Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 67 p.5-12, 2003

Foro

# La resistencia genética de *Coffea* spp. a *Meloidogyne paranaensis*: identificación y utilización para la caficultura latinoamericana

F. Anthony[1]
P. Topart[2]
C. Astorga[2]
F. Anzueto[3]
B. Bertrand[4]

RESUMEN. Los nematodos endoparásitos (*Meloidogyne* spp.) representan una limitación importante para el desarrollo de la caficultura, debido a la susceptibilidad de las variedades de *C. arabica* más cultivadas en el mundo (Caturra, Catuaí, Mundo Novo). La explotación de las resistencias genéticas que se encuentran en los cafés silvestres (*Coffea* spp.) constituye una alternativa a la aplicación de nematicidas. En este trabajo, se evaluó la resistencia a tres especies de nematodos (*M. exigua* y *M. arabicida* de Costa Rica, y *Meloidogyne paranaensis* de Guatemala) en seis especies de café. Se identificaron accesiones resistentes a *M. exigua* en *C. canephora* y *C. racemosa*. La resistencia a *M. arabicida* fue detectada en 25% de las accesiones evaluadas de cafés silvestres *C. arabica* y en todas las accesiones de *C. canephora*. Se confirmó la resistencia de dos accesiones de cafés silvestres *C. arabica* a *Meloidogyne* sp. Ninguna resistencia a *M. exigua* y *M. arabicida* fue encontrada en *C. sessiliflora* y *C. pseudozanguebariae*, ni en *C. brevipes* para *M. exigua*. Los resultados se discuten en el contexto del mejoramiento genético del café arábica, utilizando las accesiones resistentes para desarrollar variedades porta-injertos o crear híbridos por cruces con las variedades susceptibles.

**Palabras clave:** café, *Coffea arabica*, *Coffea* spp., mejoramiento genético, *Meloidogyne paranaensis*, nematodo, resistencia genética.

ABSTRACT. **Genetic resistance to *Meloidogyne* spp. in *Coffea* spp.: identification and utilization for Latin-American coffee cultivation.** Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are a major limitation to coffee cultivation because of the susceptibility of most arabica varieties grown worldwide (Caturra, Catuaí, Mundo Novo). Exploitation of genetic resistances available in wild coffee (*Coffea* spp.) constitutes an alternative to nematicide applications. In this work, resistance to three nematode species (*M. exigua* and *M. arabicida* from Costa Rica, and *Meloidogyne paranaensis*. from Guatemala) was evaluated in six coffee species. Accessions resistant to *M. exigua* were identified in several *C. canephora* accessions and in *C. racemosa*. Resistance to *M. arabicida* was detected in 25% of the studied accessions of *C. arabica* wild coffee and in all *C. canephora* accessions. Resistance to *Meloidogyne* sp. was confirmed in two *C. arabica* accessions. No resistance was found neither in *C. sessiliflora* and *C. pseudozanguebariae* for *M. exigua* and *M. arabicida*, nor in *C. brevipes* for *M. exigua*. The results are discussed in the context of arabica coffee improvement, using the resistant accessions in order to develop rootstock varieties or to create hybrids from crosses with susceptible varieties.

**Key words:** Breeding, coffee, *Coffea arabica*, *Coffea* spp., genetic resistance, *Meloidogyne paranaensis*, root-knot nematode.

## Introducción

El café arábica (*Coffea arabica*) se originó por la fusión de dos especies en África Oriental, lo que dio a esta especie un número de cromosomas tetraploide (2n=4x=44), el doble del número de las otras especies de café (2n=2x=22). Lashermes *et al.* (1999) mostraron que el evento ocurrió hace relativamente poco, entre

[1] IRD, BP 64501,34394 Montpellier cedex 5, **Francia** François.Anthony@mpl.ird.fr
[2] Proyecto CATIE-IRD, CATIE, Unidad de Biotecnología, 7170 Turrialba, **Costa Rica.**
[3] ANACAFE, 5a Calle 0-5, Zona 14, Ciudad Guatemala, **Guatemala.**
[4] PROMECAFE-CIRAD, IICA, Ap. 55,2200 Coronado, San José, **Costa Rica.**

un millón y algunos millares de años atrás,y que los progenitores de la especie *C. arabica* son genéticamente cercanos a las actuales especies *C. canephora* y *C. eugenioides*. El origen reciente de la especie *C. arabica* y su reproducción por autofecundación son los principales factores que permiten explicar la baja diversidad genética detectada en su ADN (Lashermes *et al*. 1997, Cros *et al*. 1998).

Los datos históricos indican que la selección de las variedades de *C. arabica* comenzó en el siglo XVIII, a partir de dos bases genéticas muy estrechas, conocidas como Typica y Bourbon (Anthony *et al.* 1999). El estudio de la diversidad genética presente en las variedades de café por los marcadores moleculares confirmó el bajo polimorfismo de las bases Typica y Bourbon (Anthony *et al*. 2002). Por eso, las tres variedades más cultivadas en el mundo (Caturra, Catuaí y Mundo Novo) presentan un comportamiento agronómico muy homogéneo, caracterizado por su susceptibilidad a las plagas y enfermedades, como la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix*), la antracnosis del fruto (*Colletotrichum kahawae*) y los nematodos (Bertrand *et al*. 1999).

Los nematodos endoparásitos (*Meloidogyne* spp.) constituyen una limitación importante para el desarrollo de la caficultura,debido a su amplia difusión en los cafetales y su abundancia en los suelos (Campos *et al*. 1990). La especie más común, *Meloidogyne exigua*, puede provocar entre 10 y 20% de pérdidas económicas en Costa Rica (Aguilar *et al.* 1997). Otras especies, como *M. arabicida* de Costa Rica y *M. paranaensis* de Guatemala, anteriormente identificada como *M. incognita*, están presentes en áreas más reducidas. Sin embargo, son especies muy agresivas para los cafés. *M. arabicida,* asociado con *Fusarium oxysporum,* causa la enfermedad llamada "corchiosis" en la zona de Juan Viñas en Costa Rica,la cual provoca la muerte de los cafetos tras 2 a 4 años (Bertrand *et al.* 2000).Para combatir los nematodos, los caficultores han tenido que recurrir al control químico, aplicando nematicidas tóxicos para la salud y el medio ambiente. La explotación de las resistencias genéticas es una alternativa a la aplicación de nematicidas. Noir *et al*. (2002) mostraron recientemente que un gen mayor dominante, *Mex-1*, controla la resistencia de *C. arabica* a *M. exigua*. En el nivel celular, Rodríguez *et al*. (2000) observaron una reacción de tipo hipersusceptibilidad en las raíces inoculadas por *M. exigua*, lo cual indica la presencia de genes de resistencia según el modelo gen a gen.Las diferencias observadas en los sitios de alimentación del parásito podrían estar relacionadas con varios niveles de resistencia y susceptibilidad en el café.

Existen numerosos recursos genéticos disponibles para el mejoramiento del *C. arabica*.Más de 100 especies de café han sido descritas en los géneros *Coffea* y *Psilanthus*, de las cuales unas 80 se encuentran en los bancos de germoplasma (Anthony *et al.* 1999). Se puede transferir genes de dichas especies a *C. arabica* por hibridación controlada, escogiendo inclusive un progenitor del género *Psilanthus* (Couturon *et al*. 1998). Sin embargo, los recursos genéticos han sido poco utilizados en los programas de mejoramiento genético de *C. arabica*, debido a la falta de información sobre sus caracteres de interés agronómico. En este sentido, se puede mencionar la explotación de la resistencia a la roya anaranjada de *C. canephora* y *C. liberica*, a través de la selección de descendencias de híbridos interespecíficos (*C. arabica* x *C. canephora*), como el Híbrido de Timor en América Latina y el Icatu en Brasil;y (*C. arabica* x *C. liberica*), como el híbrido S.26 en India, como algunos de los ejemplos exitosos.

Este artículo presenta los resultados de la evaluación de la resistencia a *M.exigua* y *M.arabicida* de nuevas accesiones de cafés silvestres en Costa Rica, ya *M. paranaensis* en Guatemala. Por primera vez, se evaluaron accesiones de la variedad "Caféier de la Nana" y del grupo genético Guineo de *C. canephora*, y de las especies *C. brevipes*, *C. pseudozanguebariae* y *C. sessiliflora*. Se discuten los resultados desde la perspectiva de la posibilidad de utilizar los recursos genéticos resistentes para el mejoramiento genético de *C. arabica*.

## Materiales y métodos

**Material.** El material evaluado estuvo representado por accesiones de cafés silvestres recolectados en el centro de origen de las siguientes especies: *C. arabica*, *C. canephora*, *C. brevipes*, *C. pseudozanguebariae*, *C. racemosa* y *C. sessiliflora*. En el caso de *C. canephora*, se estudiaron accesiones de a *C. canephora* var. robusta, *C. canephora* var. Caféier de la Nana y al grupo genético Guineo de África Occidental,cuya originalidad fue revelada por isoenzimas (Berthaud 1986). Las accesiones de *C. arabica* y *C. canephora* var. robusta provinieron de semillas cosechadas en el banco de germoplasma del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica), resultantes de polinizaciones libres.

Las demás accesiones estuvieron representadas por microestacas de varios genotipos introducidos *in vitro* al CATIE por el IRD (Institut de Recherche pour le Développement, Francia).

**Método de inoculación.** Se multiplicó el inóculo de cada nematodo, a partir de una masa de huevos recolectada en raíces de cafés atacados por *M.exigua* en el Centro de Investigaciones del Instituto del Café de Costa Rica (CICAFE, Barva de Heredia), *M.arabicida* en la Hacienda Juan Viñas (Costa Rica) y *M. paranaensis* en la finca Los Manaques, en el suroeste de Guatemala. Se inoculó aproximadamente 1000 nematodos juveniles (J2) por planta,extraídos por nebulización tras 48 horas. El estadio J2 del desarrollo del nematodo es muy agresivo para las plantas susceptibles. Las inoculaciones fueron realizadas en el CATIE para *M. exigua* y *M. arabicida*, y en Guatemala para *M. paranaensis*, sobre plantas con dos pares de hojas. En todas las pruebas, se incluyó una variedad susceptible (Caturra o Catuaí) para comprobar la eficiencia de las inoculaciones.

**Método de evaluación.** Se evaluó la resistencia aproximadamente tres meses después de la inoculación, utilizando los siguientes índices de agallas (IG):

- para *M. exigua* y *M. arabicida*:

IG 0 = 0 agallas

IG 1 = 1 o 2 agallas

IG 2 = de 3 a 10 agallas

IG 3 = de 11 a 30 agallas

IG 4 = de 31 a 100 agallas

IG 5 > 100 agallas

- para *M. paranaensis*:

IG 0 = raíces limpias, sin necrosis o agallas

IG 1 = raíces sin necrosis, pero con agallas

IG 2 = raíces con necrosis (<25%)

IG 3 = raíces con necrosis (25-50%)

IG 4 = raíces con necrosis (50-75%) y pocas secundarias

IG 5 = raíz pivotante necrosada (75-100%) y ausencia de raíces secundarias.

Con base en las evaluaciones anteriores, se consideraron resistentes las plantas de índice 0, 1 y 2, y susceptibles las plantas de índice 3, 4 y 5.

## Resultados

**La resistencia a *M. exigua*.** La resistencia a *M. exigua* fue evaluada en 23 accesiones que representaron cinco especies de café (Cuadro 1). Las tres accesiones de *C. canephora* var. robusta y de *C. racemosa* no presentaron agallas (IG=0).Una accesión de *C. canephora* var. Caféier de la Nana (T21321) presentó 20 plantas sin agalla (IG=0) y 6 plantas con una o dos agallas (IG=1). Otras accesiones de *C. canephora* var. Caféier de la Nana (T21323) y del grupo Guineo de *C. canephora* (T21325, T21328) tuvieron plantas con pocas agallas (IG≤2), por lo que se puede considerar estas accesiones como resistentes. Las accesiones evaluadas de *C. brevipes*, *C. canephora* grupo Guineo, *C. pseudozanguebariae* y *C. sessiliflora* no dieron una respuesta homogénea a la prueba, presentando plantas con un número variable de agallas. Sin embargo,la mayoría de las plantas evaluadas (60.5%) se clasificaron como susceptibles (IG≥3). En *C. pseudozanguebariae* y *C. sessiliflora*, se observó una morfología del sistema radicular muy diferente a la de los cafés *C. brevipes* y C. *canephora*, con raíces muy delgadas.

**La resistencia a *M. arabicida*.** La resistencia a *M. arabicida* fue evaluada en 16 accesiones de cafés silvestres de *C. arabica* y 20 accesiones de *C. canephora*, *C. pseudozanguebariae*, *C. racemosa* y *C. sessiliflora*. Tres accesiones de *C. arabica* (T16694, T16700, T16712) se clasificaron como resistentes (IG≤2) (Cuadro 2). Al grupo de accesiones resistentes se puede agregar la accesión T16706, que tuvo solamente una planta con un índice de agallas igual a 3. Se puede suponer que esta planta proviene de una fecundación cruzada, si recordamos que la autogamia de la especie es de alrededor de 90% (Carvalho *et al*. 1991). No se observaron diferencias entre las dos descendencias de la accesión T16712, cuyas plantas se clasificaron como resistentes (IG≤2). Las demás accesiones de *C. arabica* mostraron una segregación del carácter de resistencia, con un número variable de agallas.

Todas las plantas de *C. canephora* se clasificaron como resistentes, pues presentaron un 84.7% de plantas sin agalla (IG=0) (Cuadro 3). En contraste, todas las plantas de *C. sessiliflora* fueron susceptibles (IG≥4). Se observó una segregación en las accesiones de *C. pseudozanguebariae* y *C. racemosa*. Sin embargo, un alto porcentaje de plantas (84.8%) se clasificaron como susceptibles (IG≥3).

**Cuadro 1.** Índice de agallas de 23 accesiones de *Coffea* spp. inoculadas por *M. exigua*.

| Especie | Accesión | Índice de agallas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
| *C. brevipes* | T21370 | | 7 | 30 | 7 | 1 | | 45 |
| | T21373 | | | 22 | 22 | 17 | | 61 |
| | T21374 | | 4 | 7 | 22 | 10 | | 43 |
| | T21375 | | 2 | 12 | 20 | 8 | | 42 |
| *C. canephora* | | | | | | | | |
| var. robusta | T3752 | 20 | | | | | | 20 |
| | T3753 | 23 | | | | | | 23 |
| | T3754 | 24 | | | | | | 24 |
| var. Caféier de la Nana | T21321 | 20 | 6 | | | | | 26 |
| | T21323 | | | 12 | | | | 12 |
| Grupo genético Guineo | T21324 | | | 16 | 20 | 7 | | 43 |
| | T21325 | | | 8 | | | | 8 |
| | T21327 | | | 3 | 19 | | | 22 |
| | T21328 | | 3 | 14 | | | | 17 |
| *C. pseudozanguebariae* | T21349 | | 1 | 6 | 11 | 12 | 16 | 46 |
| | T21352 | | | | 4 | 11 | | 15 |
| | T21353 | | | | | 5 | 40 | 45 |
| *C. racemosa* | T21359 | 19 | | | | | | 19 |
| | T21361 | 9 | | | | | | 9 |
| | T21362 | 12 | | | | | | 12 |
| *C. sessiliflora* | T21336 | | 13 | 7 | 8 | | | 28 |
| | T21341 | | | 16 | 6 | 5 | | 27 |
| | T21345 | | 2 | 10 | 17 | 10 | 23 | 62 |
| | T21347 | | 4 | 32 | | | | 36 |

**Cuadro 2.** Índice de agallas de 16 accesiones de *C. arabica* recolectadas en el centro de origen de la especie (Etiopía), inoculadas por *M. arabicida*.

| Accesión | Índice de agallas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
| T16689 | | | 1 | 4 | 1 | | 6 |
| T16690 | | | 15 | 35 | 15 | 18 | 83 |
| T16692 | 5 | 10 | 15 | 17 | 10 | 3 | 60 |
| T16693 | | 4 | 9 | 16 | 8 | 4 | 41 |
| T16694 | 19 | 20 | 8 | | | | 47 |
| T16695 | 3 | 5 | 6 | 25 | 1 | | 40 |
| T16697 | 4 | 5 | 7 | 8 | 8 | 2 | 34 |
| T16700 | 11 | 8 | | | | | 19 |
| T16704 | 5 | 7 | 14 | 4 | | | 30 |
| T16705 | 17 | 15 | 13 | 11 | 3 | 2 | 61 |
| T16706 | 16 | 12 | 2 | 1 | | | 31 |
| T16707 | | | 5 | 7 | 16 | 7 | 35 |
| T16712 a1 | 14 | 12 | | | | | 26 |
| T16712 a4 | 33 | 6 | 3 | | | | 42 |
| T16733 | | | 4 | | | | 4 |
| T16739 | | 1 | 2 | 22 | 9 | 1 | 35 |
| T17204 | 14 | 1 | 3 | 3 | | | 21 |

**Cuadro 3.** Índice de agallas de 20 accesiones de *Coffea* spp., inoculadas por *M. arabicida.*

| Especie | Accesión | Índice de agallas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
| *C. canephora* | | | | | | | | |
| var. robusta | T3479 | 14 | | | | | | 14 |
| | T3565 | 21 | 3 | | | | | 24 |
| | T3580 | 13 | 4 | | | | | 17 |
| | T3752 | 21 | 1 | | | | | 22 |
| | T3753 | 23 | 1 | | | | | 24 |
| | T3754 | 24 | 1 | | | | | 25 |
| | T3755 | 18 | 2 | | | | | 20 |
| | T3759 | 20 | 3 | | | | | 23 |
| | T4097 | 19 | 7 | | | | | 26 |
| | T4135 | 5 | 1 | | | | | 6 |
| var. Caféier de la Nana | T21246 | 4 | 1 | | | | | 5 |
| | T21251 | 3 | 2 | | | | | 5 |
| grupo genético Guineo | T21321 | 15 | 4 | 2 | | | | 21 |
| | T21323 | 10 | 5 | 1 | | | | 16 |
| *C. pseudozanguebariae* | T21349 | | 1 | 4 | 4 | 17 | 5 | 31 |
| | T21353 | | | | | | 10 | 10 |
| | T21395 | | | 1 | 3 | 5 | 5 | 14 |
| *C. racemosa* | T21362 | | 2 | 2 | 7 | | | 11 |
| *C. sessiliflora* | T21336 | | | | | | 3 | 3 |
| | T21341 | | | | | 6 | 22 | 28 |

**Cuadro 4**. Índice de agallas de dos accesiones de *C. arabica* recolectadas en el centro de origen de la especie (Etiopía), inoculadas por *M. paranaensis* de Guatemala y evaluadas en dos lugares.

| Accesión | Lugar de evaluación | Índice de agallas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
| T16733 | Estación de Buena Vista | 18 | 23 | 7 | | | | 48 |
| | Ciudad de Guatemala | 26 | 23 | 3 | | | | 52 |
| T16739 | Estación de Buena Vista | 4 | 2 | 6 | 4 | | | 16 |
| | Ciudad de Guatemala | 4 | 4 | 7 | | | | 15 |

**La resistencia a *M. paranaensis***. La resistencia a *M. paranaensis* fue evaluada en dos accesiones de cafés silvestres de *C. arabica*, en dos lugares: la estación experimental de Buena Vista de la Asociación Nacional de Café de Guatemala (ANACAFE), localizada en la costa del Pacífico; y en el edificio de ANACAFE en Ciudad de Guatemala, donde las temperaturas son más bajas. El lugar de evaluación no tuvo efecto sobre el resultado de las pruebas (Cuadro 4).Las accesiones T16733 y T16739 presentaron 100% y 87.1% respectivamente de plantas resistentes (IG≤2). La accesión T16733 produjo más plantas sin agalla (44%) que la accesión T16739 (25.8%).

## Discusión

El estudio permitió identificar nuevas fuentes de resistencia a los nematodos endoparásitos del género *Meloidogyne* en los recursos genéticos del café. Varios autores habían reportado ya accesiones resistentes a *M. exigua* en *C. canephora* (Curi *et al*. 1970, Morera y López 1987,Bertrand *et al*. 2001). Este trabajo mostró que la resistencia a *M.exigua* se encuentra en todas las accesiones de *C. canephora* var. robusta y en la mayoría de las accesiones de *C. canephora* var. Caféier de la Nana y del grupo Guineo. Las tres accesiones evaluadas de *C. racemosa* se clasificaron como resistentes a *M. exigua*, con 100% de plantas sin agalla. En Brasil, Fazuoli (1975) identificó cinco accesiones de *C. racemosa* resistentes a *M.exigua*, dos en segregación y una susceptible. Esta especie, originaria del Mozambique, presenta otros caracteres agronómicos de gran interés para el mejoramiento genético de *C. arabica*, como la resistencia al minador de hoja (*Leucoptera coffeella*), una buena adaptación a la sequía y a las

temperaturas altas, un corto ciclo de fructificación (< 2 meses) y un bajo contenido de cafeína en sus granos (< 1.2%) (Guerreiro Filho 1992). Las especies *C. brevipes*, *C. pseudozanguebariae* y *C. sessiliflora* no mostraron resistencia a *M. exigua.*

Para *M.arabicida*, Bertrand *et al.*(2002) identificaron tres accesiones resistentes en los cafés silvestres de *C. arabica* y dos accesiones de *C. canephora*. El presente estudio permitió precisar que la resistencia a *M.arabicida* se encuentra en 25% de los cafés silvestres de *C. arabica* y 100% de *C. canephora*, incluyendo las variedades robusta y Caféier de la Nana, y el grupo genético Guineo. Se puede suponer que la resistencia a *M. arabicida* se encuentra uniformemente distribuida en la especie *C. canephora*. Ninguna resistencia a *M. arabicida* fue identificada en las especies *C. pseudozanguebariae* y *C. sessiliflora*.

Para *M. paranaensis*, se encontraron tres variedades susceptibles a *M. paranaensis* y se confirmó la resistencia de dos accesiones de cafés silvestres de *C. arabica*, la cual había sido detectada en los híbridos F1 por Anzueto *et al*. (2001).

Las diferencias observadas en los índices de agallas pueden ser atribuidas a una estructura genética diferente del carácter de resistencia,homocigota para la accesión T16733 y heterocigota para la accesión T16739.El lugar de evaluación no tuvo efecto sobre el resultado de las pruebas de resistencia.Como en la estación experimental de Buena Vista las temperaturas son bastante altas, se puede concluir que los factores génicos del café implicados en el control de la resistencia a *M. paranaensis* no son termosusceptibles, como sí lo es el gen *Mi* del tomate (Roberts 1992) que actua contra varias especies de *Meloidogyne* debajo de los 28°C (Dropkin 1969).

Las resistencias genéticas identificadas pueden ser explotadas mediante dos estrategias complementarias: la selección de variedades porta-injertos resistentes, y la selección de híbridos entre los cafés silvestres resistentes y las variedades comerciales susceptibles. La estrategia de selección de variedades porta-injerto parece muy interesante, porque es un proceso de selección corto (una generación) y simple, con pocos criterios (vigor y resistencia).En relación con esta estrategia, cabe mencionar la difusión de la variedad porta-injerto "Nemaya"en Centroamérica,que se origina del cruce de dos cafés *C. canephora* (Anzueto *et al.* 1995). El presente estudio mostró que algunos cafés acumulan los genes de resistencia a varios nematodos, como las accesiones T3752, T3753 y T3754 de *C. canephora* var. robusta, y la accesión T21321 del grupo genético Guineo de *C. canephora*, para *M. exigua* y *M. arabicida*. Los cruces entre cafés de *C. canephora* var. robusta y del grupo genético Guineo produjeron híbridos muy vigorosos en Costa de Marfil (Leroy *et al.* 1993),lo cual podría ser explotado para desarrollar variedades porta-injertos vigorosas. Además, en Guatemala se mostró que la injertación sobre *C. canephora* es muy eficiente para controlar los nematodos lesionadores del género *Pratylenchus* (Villain *et al.* 2000). Sin embargo, se puede recomendar la estrategia de porta-injerto solo para las zonas calientes (Bertrand *et al*., 2002). En las zonas más frías, se ha observado una reducción del crecimiento y del desarrollo de los cafés *C. canephora* bajo condiciones experimentales de Costa Rica.Para estas zonas, que corresponden a la situación más común de la caficultura latinoamericana, se debe contemplar la selección de híbridos resultantes de cruces entre cafés silvestres resistentes y variedades susceptibles. Los criterios de selección son más numerosos que para la estrategia de porta-injerto, porque se debe considerar la productividad y la calidad del café producido, además de la resistencia a los nematodos. No debería ser difícil transferir la resistencia a *M. arabicida* y *M. paranaensis* de los cafés silvestres de *C. arabica* a sus variedades cultivadas, pues se trata de hibridaciones intraespecíficas. Tales híbridos F1 han presentado mucho vigor (heterosis),cuyo promedio se establece en más de 30% de producción respecto al mejor padre en Costa Rica (Bertrand *et al.* 1997). Queda por estudiar la herencia de las resistencias, cuya expresión en la primera generación de híbridos depende del tipo de expresión de los alelos (dominante, codominante, etc.).

La utilización de la resistencia genética a *M.exigua* parece más complicada, pues no se encuentra en la especie *C. arabica*. El mejoramiento genético de las variedades de café arabica debe basarse en la transferencia de los genes de resistencia presentes en las otras especies de café, como *C. canephora* y *C. racemosa*. Este proceso de introgresión fue estudiado en 21 derivados del Híbrido de Timor. Se observó una alta variación del número de fragmentos de ADN de *C. canephora* conservados en las líneas de Catimor y Sarchimor, los cuales representaron entre 8% y 25% del genoma de *C. canephora* (Lashermes *et al*. 2000a). Una gran parte de los fragmentos de ADN de *C. canephora* no fueron eliminados o contra-seleccionados durante las cuatro o cinco generaciones de selección.En efecto, la selección a partir del Híbrido de Timor se ha enfren-

tado a la dificultad de conservar los caracteres deseables de *C. canephora,* como la resistencia a la roya,y a la vez eliminar los fragmentos de ADN de *C. canephora* que puedan alterar la calidad del café.

Los marcadores moleculares permiten superar las limitaciones de los métodos convencionales de mejoramiento genético del café, asistiendo en la selección de nuevas variedades de café (Lashermes *et al.* 2000b). La selección se basa en la presencia de marcadores moleculares estrechamente ligados a los genes de interés. Este método presenta varias ventajas, en particular la posibilidad de hacer una selección precoz en vivero sobre un gran número de plantas, reducir el número de ciclos de selección necesarios para restaurar la calidad del café, y seleccionar varios caracteres en una sola etapa. Marcadores ligados al gen de resistencia a *M. exigua* han sido identificados recientemente en Francia (Noir *et al.* 2002).Actualmente se está estimando la distancia genética entre los marcadores y el gen para poder validarlos.

## Conclusión

Las resistencias genéticas a los nematodos identificadas en este trabajo pueden ser transferidas a las variedades comerciales de *C. arabica* por cruce o explotadas directamente en el desarrollo de variedades porta-injertos. Para *M.arabicida* y *M.paranaensis* de Guatemala, la resistencia ya existe en los cafés silvestres de *C. arabica*. Para *M. exigua*, la resistencia se encuentra en las especies *C. canephora* y *C. racemosa*. La identificación de marcadores moleculares estrechamente ligados al gen de resistencia a *M. exigua* constituye una primera etapa para controlar los fragmentos de ADN introgresados de las especies diploides en el genoma de *C. arabica* y reducir los efectos no deseados, principalmente sobre la calidad del café.

## Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada en el marco del Acuerdo de Investigación entre el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica) y el IRD (Institut de Recherche pour le Développement, Francia) en Biotecnología del Café, con el apoyo de la Comisión Europea a través del proyecto INCO-DC (# ERBIC18CT970181),en el cual participó también ANACAFE (Asociación Nacional de Café de Guatemala).

## Literatura citada

Aguilar, G.; Bertrand, B.; Anthony, F. 1997. Comportamiento agronómico y resistencia a las principales plagas de diferentes variedades, derivadas del Híbrido de Timor. Noticiero del café 94-95:1-4.

Anthony, F.; Astorga, C.; Berthaud, J. 1999. Los recursos genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana. *In* Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Eds. B Bertrand; B Rapidel. San José, Costa Rica, IICA/PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR/Francia. p. 369-406.

Anthony, F.; Combes, M.C.; Astorga, C.; Bertrand, B.; Graziosi, G.; Lashermes, P. 2002. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. Theoretical and Applied Genetics 114:894-900.

Anzueto, F.; Bertrand, B.; Peña, M.; Marban-mendoza, N.; Villain, L. 1995. Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de América Central. *In* Simposio sobre caficultura Latinoamericana, (1995 San Salvador, El Salvador).Actas. Guatemala,PROMECAFE-PROCAFE.7 p.

Anzueto, F.; Bertrand, B.; Sarah, J.L.; Eskes, A.B.; Decazy, B. 2001. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. Euphytica 118:1-8.

Berthaud, J.1986.Les resources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Paris, ORSTOM. 379 p.(Collection Travaux et Documents nº 188).

Bertrand, B.; Aguilar, G.; Santacreo, R.; Anthony, F.; Etienne, H.; Eskes, A.B.; Charrier, A. 1997. Comportement d'hybrides F1 de *Coffea arabica* pour la vigueur, la production et la fertilité en Amérique centrale. *In* Coloquio Científico Internacional sobre el Café (Nairobi, Kenia). Actas. Paris, ASIC.p. 415-423.

Bertrand, B.; Aguilar, G.; Santacreo, R.; Anzueto, F. 1999. El mejoramiento genético en América Central. *In* Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Eds. B. Bertrand; B. Rapidel. San José, Costa Rica, IICA/PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR/Francia. p. 407-456.

Bertrand, B.; Nuñez, C.; Sarah, J.L. 2000. Disease complex in coffee involving *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*. Plant Pathology 49:383-388.

Bertrand, B.; Anthony, F.; Lashermes, P. 2001. Breeding for resistance to *Meloidogyne exigua* of *Coffea arabica* by introgression of resistance genes of *C. canephora*. Plant Pathology 50:1-8.

Bertrand, B.; Ramirez, G.; Etienne, H.; Topart, P.; Anthony, F. 2002.Resistance of cultivated coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) tress to the corky-root caused by *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*, under controlled and field conditions. Crop Protection 21:713-719.

Campos, V.P.; Srivapalan, P.; Gnanapragasam, N.C. 1990. Nematode parasites in coffee, cocoa and tea. *In* Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Eds. M. Luc; R.A. Sikora; J. Bridge., Wallington, Reino Unido, CAB International. p. 387-430.

Carvalho, A.; Medina filho, H.P.; Fazuoli,L.C.; Guerreiro filho, O.; Lima, M.M.A. 1991. Aspectos genéticos do cafeeiro. Revista Brasileira de Genetica 14: 135-183.

Couturon, E.; Lashermes, P.; Charrier, A. 1998. First intergeneric hybrids (*Psilanthus ebracteolatus* Hiern x *Coffea arabica* L.) in coffee trees. Canadian Journal of Botany 76:542-546.

Cros, J.; Combes, M.C.; Trouslot, P.; Anthony, F.; Hamon, S.; Charrier, A.; Lashermes,P. 1998.Phylogenetic relationships of *Coffea* species: new evidence based on the chloroplast DNA variation analysis. Molecular Phylogenetics and Evolution 9:109-117.

Curi, S.M.; Carvalho, A.; Moraes, F.P.; Monaco, L.C.; Arruda, H.V. 1970. Novas fontes de resistencia genética de *Coffea* no controle de nematoide do cafeeiro, *Meloidogyne exigua*. Biológico 36:293-295.

Dropkin, V. 1969. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne* reversed by temperature. Phytopathology 59:1632-1637.

Fazuoli, L.C. 1975. Resistência de *Coffea racemosa* ao *Meloidogyne exigua*. Ciencia e Cultura 27(7):230.

Guerreiro filho, O. 1992. *Coffea racemosa* Lour. une revue. Café,Cacao,Thé 36(3):171-186.

Lashermes, P.; Combes, M.C.; Trouslot, P.; Charrier, A. 1997. Phylogenetic relationships of coffee tree species (*Coffea* L.) as inferred from ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. Theoretical Applied Genetics 94:947-955.

Lashermes, P.; Combes, M.C.; Robert, J.; Trouslot, P.; D'Hont, A.; Anthony, F.; CHARRIER, A. 1999. Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. Molecular and General Genetics 261:259-266.

Lashermes, P.; Andrzejewski, S.; Bertrand, B.; Combes, M.C.; Dussert, S.; Graziosi, G.; Trouslot, P.; Anthony, F. 2000a. Molecular analysis of introgressive breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). Theoretical and Applied Genetics 100: 139-146.

Lashermes, P.; Combes, M.C.; Topart; P.Graziosi, G.; Bertrand, B.; Anthony,F. 2000b. Molecular breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). *In* Coffee biotechnology and quality. Eds. T Sera; CR Soccol;A Pandey; S Roussos. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.p. 134-146.

Leroy, T.; Montagnon, C.; Charrier, A.; Eskes, A.B. 1993. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. 1. Characterization and evaluation of breeding populations and value of intergroup hybrids. Euphytica 67: 113-125.

Morera, G.N.; López, R. 1987. Respuesta de seis líneas experimentales de *Coffea* spp. a la inoculación con *Meloidogyne exigua*. Nematropica 17:103-109.

Noir,S.;Anthony,F.;Bertrand, B.;Combes, M.C.;Lashermes,P. 2002. Identification of a major gene (*Mex*-1) from *Coffea canephora* conferring resistance to *Meloidogyne exigua* in coffee. Plant Pathology, 52(1):97-103.

Roberts, P.A. 1992. Current status of the availability, development, and use of host plant resistance to nematodes. Journal of Nematology 24:213-227.

Rodríguez, A.C.F.; Abrantes, I.M. de; Melillo, M.T.; Bleve-Zacheo,T. 2000.Ultrastructural response of coffee roots to root-knot nematodes, *Meloidogyne exigua* and *M. megadora*. Nematropica 20:201-210.

Villain, L.; Molina, A.; Sierra, S.; Decazy, B.; Sarah, J.L. 2000. Effect of grafting and nematicide treatments on damage by root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) to *Coffea arabica* L.in Guatemala.Nematropica 30:87-100.