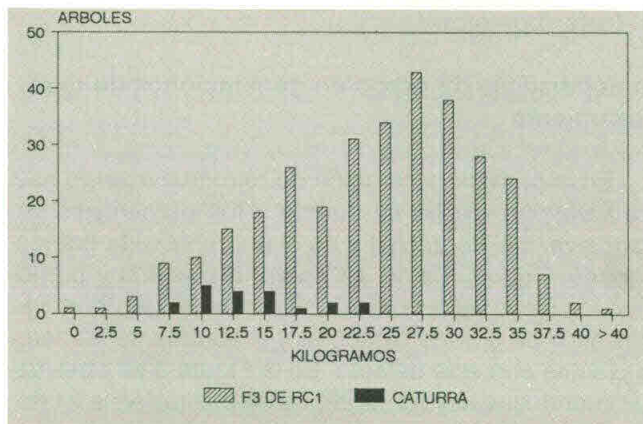


FIGURA 2. Distribución de la producción en progenies F3 de RC1.

generación de triploides (G2), también lo son. En las plantas de tipo *C. canephora*, no se ha estudiado si se presenta esta misma condición.

CARACTERISTICAS DEL GRANO

Tamaño y anomalías

Las características de los granos, especialmente los porcentajes de granos anormales son una medida indirecta de las anomalías meióticas o desajustes cromosómicos o génicos de las plantas de origen híbrido; además, deben cumplirse exigencias comerciales determinadas en tamaño de grano y en porcentajes aceptados de anormales.

Las variedades cultivadas, como el Caturra, tienen promedios conocidos y aceptados de las características de grano que sirven como patrón: menos de 4% de granos vacíos o vanos, menos de 8% de granos cara-

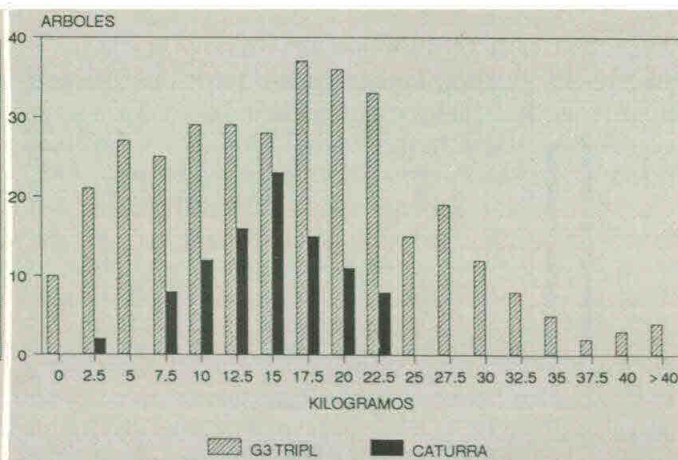


FIGURA 4. Distribución de la producción en progenies G3 de triploides.

coles y entre 60 y 65% de granos verdes con más de 17/64" (café supremo).

Características de grano en generaciones de retrocruzamiento

En la primera generación de retrocruzamiento hay una variación amplia en cuanto a los porcentajes de granos vacíos, caracoles y en el porcentaje de granos grandes. Figuras 5 a 16. La mayor dispersión y por lo tanto los mayores problemas se tienen con los porcentajes altos de granos caracoles y el abundante número de plantas con este defecto. En la Figura 5 se observa claramente que hay 2 subgrupos de plantas en la F1 de RC1; un grupo numeroso con porcentajes cercanos a los de la variedad Caturra (entre 2.5 y 20% de granos caracol) y un grupo igualmente numeroso con porcentajes altos de caracoles (más de 20%).

Por efecto de selección es posible reducir a niveles comerciales los porcentajes de estos defectos (granos vacíos y caracoles), Figuras 6 y 10, y tener buen tamaño de grano en la mayoría de las plantas en la F3 de RC1. Figura 14.

En las generaciones de retrocruzamiento hay progenes completas sin problemas de anomalías en los granos y de buen tamaño de grano desde la F1 de RC1.

La selección garantiza la obtención de progenes F3 de RC1, con muy buena producción, buen tamaño de grano, sin problemas de anomalía en los granos y con resistencia a roya.

Características de los granos en generaciones de polinización natural

Las generaciones de polinización natural son más dispersas y varían más en cuanto a las características de grano, Figuras 7 a 16. Los árboles con problemas especialmente de granos caracol son numerosos, con la selección, en la tercera generación se concentra la población hacia los porcentajes menores de 20%, pero aún se encuentran árboles con porcentajes muy altos (más de 40%) de granos caracol, Figuras 11 y 12; algo similar, pero en menor proporción, ocurre para los granos vacíos los cuales constituyen un problema menor y responden mejor a la selección. En la tercera generación la mayoría de las plantas tienen menos de 15% de granos vacíos, Figuras 7 y 8.

El tamaño del grano en la segunda generación de origen triploide muestra plantas con alto, medio y bajo porcentaje de granos grandes. Buen número de plantas presenta más de 70% de granos con tamaño mayor a 17/64" (café supremo) algunas con más de 80%, estas plantas son escasas en los retrocruzamientos dirigidos. Figuras 15 y 16.

Muy pocas progenes de la tercera generación (G3) (1 de 16) tienen todas las plantas sin problemas de granos anormales y con buen tamaño de grano. Se requiere avanzar a la cuarta generación.

OTRAS CARACTERISTICAS

En las poblaciones de origen híbrido se están tomando una serie de medidas relacionadas con la morfología de las plantas y con características relacionadas con la producción, tales como: ramificación, número de nudos con frutos por rama, número de frutos por nudo, entre otras. En la Tabla 5 se destacan los promedios de estas características.

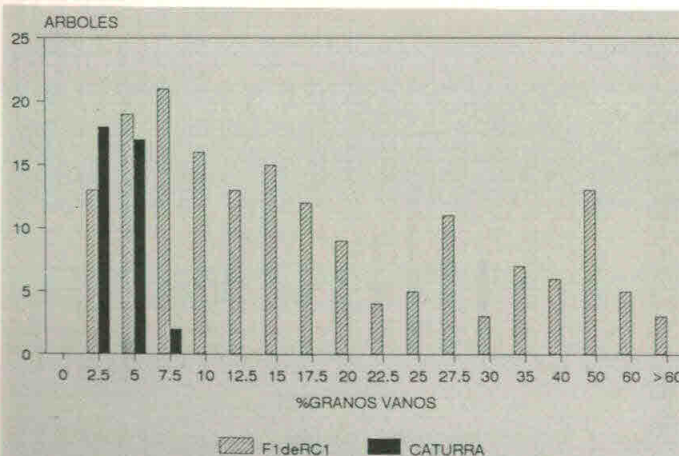


FIGURA 5. Distribución de granos vanos en progenes F1 de RC1 de triploides.

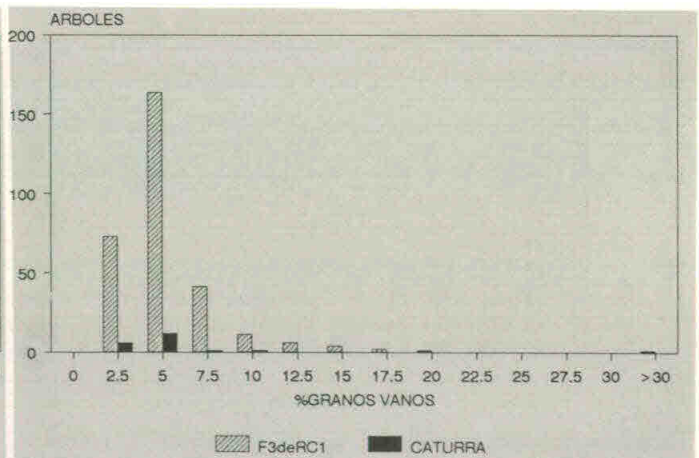


FIGURA 6. Distribución de granos vanos en progenes de F3 de RC1 de triploides.

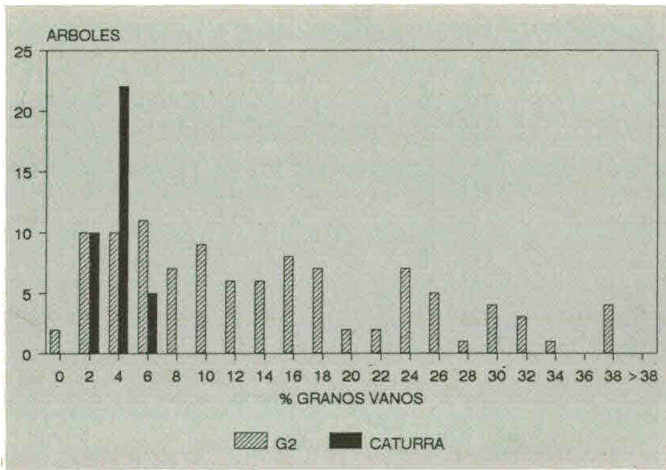


FIGURA 7. Distribución de los granos vanos en árboles G2 de triploides.

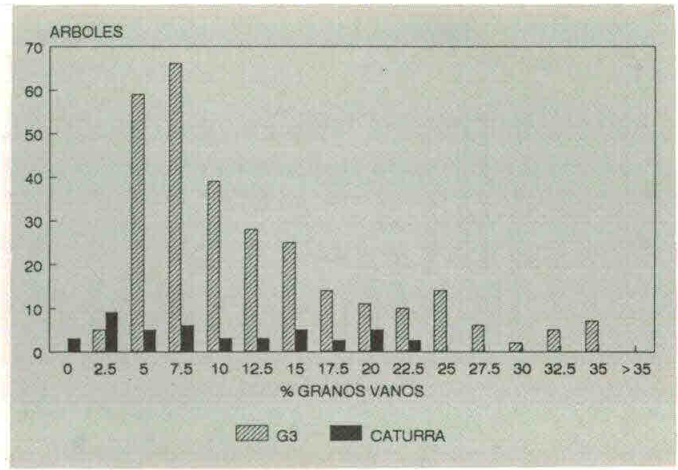


FIGURA 8. Distribución de los granos vanos en progenies G3 de triploides.

El promedio de los nudos con frutos por rama varía poco y es ligeramente superior en *C. canephora* (13 nudos contra 10 de *C. arabica* var. Caturra).

En las progenies de origen híbrido son frecuentes las plantas con un número de nudos con frutos superior a Caturra. Los frutos por nudo son una característica más variable, pero, es conocido que la especie *C. canephora* presenta, en general, nudos con mayor número de frutos que la especie *C. arabica* (18). En los materiales de origen triploide las variaciones son amplias, la mayoría de las generaciones presentan promedios superiores a los de la especie *C. arabica* y son frecuentes las plantas con un número de frutos por nudo cercano al promedio de *C. canephora*. Es decir, que es posible obtener y seleccionar plantas potencialmente más productivas que las de la variedad Caturra, dentro de las poblaciones de origen híbrido.

TABLA 5. Nudos con frutos y frutos por nudo en varias generaciones triploides.

Generación	Promedio Nudos con frutos	Frutos por nudo		
		Promedio	Máximo	Mínimo
G2	12	10	29	4
G3	12	17	27	5
F1 de RC1	11	14	31	6
F3 de RC1	12	16	25	4
Caturra	10	10	14	4
Canephora	13	27	40	18

CONCLUSIONES

Como puede deducirse de los resultados, las posibilidades de uso de los híbridos triploides para el mejoramiento de *C. arabica*, son evidentes. Los progresos genéticos y agronómicos son rápidos y en un período relativamente corto para híbridos interespecíficos, 15 a 20 años, se pueden tener plantas mejoradas con características fenotípicas de *C. arabica*, la calidad en taza de esta especie y algunas características deseables de la especie diploide (*C. canephora*) como la resistencia a roya, y caracteres morfológicos que aumentan la producción por árbol, como el número de frutos por nudo.

Hasta la generación F3 se han observado rasgos de heterosis (vigor híbrido). Se pueden tener plantas mejoradas sin retrocruzamiento del híbrido triploide o con un solo retrocruzamiento, a *C. arabica*.

Este sistema de mejoramiento ha sido diseñado y desarrollado especialmente para *C. arabica*, pero en las progenies G2 de triploides aparecen árboles con el fenotipo de *C. canephora*, fértiles, de porte bajo y entrenudo corto, que tienen algunas características de *C. arabica* (no estudiadas aún) y que podrían considerarse útiles para un programa de mejoramiento de *C. canephora*.

Debido al abundante número de progenitores de *C. canephora* estudiados, seleccionados (14), y utilizados para los cruzamientos F1 (aproximadamente 100) y la numerosa cantidad de híbridos F1 (1.000) y F2 (más de 3.000) se puede asegurar la amplia variabilidad genética del material básico originado por este sistema.

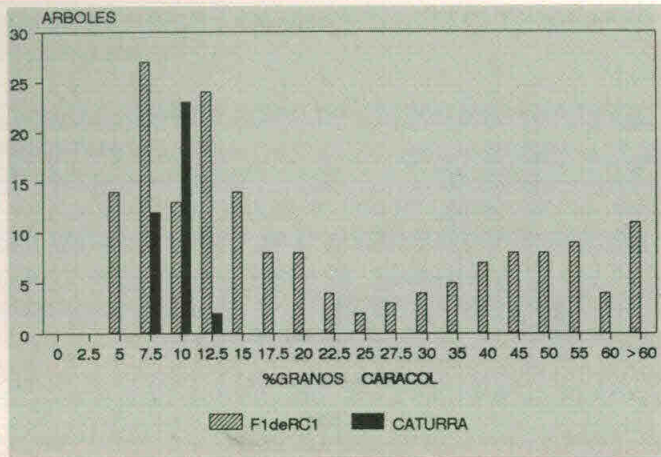


FIGURA 9. Distribución de granos caracol en progenies F1 de RC1 de triploides.

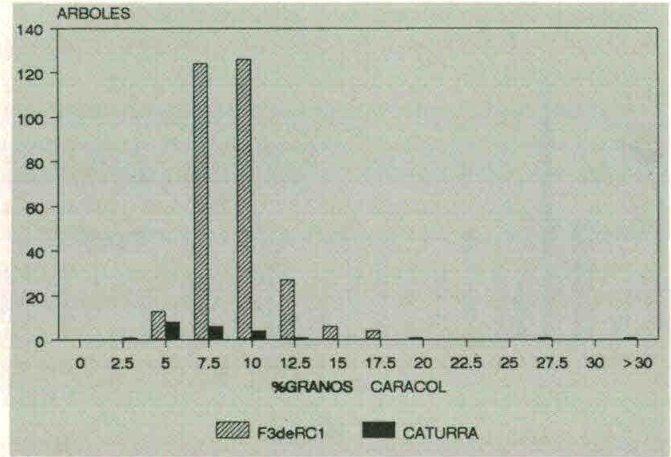


FIGURA 10. Distribución de granos caracol en progenies F3 de RC1 de triploides.

Se puede evidenciar claramente las diferencias entre plantas provenientes del retrocruzamiento dirigido a *C. arabica*, y las plantas originadas de la polinización natural, provenientes de retrocruzamiento con *C. arabica* y entrecruzamientos de triploides. Este último grupo presenta mayor número de recombinaciones entre las especies, desde árboles similares a los de la especie *C. canephora* hasta árboles similares a *C. arabica*, pasando por una gama diversa de combinaciones fenotípicas y morfológicas que incluyen tipos nuevos y desde la fertilidad completa hasta la esterilidad. Es probable que el Híbrido de Timor haya tenido origen a partir de una combinación triploide ya que este tipo de planta, predominantemente cercano a *C. arabica*, es frecuente (más de 30%) en la progenie de los híbridos F1.

Por lo observado en plantas provenientes de cruzamientos entre *C. arabica* y *C. canephora* en Brasil, Costa

de Marfil y Kenia (1, 4, 5, 15, 17) puede inferirse que, dentro de las plantas de origen triploide, haya además de la resistencia a la roya, plantas con resistencia a C.B.D. y a los nemátodos. Es posible además, que algunas progenies se adapten mejor que las variedades de *C. arabica* a zonas de baja altitud o a regiones con clima y suelos diferentes a los óptimos de la región central cafetera colombiana.

Debido a la homología cromosómica entre las especies del género *Coffea* consideramos que la vía de los triploides puede usarse en combinaciones de *C. arabica* con varias especies diploides, como *C. liberica* y *C. racemosa*.

Si se usa el cultivo de tejidos, pueden aumentarse las posibilidades de tener, no sólo mayor número de combinaciones entre especies, sino nuevas com-

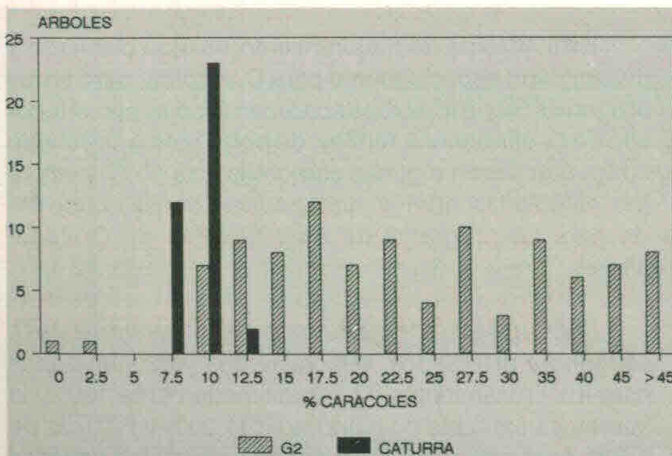


FIGURA 11. Distribución de granos caracoles en progenies G2 de triploides.

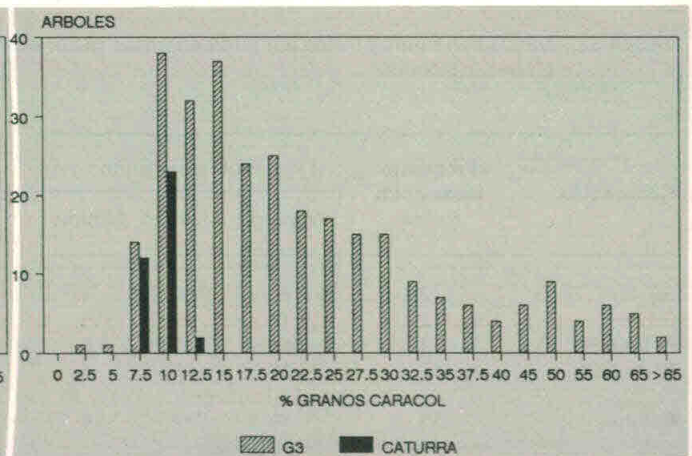


FIGURA 12. Distribución de granos caracoles en progenies G3 de triploides.

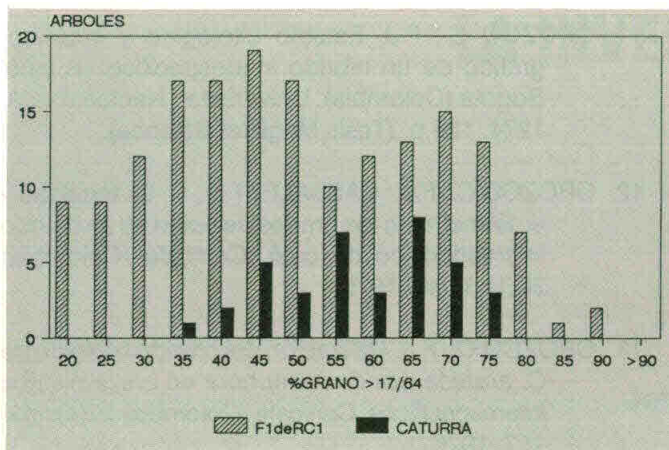


FIGURA 13. Distribución de grano grande en progenies de F1 de RC1 de triploides.

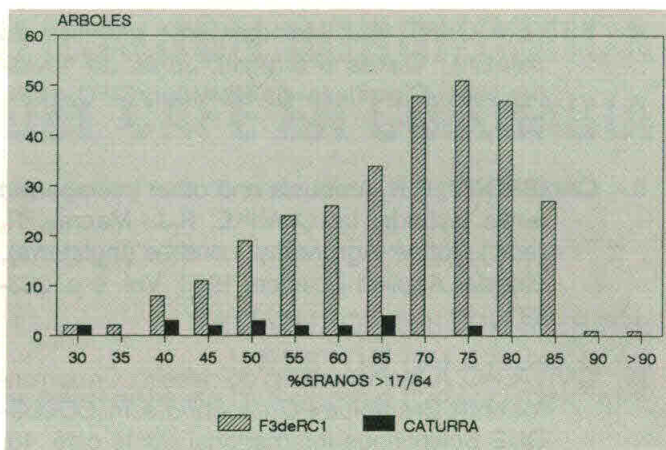


FIGURA 14. Distribución de granos grandes en progenies F3 de RC1 de triploides.

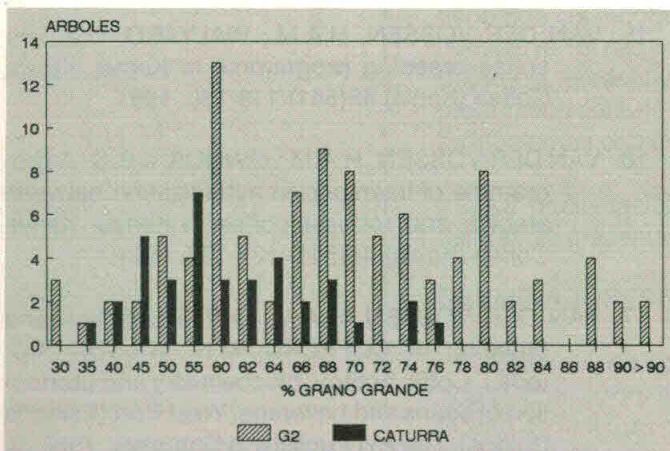


FIGURA 15. Distribución de grano grande en progenies G2 de triploides.

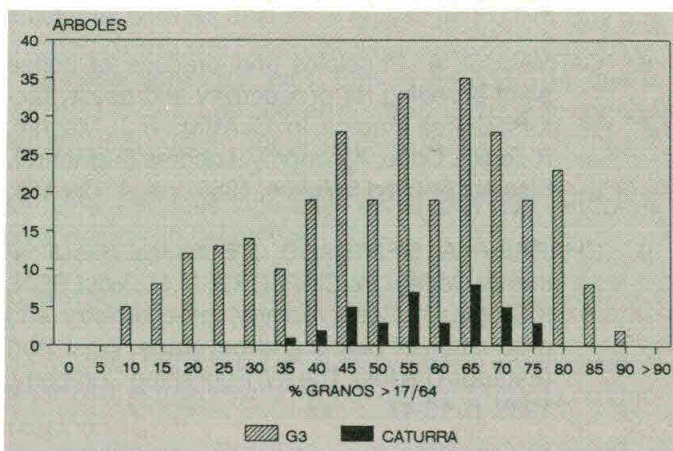


FIGURA 16. Distribución de grano grande en progenies G3 de triploides.

binaciones tales como híbridos entre *C. arabica* y *C. stenophylla* difíciles o imposibles de lograr con los sistemas convencionales. En CENICAFE se tienen plantas en el campo, producto de la recuperación de embriones de híbridos entre las especies *C. arabica*, *C. stenophylla*, *C. liberica*, *C. congensis* y *C. racemosa*.

Otras técnicas de cultivo *in vitro* como la variación somaclonal y la obtención de haploides, pueden aumentar las posibilidades del mejoramiento del café por hibridación interespecífica, facilitando la obtención de nuevos recombinantes entre las especies y pudiendo fijar en forma homocigota las características de algunos híbridos en muy pocas generaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. BERTHAUD, J. L'hybridation interspecificque entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. *Cafe Cacao Thé*. (Francia) 22(1):3-12. 1977; 22(2):87-109. 1978.
2. BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *coffea*. In: CLARKE, R.J.; Macrae, R. (eds.) *Coffee*; Agronomy. Londres (Inglaterra), Elsevier Applied Science, 1988. Vol. 4. p. 1-42.
3. BETTENCOURT, A.J. Consideracoes gerais sobre o "Híbrido de Timor". CAMPINAS (Brasil). Instituto Agrônomico, 1973. 20 p. (Circular Nro. 23).

4. BETTENCOURT, A.J. Melhoramento genético do cafeeiro. Oeiras (Portugal), Junta de Investigações Científicas de Ultramar, CIFIC, 1981. 93 p.
5. CAMBRONY, H.R. Arabusta and other interspecific fertile Hybrids. In: CLARKE, R.J.; Macrae, R. (eds.) Coffee; Agronomy. Londres (Inglaterra), Elsevier Applied Science, 1988. Vol. 4 p. 263-291.
6. CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro. Cruzamentos entre *C. arabica* e *C. canephora*. In: COLLOQUE Scientifique International sur le café, 10. Salvador (Brasil) 11-14 octobre 1982. Paris (Francia), ASIC, 1982. p. 363-368.
7. CARVALHO, A. Pesquisas sobre o melhoramento do café. Anais do E.S.A. "Luiz de Queiroz" (Brasil) 42(2):793-809. 1986.
8. CARVALHO, A. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In: CLARKE, R.J., Macrae, R. (eds.). Coffe; Agronomy. Londres (Inglaterra), Elsevier Applied Science, 1988. Vol. 4. 129-165.
9. CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of *Coffea*. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. (eds.). Coffe; botany, biochemistry and production of beans and beverage. West Port (Estados Unidos), The AVI Publishing Company, 1985. p. 13-47.
10. LE PIERRES, D.; ANTHONY, F. Les hybrides interspecifics hexaploides *C. arabica* x *C. canephora*. In: COLLOQUE Scientifique International sur le café, 9. Londres (Inglaterra), 16-20 Jun 1980. Paris (Francia), ASIC, 1980. p. 563-570.
11. OROZCO C., F.J. Estudio citológico y cromatográfico de un híbrido interespecífico en café. Bogotá (Colombia), Universidad Nacional -ICA, 1974. 128 p. (Tesis Magister Science).
12. OROZCO C., F.J.; CASSALETT D., C. La fertilidad y el diámetro de los granos de polen en un híbrido interespecífico de café. Cenicafé (Colombia) 26(1):38-48. 1975.
13. OROZCO C., F.J. Utilización del híbrido triploide de *C. arabica* por *C. canephora* en cruzamientos interespecíficos. Cenicafé (Colombia) 27(4):143-157. 1976.
14. OROZCO C., F.J. Comportamiento de introducciones de la especie *Coffea canephora* en Colombia; Diez años de investigación. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1986. 30 p. (mecanografiado).
15. VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; WALYARO, D.J. The coffee breeding programme in Kenya. Kenya Coffee (Kenia) 46(541):113-130. 1981.
16. VAN DER VOSSSEN, H.A.M.; OWOUR, J.B.O. A programme of interspecific hybridization between arabica and robusta coffee in Kenya. Kenya Coffee (Kenia) 46(541):131-137. 1981.
17. VAN DER VOSSSEN, H.A.M. Coffee selection and breeding. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (eds.). Coffe; botany, biochemistry and production of beans and beverage. West Port (Estados Unidos), The AVI Publishing Company, 1985. p. 48-96.
18. VISHVESHVARA, S.; ANMED, J. Variability in coffee. II Studies on flower number in species. Indian coffee (India) 39:268-273. 1975.